

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE COLÉBOLOS EN TRES ÁREAS CON
DIFERENTES NIVELES DE PERTURBACIÓN ANTROPOGÉNICA EN EL
PARQUE ESTATAL "CAÑÓN DE FERNÁNDEZ", LERDO, DURANGO,
MÉXICO

Tesis

Que presenta JUAN GILBERTO MORALES MARTÍNEZ

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Diciembre, 2024

FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE COLÉMBOS EN TRES ÁREAS CON
DIFERENTES NIVELES DE PERTURBACIÓN ANTROPOGÉNICA EN EL
PARQUE ESTATAL "CAÑÓN DE FERNÁNDEZ", LERDO, DURANGO,
MÉXICO

Tesis

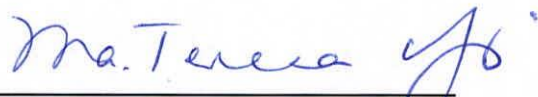
Elaborada por JUAN GILBERTO MORALES MARTÍNEZ como requisito parcial
para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con
la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



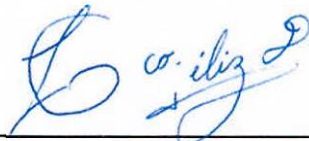
Dr. Aldo Iván Ortega Morales
Director de Tesis



Dr. Francisco Javier Sánchez Ramos
Asesor



Dra. Ma. Teresa Valdés Perezgasga
Asesor



Dr. Francisco Gerardo Véliz Deras
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado

Agradecimientos

Agradezco profundamente al Dr. Aldo Iván Ortega Morales, quien me brindó la oportunidad de unirme a su departamento como tesista de la Maestría en Producción Agropecuaria. A pesar de que mi tema de tesis se encontraba fuera de su línea de estudio, su apoyo incondicional y su confianza en mí fueron fundamentales para el éxito de mi investigación.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, que me abrió las puertas para formarme académicamente y se convirtió en mi segunda casa. La experiencia y el conocimiento adquiridos en sus aulas han sido invaluable para mi crecimiento personal y profesional.

Asimismo, quiero agradecer a mis excelentes profesores, que a lo largo de los semestres del posgrado me brindaron sus conocimientos y experiencia para poder formarme académicamente. Su dedicación y pasión por la enseñanza han sido una inspiración constante para mí.

Agradezco sinceramente a mis profesores de licenciatura, el Dr. Homero Sánchez y la Dra. Guadalupe Torres, quienes creyeron en mi potencial y me brindaron su apoyo y orientación para seguir adelante con mis estudios de posgrado. Su confianza en mí fue fundamental para tomar la decisión de continuar mi formación académica. Además, quiero expresar mi más sincero agradecimiento por haberme abierto las puertas del laboratorio de entomología de la Facultad de Ciencias Biológicas, donde pude realizar parte de las preparaciones, montajes e identificación de los colémbolos. Su generosidad y disposición para compartir sus conocimientos y recursos me permitieron avanzar en mi investigación y alcanzar mis objetivos.

Agradezco profundamente a mis amigos Jesús Gallegos y a la señora Paty, encargados del laboratorio multidisciplinario de la FCB-UJED, quienes me brindaron su apoyo y colaboración en su laboratorio para avanzar en las preparaciones, montajes e identificación de los colémbolos. Su generosidad y

disposición para compartir sus recursos me permitieron superar obstáculos. Pero más allá de la ayuda técnica, quiero expresar mi más sincero agradecimiento por la amistad y el cariño que me brindaron durante mi estancia en el laboratorio. Sus consejos, nuestras largas conversaciones, los convivios y los momentos compartidos son recuerdos que atesoraré para siempre, llenos de nostalgia y cariño. Ustedes han sido más que simplemente colegas o amigos, han sido una familia para mí, y por eso les estaré eternamente agradecido.

Agradezco infinitamente a mi querida amiga, Mayra Ester, quien se convirtió en mi cómplice y confidente durante nuestra travesía por el posgrado de Producción Agropecuaria. Su amistad y apoyo incondicional han sido un regalo invaluable para mí. Mayra, eres más que una amiga, eres una hermana, una confidente y una fuente de inspiración. Tu bondad, tu empatía y tu generosidad han sido un faro de luz en mis momentos más oscuros. Nunca me has abandonado, siempre has estado allí para escucharme, para aconsejarme y para apoyarme. Estoy emocionado de verte crecer y alcanzar tus metas, incluyendo tu próximo doctorado. Estoy seguro de que serás una destacada profesional en tu campo y una fuente de inspiración para muchos. Muchas gracias, Mayra, por ser una amiga tan increíble. Te aprecio más de lo que puedas imaginar.

A la Dra. Amoritra Salas, mi sincero agradecimiento por sus valiosos consejos, su apoyo incondicional y por compartir generosamente sus conocimientos conmigo durante mi estancia en el Tasajillo. Su orientación y experiencia fueron fundamentales para mi crecimiento profesional y personal.

Dedicatoria

A Dios, mi Creador y Padre celestial, le expreso mi más profundo y sincero agradecimiento por estar siempre a mi lado, guiándome y protegiéndome en cada paso de mi vida. Tu amor, tu misericordia y tu providencia han sido mi fuente de inspiración y mi motivación para superar todos los obstáculos y alcanzar mis metas. Hoy en día, tengo la absoluta certeza de que Tú estás conmigo, y que nunca me has abandonado. Tu presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable, y te agradezco por cada victoria, cada logro y cada momento de alegría que me has permitido experimentar. Te amo, te adoro y te agradezco por ser mi Dios, mi Salvador y mi mejor amigo. Estoy agradecido por la oportunidad de conocerte y de caminar contigo en este viaje llamado vida.

Dedico este trabajo de investigación y tesis con todo mi amor, gratitud y admiración a mis padres, Juan Gilberto Morales Saucedo y Ruth Martínez Sánchez. Desde mi infancia, ustedes han sido mi fuente de inspiración, mi guía y mi apoyo incondicional. Su amor, dedicación y sacrificio han sido fundamentales para mi crecimiento y desarrollo académico. A pesar de las limitaciones y desafíos que enfrentamos, ustedes siempre me dieron lo mejor de sí mismos, y me enseñaron a valorar la humildad, la perseverancia y la determinación. Quiero agradecerles por creer en mí, por apoyarme en mis sueños y por ser mi roca en momentos difíciles. Su influencia en mi vida ha sido profunda y duradera, y estoy agradecido por cada momento que hemos compartido. Este trabajo es un reflejo de su amor y dedicación, y espero que les haga sentir orgullosos de mí. Les amo y les agradezco por todo.

A mis queridas hermanas, Isabel, Crisela y Beatriz, les dedico un agradecimiento especial por ser mis ángeles guardianes, mis confidentes y mis fuentes de inspiración. Ustedes han sido mi apoyo incondicional y mi motivación para superar todos los obstáculos y alcanzar mis metas académicas. Su amor, su confianza y su apoyo han sido fundamentales para mi crecimiento y desarrollo personal y académico.

Índice

Resumen y Abstract	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. HIPÓTESIS	3
2.1 Hipótesis alternativa.....	3
2.2 Hipótesis específicas.....	3
2.3 Hipótesis nula.....	3
III. OBJETIVOS	4
3.1 Objetivo general.....	4
3.2 Objetivos específicos	4
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	5
V. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	7
VI. REVISIÓN DE LITERATURA	8
6.1 Mesofauna.....	8
6.2 Morfología general de los colémbolos.....	9
6.3 Clasificación taxonómica	10
6.3.1 Orden Poduromorpha.....	11
6.3.2 Orden Symphypleona.....	12
6.3.3 Orden Entomobryomorpha.....	13
6.3.4 Orden Neelipleona.....	13
6.4 Ecología e importancia de los colémbolos.....	14
6.5 Ciclo de vida.....	15
6.5 Diversidad.....	16
6.6 Distribución.....	17
6.7 Técnicas de colecta.....	17
6.7.1 Trampas Pitfall.....	17
6.7.2 Platos amarillos.....	18
6.8 ¿Qué es la fluctuación poblacional?.....	19
6.9 Índices de diversidad, abundancia y equidad	19
6.10 Trabajos relacionados con la perturbación poblacional.....	21
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	27
7.1 Área de estudio	27
7.2 Caracterización de las zonas de estudio	28
7.3 Trabajo de campo	29
7.4 Trabajo de Laboratorio	31
7.4.1 Separación y conteo de colémbolos	31
7.4.2 Preparación y montaje de ejemplares	32
7.4.3 Aclarado de colémbolos	33
7.4.4 Montaje de colémbolos	34
7.4.5 identificación de los ejemplares.....	35
7.4.6 Diagnósis taxonómica.....	36
7.5 Diseño experimental	46

VIII.	RESULTADOS	47
IX.	DISCUSIÓN.....	64
X.	CONCLUSIÓN	68
XI.	LITERATURA CONSULTADA	71

Lista de Figuras

- Figura 1. Presenta los diversos representantes de la mesofauna.
- Figura 2.- Muestra las diferencias morfológicas que presentan los diferentes órdenes de colémbolos
- Figura 3.- Descripción morfológica del orden Poduromorpha
- Figura 4.- Descripción morfológica del orden Symphypleona
- Figura 5.- Descripción morfológica del orden Entomobryomorpha
- Figura 6.- Descripción morfológica del orden Neelipleona
- Figura 7.- Muestra las etapas del ciclo de vida de un colémbolo
- Figura 8.- Imagen tomada a través de Google Maps, en donde se señalan las áreas con diferentes niveles de perturbación en las cuales se realizó la investigación.
- Figura 9.- Muestra las trampas utilizadas en la investigación (Trampas Pitfall y trampas de platos amarillos).
- Figura 10.- Separación y contabilización de colémbolos a nivel orden.
- Figura 11.- Cucharillas utilizadas para la manipulación de los colémbolos (Creadas con alfileres entomológicos y palillos de madera)
- Figura 12.- Aclarado de los colémbolos para su previo montaje.
- Figura 13.- Señala la forma en la que se realizaba el montaje de los colémbolos.
- Figura 14.- Incubadora de secado, y frotis sellado con esmalte transparente, listo para la previa identificación.
- Figura 15.- Claves para la identificación taxonómica de los diferentes ejemplares.
- Figura 16.- Vista dorso- lateral de un colémbolo del orden Entomobryomorpha.
- Figura 17.- Muestra el segmento abdominal IV más largo que el III.
- Figura 18.- (A) Señala el mucrón bidentado (B) Señala la seda lisa en el tibiotarso de la pata III.
- Figura 19.- Se señalan las escamas cordiformes y redondeadas.
- Figura 20.- Señala las (A) Uñas normales y el (B) mucrón bidentado.
- Figura 21.- Muestra los segmentos de similar longitud representativos.
- Figura 22.- Señala características del género como: (A) sin ojos (B) uñas pequeñas sin túnica y (C) Manubrio recubierto de sedas.

Figura 23.- Se señala la característica distintiva del género: Mucrón con tres dientes.

Figura 24.- Muestra características distintivas de este orden:(A) como la forma del cuerpo, las antenas cortas y el manubrio corto y robusto (B) Mandíbula con placa molar dentada.

Figura 25.- Muestra el círculo las maxilas y la mandíbula, las flechas señalan las sedas finas y ciliadas del cuerpo y el rectángulo las antenas con 4 artejos.

Figura 26.- Se muestra el cuerpo de un individuo del orden Symphypleona, cuerpo globoso y los segmentos abdominales V y IV diferenciados señalados dentro del círculo.

Figura 27.- Mucrón crenulado

Figura 28.- Muestra el tibiotarso sin espolones mazudos.

Figura 29.- Vista lateral de un ejemplar de Sminmthuridae.

Figura 30.- Pata III de Sphaeridia sin órgano tibiotarsal en contraste con la imagen de la derecha que sí lo tiene.

Figura 31.- Muestra los dos pares de tricobotrios A,B Y C señalados por las flechas y encerrados en los rectángulos.

Figura.32.- Señala con flecha la estructura representativa "empodio con filamento apical".

Figura 33.- señala estructuras como el terguito IV más grande que el terguito III, así mismo se puede observar que sólo presenta 1 carneola.

Lista de gráficas

Gráfica 1.- Muestra la cantidad de colémbolos a nivel orden (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduromorpha) capturados en los diferentes meses

Gráfica 2.- Muestra la cantidad de organismos capturados según la trampa (Trampa pitfall o platos amarillos).

Gráfica 3.- Ejemplares identificados a nivel género

Gráfica 4.- Muestra la cantidad de organismos de los diferentes géneros contabilizados en el periodo de estudio en la zona con perturbación.

Gráfica 5.- Muestra la cantidad de organismos de los diferentes géneros contabilizados en el periodo de estudio en la zona con $\frac{1}{2}$ perturbación.

Gráfica 6.- Muestra la cantidad de organismos de los diferentes géneros contabilizados en el periodo de estudio en la zona sin perturbación.

Lista de cuadros

Cuadro 1.- Muestra las características de perturbación antropogénica en las diferentes zonas de investigación

Cuadro 2.- Muestra los organismos capturados en el mes de febrero y la contabilización a nivel orden (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduromorpha).

Cuadro 3.- Muestra los organismos capturados en el mes de marzo y la contabilización a nivel orden (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduromorpha).

Cuadro 4.- Muestra los organismos capturados en el mes de abril y la contabilización a nivel orden (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduromorpha).

Cuadro 5.- Muestra los organismos capturados en el mes de mayo y la contabilización a nivel orden (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduromorpha)

Cuadro 6.- En la siguiente tabla se muestra la composición de la muestra representativa de colémbolos a nivel orden que se identificaron y que fueron el pilar para determinar la fluctuación poblacional

Cuadro 7.- Muestra los ejemplares de colémbolos identificados a nivel orden, familia y género.

Cuadro 8.- Se presenta la proporción de la muestra representativa de colémbolos capturados

en la zona con perturbación durante el período de febrero a mayo.

Cuadro 9.- Se presenta la proporción de la muestra representativa de colémbolos capturados

en la zona con $\frac{1}{2}$ perturbación durante el período de febrero a mayo.

Cuadro 10.- Se presenta la proporción de la muestra representativa de colémbolos capturados en la zona sin perturbación durante el período de febrero a mayo.

RESUMEN

Fluctuación poblacional de colémbolos en tres áreas con diferentes niveles de perturbación antropogénica en el parque estatal "Cañón de Fernández", Lerdo, Durango, México

Juan Gilberto Morales Martínez

Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dr. Aldo Ivan Ortega Morales

Director de Tesis

Este estudio evaluó la fluctuación poblacional de colémbolos en tres áreas con diferentes niveles de perturbación antropogénica en el parque estatal "Cañón de Fernández". Se realizaron muestreos mensuales durante el período de febrero a mayo, utilizando trampas pitfall y trampas de platos amarillos. Se colectaron 3503 ejemplares, de los cuales se seleccionó una muestra representativa del 10% para su identificación y análisis. Se identificaron 11 géneros de colémbolos pertenecientes a 7 familias. Los géneros *Entomobrya* e *Isotomurus* mostraron mayor resistencia a la perturbación antropogénica, ya que se encontraron en las tres zonas estudiadas. El análisis estadístico reveló que la zona sin perturbación presentó una mayor diversidad de especies ($H' = 1,83-2,11$) y una mayor abundancia de individuos ($N = 40-63$) en comparación con las zonas con media y alta perturbación. Además, se encontró una mayor fluctuación poblacional ($CV = 0,73-0,93$) en la zona sin perturbación. Estos resultados sugieren que la reducción de la perturbación antropogénica puede contribuir a la conservación de la biodiversidad y la estabilidad de las poblaciones de colémbolos.

Palabras clave: Diversidad, Abundancia, Trampas pitfall, Conservación de la biodiversidad.

ABSTRACT

Population fluctuation of collembola in three areas with different levels of anthropogenic disturbance in the state park "Cañón de Fernández", Lerdo, Durango, Mexico

Juan Gilberto Morales Martínez
Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria

Autonomous Agrarian University Antonio Narro
Dr. Aldo Ivan Ortega Morales
Thesis Director

This study assessed the population fluctuation of Collembola in three areas with different levels of anthropogenic disturbance in the Cañón de Fernández state park. Monthly sampling was conducted from February to May using pitfall traps and yellow plate traps. A total of 3503 specimens were collected, and a representative sample of 10% was selected for identification and analysis. Eleven genera of Collembola belonging to seven families were identified. The genera Entomobrya and Isotomurus exhibited greater resistance to anthropogenic disturbance. Statistical analysis revealed that the undisturbed area presented higher species diversity ($H' = 1.83-2.11$) and higher individual abundance ($N = 40-63$) compared to areas with moderate and high disturbance. The results suggest that reducing anthropogenic disturbance can contribute to the conservation of biodiversity and the stability of Collembola populations. This research has important implications for the conservation and management of ecosystems.

Keywords: Diversity, Abundance, Pitfall traps, Biodiversity conservation

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la conservación y el manejo sustentable de los recursos naturales son temas de gran importancia y relevancia a nivel global (García-Álvarez y Bello, 2004). La creciente demanda de recursos naturales, la degradación del medio ambiente y la pérdida de biodiversidad son solo algunos de los desafíos que enfrentamos en la actualidad (Hopkin, 1997). En este contexto, la importancia de la conservación y el manejo sustentable de los ecosistemas naturales es fundamental. Los ecosistemas naturales proporcionan una variedad de servicios ecosistémicos esenciales para la supervivencia humana, como la producción de alimentos, la regulación del clima y la protección contra desastres naturales (Palacios Vargas, 2014).

Sin embargo, a pesar de su importancia, los ecosistemas naturales están enfrentando una serie de amenazas y desafíos. La deforestación, la degradación del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad son solo algunos de los problemas que afectan a los ecosistemas naturales (Bellinger et al., 2012). En México, la situación no es diferente. El país cuenta con una rica biodiversidad y una variedad de ecosistemas naturales, pero también enfrenta una serie de desafíos y amenazas para su conservación y manejo sustentable (Palacios-Vargas, 1983).

En este sentido, la presente investigación se enfoca en analizar zonas con diferentes niveles de perturbación antropogénica, de esta forma se podrá caracterizar y tener información estandarizada real del efecto negativo causado por dicha perturbación e identificar las principales amenazas y desafíos que enfrentan, y proponer estrategias y recomendaciones para su conservación y manejo sustentable. Es importante destacar que, a diferencia de la mayoría de las investigaciones que se centran en aspectos económicos y médicos, esta investigación busca abordar un aspecto ecológico de importancia, ya que considero que la conservación y el manejo sustentable de los ecosistemas naturales son fundamentales para el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

La investigación se centra en el estudio de caso de la región del Parque Estatal "Cañón de Fernández" Lerdo, Dgo. México, que se caracteriza por su rica biodiversidad y su importancia ecológica. A través de la revisión de la literatura y la aplicación de métodos de investigación cualitativos y cuantitativos, se busca analizar la situación actual de la conservación y el manejo sustentable de los ecosistemas naturales en la región, y proponer estrategias y recomendaciones para su conservación y manejo sustentable.

La investigación también se enfoca en analizar como un aspecto colateral el papel de los colémbolos (*Collembola*) como bioindicadores de la calidad del suelo y la biodiversidad en la región para dar así un enfoque principal y justificable el estudio de estos organismos. Teniendo en cuenta que los colémbolos son hexápodos diminutos que juegan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes en los ecosistemas naturales (Hopkin, 2002). Sin embargo, la falta de información precisa sobre la ecología y la biología de los colémbolos en la región es un obstáculo importante para su conservación y manejo sustentable.

El objetivo principal de esta investigación es contribuir significativamente al conocimiento y comprensión actual de la situación de conservación y manejo sustentable de los ecosistemas naturales en México, destacando el valor ecológico de los colémbolos y fomentando el interés por su estudio. Esto permitirá desarrollar un marco de conocimiento más amplio y proponer estrategias y recomendaciones efectivas para la conservación y manejo sustentable de estos organismos. Asimismo, se busca generar información actualizada sobre las variables negativas que afectan el medio ambiente y la fauna que habita en él, lo que resultará en datos valiosos para la conservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP).

II. HIPÓTESIS

2.1 Hipótesis alternativa

La perturbación antropogénica en el Parque Estatal "Cañón de Fernández" afecta negativamente la fluctuación poblacional de colémbolos, reduciendo su abundancia y diversidad.

2.2 Hipótesis específicas

2.2.1 La intensidad de la perturbación antropogénica se relaciona inversamente con la abundancia y diversidad de colémbolos.

2.2.2 Las áreas con mayor perturbación antropogénica presentarán una mayor disminución en la fluctuación poblacional de colémbolos.

2.2.3 Las especies de colémbolos resistentes a la perturbación antropogénica serán más comunes en áreas con niveles moderados de perturbación.

2.2.4 La fluctuación poblacional de colémbolos variará significativamente entre las tres áreas de estudio con diferentes niveles de perturbación antropogénica.

2.3 Hipótesis nula

La perturbación antropogénica no tiene un efecto significativo en la fluctuación poblacional de colémbolos en el Parque Estatal "Cañón de Fernández".

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- ❖ Determinar la fluctuación poblacional de colémbolos en tres áreas con diferentes niveles de perturbación antropogénica en el parque estatal "Cañón de Fernández, Lerdo, Durango, Mexico"

3.2 Objetivos específicos

- ❖ Caracterizar el uso del suelo y la perturbación antropogénica en las tres áreas de estudio.
- ❖ Identificar y determinar la taxonomía de los colémbolos presentes en las áreas de estudio.
- ❖ Evaluar la abundancia y diversidad de colémbolos en relación con los niveles de perturbación antropogénica.
- ❖ Identificar las especies de colémbolos resistentes a la perturbación antropogénica.
- ❖ Analizar la fluctuación poblacional de los colémbolos en respuesta a los diferentes niveles de perturbación antropogénica.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El Parque Estatal "Cañón de Fernández" en Durango, México, se enfrenta a una creciente amenaza debido a la intensificación de actividades humanas, que incluyen ecoturismo, explotación de recursos y tránsito vehicular, lo que compromete la biodiversidad y los ecosistemas del parque, poniendo en peligro la supervivencia de especies sensibles como los colémbolos. El cambio climático se caracteriza por su naturaleza no lineal y dinámica, exhibiendo reacciones rápidas y violentas tanto en escalas espaciales como temporales. Esta complejidad es una de las razones por las que los modelos climáticos, a pesar de su estandarización, presentan cambios drásticos e impredecibles incluso ante perturbaciones mínimas. Hoy en día se sabe que la irregularidad del sistema climático se debe a un registro histórico de catástrofes ecológicas atribuibles al impacto antropogénico. Por lo tanto,

se presenta un desafío significativo en el desarrollo de métodos efectivos para mitigar la vulnerabilidad y el riesgo asociados con el cambio climático, tanto para la población como para los recursos naturales.

La falta de información precisa sobre el impacto de estas actividades en la población de colémbolos resalta la necesidad de investigar este tema, con el fin de evaluar la relación entre la perturbación antropogénica y la fluctuación poblacional de colémbolos, identificar factores clave de daño ambiental y promover un manejo sostenible del parque. Esto contribuirá al conocimiento básico sobre la interacción entre las actividades humanas y el medio ambiente, sentando las bases para futuras investigaciones en este ámbito y logrando avances significativos en la conservación de la biodiversidad, la formulación de políticas de manejo sostenible y la conciencia ambiental en la comunidad.

La escasez de conocimiento y estudio sobre los colémbolos es un punto crítico que abre oportunidades para nuevas investigaciones. México alberga una rica diversidad de estas especies, con 24 familias que representan el 70% de las existentes mundialmente (Palacios Vargas, 2014). Aunque inicialmente se conocían menos de 200 especies en el país hasta principios de los años 70 (Palacios-Vargas, 1983), la descripción de nuevas taxa y registros ha aumentado significativamente, llegando a más de 550 especies en 1997 (Palacios-Vargas, 1997) y cerca de 700 en 2004 (Palacios-Vargas et al., 2004; Castaño-Meneses, 2005). Sin embargo, la mayoría de los estudios se han concentrado en los estados del centro y sur, como Hidalgo, Estado de México, Veracruz, Distrito Federal y Quintana Roo (Palacios-Vargas et al., 2000), mientras que en los estados del norte, el interés de algún investigador es prácticamente inexistente, dejando un vacío en la comprensión de estos organismos en esta región.

V. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál es el impacto de la perturbación antropogénica en la abundancia y diversidad de colémbolos en el Parque Estatal "Cañón de Fernández"?
2. ¿Qué especies de colémbolos son resistentes a la perturbación antropogénica en este parque?
3. ¿Cómo fluctúa la población de colémbolos en respuesta a diferentes niveles de perturbación antropogénica?

VI. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1 Mesofauna

En este grupo destacan organismos como los colémbolos (Collembola) y los ácaros (Acari), considerados bioindicadores de la estabilidad, la fertilidad del suelo, reciclaje de nutrientes y aceleración de mineralización de partículas como el fósforo y nitrógeno, al mismo tiempo también podemos encontrar otros organismos que participan en este mismo proceso: sínfilos (Symphyla), paurópodos (Paupoda), dipluros (Diplura), proturos (Protura), socópteros (Psocoptera), tisanopteros (Thysanoptera), polixénidos (Polixenida) y enquiteidos (Enchytraeidae) (Mateos, 2016) (Figura 1) (García-Álvarez & Bello, 2004). De igual manera este grupo forma parte de reguladores del proceso trófico y facilitan la diseminación de esporas, hongos y otros microorganismos, los cuales son considerados como catalizadores de la actividad microbiana (Socarrás, 2013).

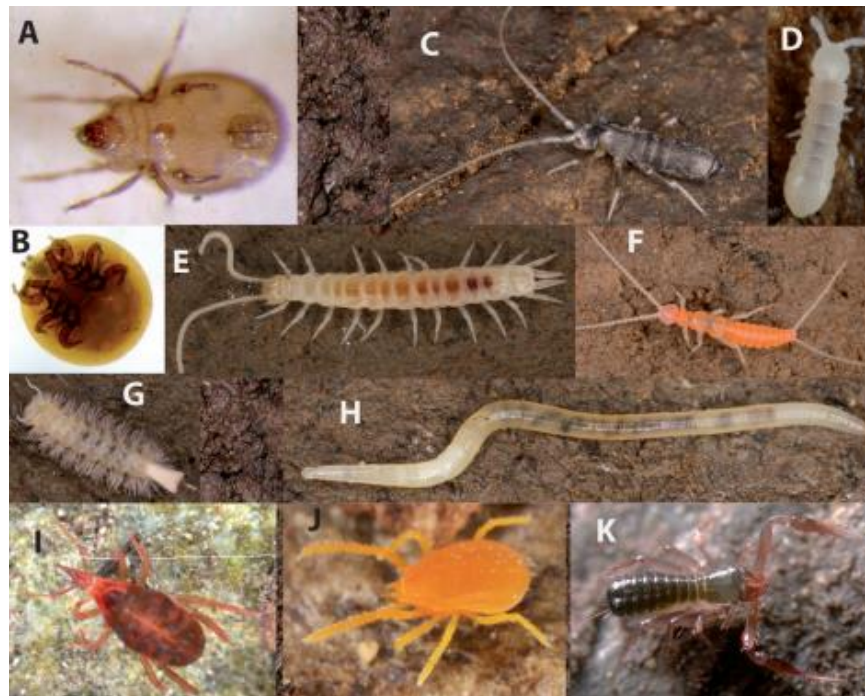


Figura 1. Presenta los diversos representantes de la mesofauna. Saprófagos: A, ácaro (Oribatida, 0,8 mm de longitud); B, ácaro (Uropodida, 0,8 mm); C, colémbolo (Tomoceridae, 4 mm); D, colémbolo (Onychiuridae, 1 mm); E, símfilo (Scutigrellidae, 6 mm); F, dipluro (Campodeidae, 5 mm); G, diplópodo (Polyxenidae, 3 mm); H, anélido (Enchytraeidae, 3 mm). Depredadores: I, ácaro (Cunaxidae, 2 mm); J, ácaro (Gamasidae, 2 mm); K, pseudoescorpión (Chthoniidae, 3 mm). Fotografías de Eduardo Mateos. Imagen tomada del trabajo de investigación “Soil fauna and soil food webs” de (Mateos, 2016)

Los colémbolos, considerados parientes de los insectos debido a su falta de alas, son hexápodos diminutos de 2 mm de longitud (entre 200 micras y 10 mm) (Hopkin, 1997, 2002). Comparten características primitivas con otros artrópodos, como su aparato digestivo, gónadas y ausencia de tubo de Malpighi, lo que los distingue del resto de los hexápodos. Además, presentan rasgos morfológicos exclusivos, como el órgano característico llamado furca en el cuarto segmento abdominal y un tubo ventral en el primer segmento abdominal (Arbea *et al.*, 2001), que los define como un grupo homogéneo y distintivo dentro de los artrópodos.

6.2 Morfología general de los colémbolos

Los colémbolos generalmente su cuerpo pueden estar cubiertos de sedas o quetas, las cuales en algunas especies llegan a tener funciones sensoriales, ya sean mecánicas o químicas o en el caso de los tricobotrios que tienen función mecanorreceptora, son sedas especiales relacionadas con órganos tipo botridio, las cuales pueden estar o no localizadas en la cabeza, el tórax y el abdomen. poseen sedas modificadas llamadas escamas las cuales no están presentes en todos los géneros (Jordana & Baquero, 2005).

La cabeza de los colémbolos, cuenta con un par de antenas y estas están divididas en cuatro segmentos, cabe mencionar que en ciertos grupos cuentan con subdivisiones en algunos artejos pareciendo que son cuatro o seis, esto por lo regular se presenta en el cuarto artejo antenal, por lo cual llega a estar muy largo. Cabe mencionar que en algunos géneros los machos cuentan con una modificación en el segundo o artejo antenal, marcando notablemente el dimorfismo sexual. Poseen piezas bucales como la mandíbula y la maxila, las cuales se encuentran localizadas en una cavidad

envuelta por el labro “frontal dorsal”, el labium “ventral” y también por pliegues laterales. Los ojos por lo regular no cuentan con el mismo tamaño, están formados por 6 a 8 corneolas, con una disposición en forma de “s” (Paulus, 1972), o especies como los Neelipleona que carecen de ojos (Jordana et al., 2000). Poseen un órgano quimiorreceptor llamado órgano postantenal OPA, el cual se describe como una evaginación de la cutícula a las cuales le llegan terminaciones sensoriales, con las cuales puede conseguir un mejor panorama de contacto con el exterior. Se ha mencionado que es un vestigio remanente del segundo par de antenas de los crustáceos ancestrales (Lawence, 1999).

En el tórax, está conformado por tres partes, protórax, mesotórax y metatórax, los cuales poseen un par de patas cada uno, estas tienen aproximadamente los ya conocidos segmentos típicos de un insecto epi-coxa, sub-coxa, coxa, trocánter, fémur y tibiatarso, que termina en una uña.

El abdomen de los colémbolos según (Hopkin, 1997, 2002), puede ser comprimido o deprimido está constituido por 6 segmentos, o en algunos casos están fusionados dependiendo la familia, estos poseen un tubo ventral (colóforo) situado en el primer segmento, teniendo como función, el adherirse a superficies lisas, también tienen un retináculo el cual se encuentra en el tercer y este le sirve para poder sujetar la fúrcula cuando está en reposo, lo cual esta última mencionada se establece en el cuarto segmento. La fúrcula está constituida por una parte llamada manubrio, un par de dientes y un mucrón. Esta estructura tiene diferentes funciones, ya sea para liberarse de sus depredadores o también les sirve para brincar cuando se sienten en peligro. En el quinto segmento se localiza la abertura genital y la abertura anal en el sexto elemento. (Palacios, 2000).

6.3 Clasificación taxonómica

La clasificación de los colémbolos como una clase distinta se sustenta en estudios morfológicos y evidencia molecular, según Palacios Vargas (2014). Además, se reconocen cuatro órdenes dentro de esta clase:

Poduomorpha, Entomobryomorpha, Neelipleona y Symphypleona (Figura 2) (Bellinger *et al.*, 2012).

Reino: Animalia

Filo: Artrópoda

Subfilo: Hexápoda

Clase: Collembola (Lubbock, 1862)

Sub Clase: Apterygota

Orden: Entomobryomorpha, Poduomorpha, Symphypleona y Neelipleona

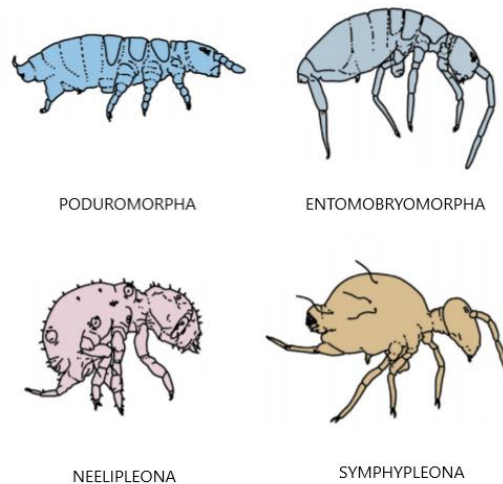


Figura 2.- Muestra las diferencias morfológicas que presentan los diferentes órdenes de colémbolos (recuperados de la investigación de (Baquero, E., y Jordana, R. 2015).

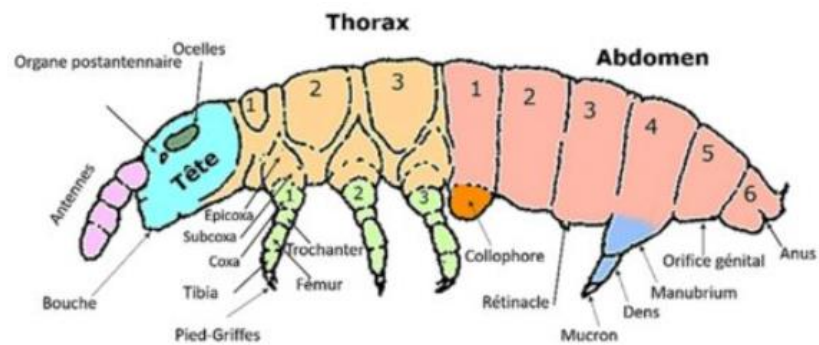
6.3.1 Orden *Poduomorpha*

Los representantes del orden Poduomorpha exhiben un cuerpo elongado, con suturas dorsales que delimitan el tórax y los segmentos abdominales iniciales. El protórax es claramente visible en vista dorsal, mientras que el cuerpo presenta una cubierta exclusiva de sedas. El órgano postantenal está compuesto por múltiples vesículas. La morfología corporal se caracteriza por una depresión dorso-ventral, con segmentos siempre

separados. Las antenas están constituidas por 4 artejos, con frecuente fusión dorsal entre el tercer y cuarto artejo (Palacios vargas, 2014)(Figura 3).

Figura 3.- Descripción morfológica del orden Poduromorpha obtenida de (Garcelon, P. 2018)

6.3.2



Orden

Symphyleona

Los *Symphyleona* tienen un cuerpo globoso, tripartito, compuesto por cabeza, abdomen grande y abdomen pequeño. Sus antenas son más largas que la cabeza y ocasionalmente anilladas. Generalmente presentan ojos y exhiben patrones de coloración variados, aunque pueden ser ausentes en especies edáficas o cavernícolas. Su tamaño es mediano y el grupo es notablemente diverso (Palacios vargas, 2014) (Figura 4).

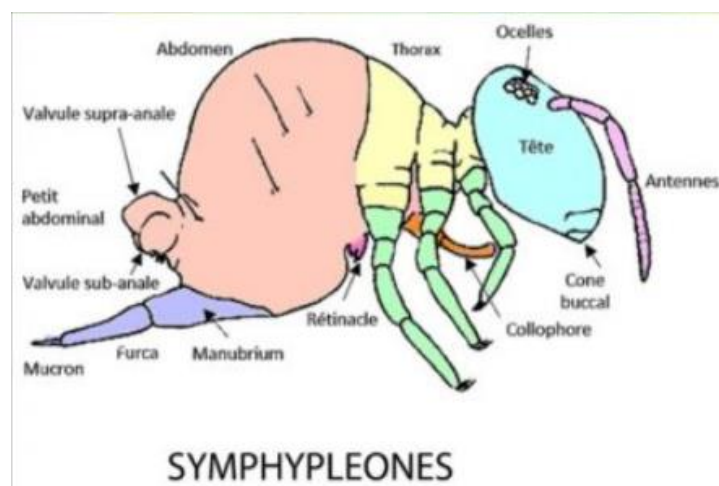


Figura 4.- Descripción morfológica del orden Symphypleona obtenida de (Garcelon, P. 2018).

6.3.3 Orden *Entomobryomorpha*

Los miembros del orden Entomobryomorpha presentan un cuerpo alargado, con una clara separación entre el tórax y los primeros segmentos abdominales debido a suturas dorsales. El pronoto es notablemente reducido y carece de sedas y escamas, mientras que el resto del cuerpo las posee. En algunos casos, los segmentos posteriores del abdomen pueden fusionarse, pero siempre permanecen separados del tórax. El cuerpo tiene una forma comprimida lateralmente y las antenas están compuestas por 4-6 artejos aparentes. Además, cuando está presente, el órgano postantenal suele consistir en una sola vesícula o un número muy reducido de ellas (Palacios vargas, 2014) (Figura 5).

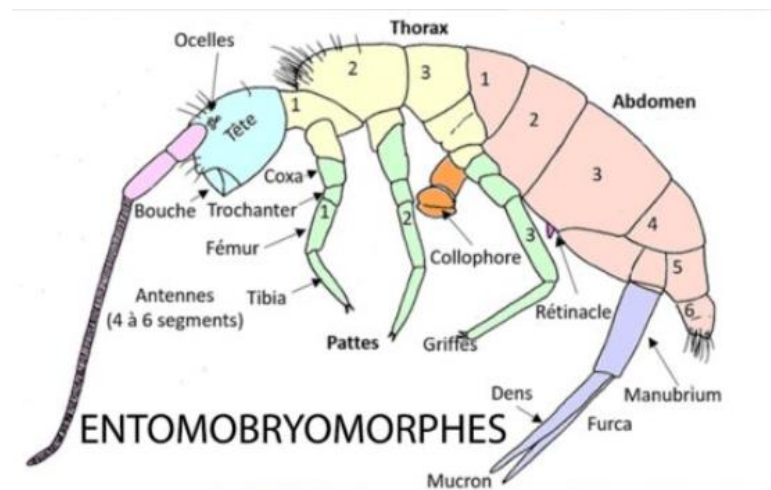


Figura 5.- Descripción morfológica del orden Entomobryomorpha obtenida del (Garcelon, P. 2018).

6.3.4 Orden *Neelipleona*

Los Neelipleona exhiben un cuerpo globoso y bicompartimentalizado, caracterizado por la fusión del tórax y los segmentos abdominales en una sola entidad. Las antenas, significativamente más cortas que la cabeza, están constituidas por 4 artejos. La ausencia de ojos y pigmentos es notable, y su tamaño es extremadamente reducido. Estos organismos son exclusivamente

terrestres y su diversidad es limitada, con un número reducido de especies descritas globalmente (Palacios vargas, 2014) (Figura 6).

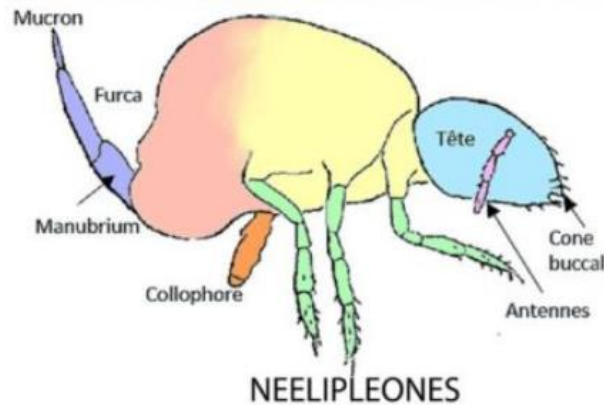


Figura 6.- Descripción morfológica del orden Neelipleona obtenida del (Garcelon, P. 2018).

6.4 Ecología e importancia de los colémbolos

La supervivencia de los colémbolos depende de una interacción de factores, incluyendo la disponibilidad de materia orgánica y la humedad, pero también son sensibles a cambios en su entorno, como se menciona en (Chocobar, 2010). Los colémbolos desempeñan un papel clave en la descomposición y reciclaje de materia orgánica, fragmentando restos vegetales y promoviendo el crecimiento de microflora. Al degradar y excretar los alimentos consumidos, producen millones de heces fecales que liberan nutrientes, los cuales son absorbidos por las raíces de las plantas, contribuyendo así al ciclo de nutrientes (Bellinger, Christiansen & Janssens, 2003). Estos organismos además juegan un papel crucial en el control biológico de poblaciones de hongos y nematodos patógenos en cultivos, lo que los convierte en bioindicadores de la calidad del suelo (González, Díaz & Prieto, 2003). Además, según (Palacios-Vargas 2000), estos organismos indican el pH y la humedad del suelo, ya que algunas especies son sensibles a productos químicos mientras que otras aumentan su población en condiciones favorables. Los colémbolos también revelan la diferencia entre bosques y la evolución de los ecosistemas, marcando grados de perturbación.

6.5 Ciclo de vida

Aunque la cópula no es una característica de la reproducción en esta especie, la transferencia de espermátóforos se realiza mediante un proceso que puede incluir o no un comportamiento ritual entre los sexos opuestos. Posteriormente, las hembras ovipositan paquetes de 8 a 50 huevos, los cuales eclosionan después de un período variable de varios días a más de dos meses. El ciclo de vida, desde la etapa embrionaria hasta la madurez, oscila entre 8 semanas y un año, y algunos individuos pueden alcanzar longevidades de hasta 3 años (Palacio Vargas, 2014). Los colémbolos se clasifican dentro del grupo de los apterigotas, caracterizados por la ausencia de alas. Además, estos organismos exhiben un desarrollo ametabólico, es decir, no presentan cambios morfológicos significativos durante su ciclo de vida, manteniendo una similitud entre las formas juveniles y adultas. No obstante, durante su ontogenia, los colémbolos experimentan un aumento en la articulación de sus antenas. (Cobo, F *et al.*, 2010) (Figura 7).

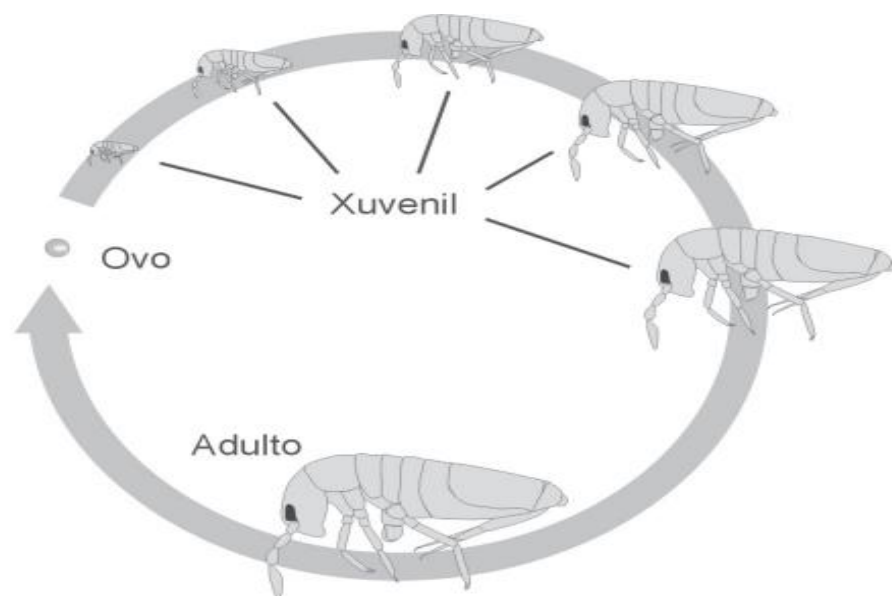


Figura 7.- Muestra las etapas del ciclo de vida de un colémbolo, obtenidas de la investigación de (Cobo, F *et al* 2010).

Generalmente, los colémbolos presentan dimorfismo sexual, con hembras y machos distinguibles. Sin embargo, las diferencias morfológicas

entre sexos son mínimas en comparación con otros casos notables, como los colémbolos acuáticos (Actaletidae, Coeneletidae y Sminthuridae). Además, algunos géneros de colémbolos, como *Isotoma*, *Folsomia*, *Neanura* y *Masaphorura*, exhiben partenogénesis. Recientemente, se ha descubierto que especies del género *Seira* (Entomobryidae) poseen patas modificadas para comportamientos agonísticos, como defensa o ataque (**Zeppelini y Bellini, 2006**).

6.5 Diversidad

(**Palacios Vargas, 2014**) Menciona que se conocen poco más de 8,200 especies de colémbolos en el mundo, algunas de estas están distribuidas ampliamente, esto debido a su gran capacidad para establecerse en distintos hábitats; no obstante, esta cantidad es muy pequeña a la cantidad que debe de existir ya que faltan muchas por describir y descubrir. Así también hoy en día se sabe que en México contamos 24 familias lo que representa el 70% de las existentes en el mundo, mismas como; Hypogastruridae, Neanuridae, Entomobryidae e isotomidae, siendo las familias con un número mayor en registros y con un número menor en registros, pero no menos importante están las familias; Actaletidae, Poduridae, Colophoridae y Caenoletidae, aun así tampoco tienen una riqueza considerable a nivel mundial. El mismo autor señala que muchas de las descripciones o registros solo están a nivel género y con taxas cercanos o conferidos a diversas especies, por lo contrario hace énfasis que tan solo 600 de los ya mencionados están descritos a nivel especie. Sin embargo **Hopkin (1998)**, establece que el total estimado de colémbolos en el mundo debe de ser de 50,000 especies, a partir de esto y extrapolando datos, dice que en México cuando menos deben existir alrededor de 3,600 especies, puesto que en muchos de los estados el conocimiento de estos organismos se considera muy incipiente.

6.6 Distribución

La mesofauna de los bosques se caracteriza por la presencia de hexápodos, ácaros, arácnidos, oribátidos y colémbolos, siendo los oribátidos y colémbolos los grupos más representativos, con una abundancia que supera

el 90% del total de individuos en la hojarasca y suelos (Ducarme *et al.*, 2004; Jing *et al.*, 2005; Cutz-Pool *et al.*, 2006).

Según Hopkin (1997), aunque los colémbolos carecen de alas y son de tamaño reducido, lo que limita su dispersión, su pequeño tamaño y baja masa les permiten colonizar una amplia variedad de ecosistemas. Son organismos extremadamente adaptables que se encuentran en una variedad de ecosistemas en todo el mundo, desde los climas extremos de las regiones polares y los desiertos hasta otros entornos, gracias a su capacidad de dispersión (Hopkin, 2002). Los colémbolos suelen habitar en una variedad de entornos, incluyendo la hojarasca de bosques, cuevas, cuerpos de agua dulce (ríos, lagos, estanques), cortezas de árboles, musgo, plantas epífitas, así como nidos de insectos sociales, aves y mamíferos (Hopkin, 1998; Palacios-Vargas, 2000; Cutz-Pool *et al.*, 2007).

No obstante, aunque el único lugar que les falta por habitar sea las aguas profundas y el mar, el litoral marino rocoso o arenoso tiene una amplia abundancia de colémbolos. Por otra parte diferentes autores mencionan factores determinantes para que los colémbolos se puedan establecer, tales como: CO₂ (García-Gómez *et al.* 2009), pH, temperatura (Schowalter 2006) y humedad ambiental (Christiansen 1992).

6.7 Técnicas de colecta

6.7.1 Trampas Pitfall

Los estudios para cuantificar artrópodos son muy comunes, lo cual a lo largo del tiempo se han ido desarrollando diferentes formas para poder tener una captura más amplia de los organismos. Habitualmente, una de las trampas utilizadas para esto son las “trampas de caída” o mejor conocidas como “pitfall”. El primer diseño de una trampa pitfall fue usada por Dahi hace más de 120 años, ese diseño de trampa consistió en un contenedor enterrado en el suelo con la parte superior al ras de la superficie. Estudios recientes han revisado y analizado la efectividad de estas trampas, destacando la importancia de la estandarización en los métodos de trampeo para obtener resultados comparables (Hohbein & Conway, 2018).

La captura de colémbolos puede realizarse a través de diversas metodologías, incluyendo muestreos en sus hábitats naturales y el empleo de trampas especializadas. Entre estas últimas, las trampas pitfall han sido relativamente poco utilizadas, a pesar de su alta eficiencia, ya que permiten obtener una gran cantidad de ejemplares en un corto período de tiempo (Palacios-Vargas & Mejía-Recamier, 2008).

6.7.2 Platos amarillos

La técnica de trampas amarillas (Pan traps) es una herramienta valiosa para la recolección de himenópteros, incluyendo abejas, en diversas regiones, incluso en áreas áridas. Este método, que combina simplicidad y eficacia, ha demostrado ser más efectivo que otros en la captura de un gran número de individuos (Droege, 2009). Las trampas se componen de recipientes de colores llenos de agua con un aditivo surfactante que reduce la tensión superficial, facilitando la captura de los insectos. El color amarillo ha sido identificado como el más atractivo para una amplia variedad de especies de insectos (Leong & Thorp, 1999).

En el pasado decenio, el uso de trampas de plato ha emergido como una técnica destacada para la recolección de insectos, debido a su eficiencia, imparcialidad y relación costo-beneficio favorable en comparación con otros métodos. Específicamente, en zonas áridas, este método ha demostrado ser especialmente efectivo, ya que su simplicidad y eficacia permiten la captura de un gran número de individuos (Droege, 2009; Droege *et al.*, 2009).

6.8 ¿Qué es la fluctuación poblacional?

La dinámica de poblaciones es una rama de la ecología que se enfoca en el análisis de los cambios dinámicos en las poblaciones y comunidades biológicas, investigando los factores y procesos que influyen en su crecimiento, supervivencia, reproducción y distribución, y cómo estos cambios afectan la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Vargas & Rodríguez, 2008)

La dinámica poblacional de los insectos está influenciada por factores bióticos y abióticos. Comprender cómo estos individuos responden a tales factores proporciona una comprensión integral del funcionamiento de las comunidades multiespecíficas, donde varias especies coexisten en el espacio y el tiempo (Begon *et al.*, 1996).

6.9 Índices de diversidad, abundancia y equidad

El índice de Shannon (H') es una medida de diversidad que cuantifica la riqueza de especies y la equitatividad de la distribución de individuos entre ellas. El índice de Shannon varía entre 0 y un valor máximo teórico que depende del número de especies presentes. En general, se considera que un índice de Shannon bajo (menor a 1,5) indica una baja diversidad, mientras que un índice alto (mayor a 3,5) indica una alta diversidad (Magurran, 2004). Este índice es ampliamente utilizado en ecología para evaluar la diversidad de comunidades y ecosistemas.

El índice de equidad de Pielou (J) es una medida que cuantifica la distribución de individuos entre las diferentes especies presentes en una comunidad. Este índice varía entre 0 y 1, donde un valor de 0 indica que una sola especie domina la comunidad, mientras que un valor de 1 indica que las especies están distribuidas de manera equitativa. En general, se considera que un índice de equidad de Pielou alto (mayor a 0,7) indica una alta equidad en la distribución de especies, mientras que un índice bajo (menor a 0,3) indica una baja equidad (Pielou, 1966).

El índice de fluctuación poblacional (CV) es una medida que evalúa la variabilidad en la abundancia de una población a lo largo del tiempo. El CV se calcula como la relación entre la desviación estándar y la media de la abundancia poblacional. Un CV bajo (menor a 0,5) indica una población estable con poca fluctuación, mientras que un CV alto (mayor a 1) indica una población inestable con grandes fluctuaciones. En general, se considera que un CV entre 0,5 y 1 indica una población moderadamente fluctuante (McArdle, 1990).

Los índices de abundancia son medidas estadísticas que evalúan la cantidad de individuos de una especie o grupo de especies presentes en una área o comunidad. Algunos de los índices de abundancia más comunes incluyen el Índice de Abundancia Relativa (IAR), el Índice de Abundancia Absoluta (IAA), el Índice de Densidad (ID), el Índice de Frecuencia (IF) y el Índice de Dominancia (ID) . Índice de Abundancia Absoluta (IAA): Mide el número total de individuos de una especie presente en una área. Índice de Densidad (ID): Mide el número de individuos de una especie presente por unidad de área. Índice de Frecuencia (IF): Mide la proporción de muestras o áreas en las que se encuentra una especie. Índice de Dominancia (ID): Mide la proporción de individuos de una especie en relación con el total de individuos de todas las especies presentes, y también tiene en cuenta la biomasa o el tamaño de los individuos.(Krebs, 1999)

6.10 Trabajos relacionados con la perturbación poblacional

La dinámica poblacional, también conocida como fluctuación poblacional, se ve influenciada por una variedad de factores bióticos y abióticos que pueden tener efectos tanto negativos como positivos en la ecología de las poblaciones. Es esencial comprender las interacciones entre especies en su hábitat e identificar las variables que determinan el crecimiento o declive poblacional.

Sin embargo, este estudio es complejo y multifacético, ya que diferentes investigadores pueden enfocarse en distintos parámetros o factores, lo que puede generar resultados diversos. A pesar de esta complejidad, la acumulación de resultados de investigaciones es fundamental para desarrollar una comprensión integral de las interacciones ecológicas.

En particular, la investigación sobre fluctuación poblacional en colémbolos es limitada, con una brecha significativa en el estudio de los factores antropogénicos que afectan sus poblaciones. La literatura científica sobre colémbolos se enfoca principalmente en aspectos taxonómicos y ecológicos, pero no aborda adecuadamente los impactos humanos.

Para abordar esta brecha, es necesario revisar la literatura sobre fluctuación poblacional en diversas especies, incluyendo los colémbolos. A continuación, se presentarán antecedentes relevantes sobre fluctuación poblacional en diferentes organismos, con el fin de enriquecer el contexto y proporcionar una visión más amplia sobre este tema.

El estudio de “Fluctuación poblacional de Scolytidae (Coleoptera) en zonas reforestadas con *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae) en Minas Gerais, Brasil de Morales et al. (2000), se realizó un levantamiento poblacional para evaluar la fluctuación de especies de Scolytidae asociadas a plantaciones de *Eucalyptus grandis* en Antonio Dias, Minas Gerais, Brasil. Además, investigó el impacto de la temperatura media, precipitación pluvial acumulada y humedad relativa sobre las poblaciones de las especies más importantes. Los resultados mostraron que factores bióticos (alimentación) y abióticos (temperatura y precipitación) influyeron significativamente en la ocurrencia de las tres especies de *Xyleborus* más abundantes, presentando efectos similares en todas ellas y porcentajes similares de individuos durante los años de muestreo. Esta investigación demuestra que tanto factores bióticos como abióticos pueden tener un impacto significativo en la fluctuación poblacional de estos organismos. Aunque el estudio no aborda una amplia gama de variables, los resultados obtenidos proporcionan una base valiosa para futuras investigaciones.

Luciañez, M.J., Simón, J.C. (1991) en su “Estudio de la variación estacional de la colombofauna en suelos de alta montaña de la sierra de Guadarrama (Madrid)” señalan que analizaron muestras de suelo, recolectadas en diferentes estaciones del año y tipos de vegetación en la Sierra de Guadarrama, revelando una riqueza de 25 especies de Colémbolos. Los resultados mostraron que la diversidad y riqueza de especies variaron significativamente entre estaciones y tipos de vegetación, con mayor diversidad en primavera y mayor riqueza en zonas dominadas por *Cytisus oromediterraneus*. Se utilizaron índices de diversidad como el Índice de Shannon (H'), Índice de Simpson (D) y Índice de Riqueza de Margalef (R), que indicaron una fluctuación poblacional estacionalmente dependiente,

relacionada con cambios en la temperatura y precipitación estacional, con valores máximos de diversidad en primavera ($H' = 2.43$, $D = 0.85$) y riqueza en zonas con *Cytisus oromediterraneus* ($R = 12.5$).

Por otro lado, la variedad de sustratos también puede influir en la abundancia de estos organismos debido a factores como la disponibilidad de alimento, pH, estructura del sustrato y diversidad de microorganismos. De hecho, Palacios Vargas (2000) encontró que el pH del sustrato es un factor importante que influye en la distribución y abundancia de los colémbolos, ya que algunos géneros son más tolerantes a pH ácido o básico. Los colémbolos, al ser detritívoros y alimentarse de materia vegetal en descomposición, están estrechamente relacionados con las condiciones ambientales y los recursos disponibles en su entorno. En mi opinión, estos factores pueden interactuar entre sí y con otros factores bióticos y abióticos para influir en la fluctuación poblacional de los colémbolos. Por lo tanto, es fundamental considerar la complejidad del ecosistema y la variedad de factores que pueden afectar la dinámica poblacional de estos organismos.

Un estudio relevante sobre la fluctuación poblacional de colémbolos es el realizado por Klein et al. (2005) "Variación de la densidad poblacional de *Sminthurus Viridis* (L) (Collembola: Sminthuridae) en la IX Región de la Araucanía, Chile" se centró en la especie *Sminthurus viridis*. Aunque este trabajo se limitó a una sola especie, abordó variables importantes como la temperatura, humedad relativa y altura de la planta, así como la identificación de enemigos naturales (depredadores y parásitoides). Es destacable que la temperatura y la humedad relativa, utilizadas en este estudio, también han sido consideradas en otros trabajos mencionados anteriormente. Además, la inclusión del factor de enemigos naturales es un aspecto crucial para comprender la ecología de estos organismos. Los resultados obtenidos por Klein et al. (2005) muestran diferencias significativas en la abundancia de individuos entre la zona agroecológica del llano central y la precordillera. En la primera, el mayor número de individuos se registró en septiembre (14,3 individuos/m²), mientras que en la segunda, el pico se alcanzó en noviembre (15,9 individuos/m²). Es notable que, aunque existen diferencias significativas, los valores no son extremadamente dispares. Además, se

observó que la zona agroecológica con perturbación antropogénica presentó una abundancia menor en comparación con la zona de la precordillera.

El estudio de Fraile y Serafino (1978) "Variaciones mensuales en la densidad de microartrópodos edáficos en un cafetal de Costa Rica" tuvo como objetivo determinar la densidad de microartrópodos y analizar la fluctuación poblacional en respuesta a variaciones ambientales. Los resultados mostraron que la humedad relativa y la precipitación influyeron de manera diferente en las distintas poblaciones de colémbolos. Sin embargo, se observó una disminución numérica significativa en cada grupo sistemático durante los meses de sequía. Este estudio respalda la idea de que la humedad es un factor crucial en la fluctuación poblacional de estos organismos.

La fluctuación poblacional de insectos es un fenómeno común en ecosistemas agrícolas y naturales. Estudios previos han demostrado que factores como la precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa y disponibilidad de alimento influyen en la dinámica poblacional de diversas especies (Klein et al., 2005; Fraile y Serafino, 1978). Jarandilla Rodríguez, C. (2010) en su artículo "Estudio de la dinámica poblacional de especímenes del gorgojo de los andes (*Premnotrypes* sp y *Rhigopsidius piercei*) en el altiplano central - provincia Aroma" menciona que la precipitación pluvial está altamente correlacionada con la población de gorgojos adultos ($r= 0.76$ para *Premnotrypes* spp y $r=0.82$ para *Rhigopsidius piercei*). Además, se observó que el pico poblacional de ambas especies ocurre durante la etapa de floración y fructificación del cultivo (estudio de la dinámica poblacional de los gorgojos de los Andes, 2006-2007). Estos resultados coinciden con hallazgos previos que destacan la importancia de la humedad y la precipitación en la fluctuación poblacional de microartrópodos (Fraile y Serafino, 1978). La comprensión de estos patrones es crucial para desarrollar estrategias efectivas de manejo y control de plagas en ecosistemas agrícolas.

El estudio "Patrones ecológicos de los colembolos en el cultivo de maíz en Balún Canal, Chiapas, México" de Arviso, S. et al. (1999) se investigó el efecto de la intensidad de uso del suelo en la estructura de la comunidad de

colémbolos y la cantidad de materia orgánica del suelo (MOS) en campos de cultivo de maíz en Los Altos de Chiapas, México. Los resultados mostraron que el tiempo de uso del suelo y la intensidad de cultivo son variables clave que determinan la fluctuación poblacional de colémbolos, encontrándose que a mayor tiempo de uso del suelo disminuye el % de MOS y la abundancia de colémbolos, afectando negativamente la diversidad y equitatividad de estas especies. Este estudio sugiere que los colémbolos pueden ser utilizados como indicadores de la intensidad de uso del suelo.

Ascención-Betanzos et al., (1999) en su estudio "Fluctuación poblacional y daño de trips en aguacate cv. Hass encontró que la población de trips fluctuó significativamente a lo largo del tiempo, con picos de abundancia en mayo-junio y septiembre-octubre, correlacionados con temperatura y humedad relativa. Para evaluar esta fluctuación, se utilizaron métodos como muestreo semanal en 20 plantas durante un año, análisis de varianza (ANOVA) y índices de diversidad como el Índice de Shannon ($H' = 1.43-2.15$, indicando una diversidad moderada a alta), Índice de Simpson ($D = 0.65-0.85$, mostrando una dominancia moderada de algunas especies), y Índice de Riqueza de Margalef ($R = 6-12$, revelando una riqueza de especies media a alta). Estos resultados indicaron que la fluctuación poblacional estuvo influenciada por factores climáticos y fenológicos, identificando cuatro períodos de fluctuación: aumento, estabilidad, disminución y mínimo, lo que puede ayudar a desarrollar estrategias efectivas para controlar la población de trips y minimizar el daño en el cultivo de aguacate.

El estudio de García Garduza et al. (2013) investigó la fluctuación poblacional de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en limón persa (*Citrus latifolia*) en Huimanguillo, Tabasco, México. Los resultados mostraron que la población de *D. citri* fluctuó significativamente a lo largo del año, con picos de abundancia en los meses de mayo y junio. En este estudio, la fluctuación poblacional de *D. citri* se debió probablemente a factores ambientales como la temperatura, la humedad y la disponibilidad de alimento. Los picos de abundancia en los meses de mayo y junio podrían estar relacionados con la floración y la fructificación del limón persa, que proporciona un recurso

alimenticio para *D. citri*. En resumen, el estudio de García Garduza et al. (2013) encontró que la población de *D. citri* en limón persa en Huimanguillo, Tabasco, México, fluctuó significativamente a lo largo del año, con picos de abundancia en los meses de mayo y junio. La fluctuación poblacional se debió probablemente a factores ambientales y a la disponibilidad de alimento.

El estudio de Brown y Freitas (2002) investigó cómo la deforestación afecta a las mariposas en la selva amazónica. Lo que encontraron fue que la deforestación reduce mucho la cantidad de mariposas y la variedad de especies. Para medir esto, los autores usaron algunos índices. Por ejemplo, encontraron que en las áreas deforestadas había un promedio de 23 mariposas por cada 100 metros cuadrados, mientras que en las áreas de selva intacta había un promedio de 59 mariposas por cada 100 metros cuadrados. También encontraron que la deforestación reduce la variedad de especies de mariposas. En las áreas deforestadas, había un promedio de 12 especies de mariposas por cada 100 metros cuadrados, mientras que en las áreas de selva intacta había un promedio de 21 especies por cada 100 metros cuadrados. Finalmente, los autores encontraron que la deforestación reduce la cantidad de hábitat disponible para las mariposas. En las áreas deforestadas, solo había un 30% de hábitat disponible, mientras que en las áreas de selva intacta había un 60% de hábitat disponible.

El trabajo de Magle et al. (2012) encontró que la urbanización reduce la abundancia y diversidad de grillos en áreas urbanas, y que la estructura del hábitat urbano es un factor importante que influye en la abundancia de grillos. Los autores identificaron la cantidad de superficie dura y la presencia de vegetación como factores indicadores del impacto antropogénico, y utilizaron índices de abundancia ($34,6 \pm 12,1$ grillos/100 m² en áreas urbanas vs. $67,3 \pm 20,5$ grillos/100 m² en áreas rurales), diversidad ($3,2 \pm 0,8$ especies/100 m² en áreas urbanas vs. $5,1 \pm 1,2$ especies/100 m² en áreas rurales), superficie dura ($43,2 \pm 15,1\%$ en áreas urbanas vs. $12,5 \pm 5,1\%$ en áreas rurales) y vegetación ($21,5 \pm 8,2\%$ en áreas urbanas vs. $51,2 \pm 15,1\%$ en áreas rurales) para evaluar el impacto de la urbanización en la abundancia de grillos.

El estudio de Magle et al. (2012) descubrió que la urbanización reduce la cantidad de grillos y la variedad de especies en las áreas urbanas. También encontraron que la forma en que se estructura el hábitat urbano es muy importante para determinar la cantidad de grillos que viven allí. Los autores identificaron dos factores clave que indican el impacto de la urbanización en los grillos: la cantidad de superficie dura (como calles y edificios) y la presencia de vegetación. Para medir esto, los autores usaron algunos índices. Por ejemplo, encontraron que en las áreas urbanas había un promedio de 34,6 grillos por cada 100 metros cuadrados, mientras que en las áreas rurales había un promedio de 67,3 grillos por cada 100 metros cuadrados. También encontraron que la urbanización reduce la variedad de especies de grillos. En las áreas urbanas, había un promedio de 3,2 especies de grillos por cada 100 metros cuadrados, mientras que en las áreas rurales había un promedio de 5,1 especies por cada 100 metros cuadrados. Además, los autores encontraron que la urbanización aumenta la cantidad de superficie dura y reduce la cantidad de vegetación. En las áreas urbanas, el 43,2% de la superficie era dura, mientras que en las áreas rurales solo el 12,5% de la superficie era dura. Por otro lado, en las áreas urbanas solo el 21,5% de la superficie estaba cubierta de vegetación, mientras que en las áreas rurales el 51,2% de la superficie estaba cubierta de vegetación.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en el Parque Estatal Cañón de Fernández, localizado en el noreste del estado de Durango, México, es un Área Natural Protegida y sitio Ramsar (1747) de relevancia ecológica significativa. Ubicado en las coordenadas 25°20 '16.7 " N 103°43' 55.6" O, en el extremo sur del municipio de Lerdo, a 62 km de la ciudad homónima, el parque comprende una superficie de 17,000 ha. Se encuentra dentro de la región del desierto chihuahuense, una zona con una notable biodiversidad y un nivel de estudio aún limitado (Waeuer & Riskind, 1977). La diversidad climática del parque, que incluye zonas semisecas, semicálidas, secas templadas y templadas subhúmedas, contribuye a su importancia ecológica. *Específicamente el estudio se hizo en la zona de resguardo y campamento "El tasajillo" ya que cumplía con las características necesarias de seguridad para poder llevar a cabo la investigación (Figura 8).*



Figura 8.- Imagen tomada a través de Google Maps, en donde se señalan las áreas con diferentes niveles de perturbación en las cuales se realizó la investigación.

7.2 Caracterización de las zonas de estudio

Las características mencionadas en cada área de investigación fueron seleccionadas y descritas gracias a la valiosa contribución de la Dra. Amorita Westphal, destacada experta en manejo de recursos naturales (Tabla 1). Como miembro de ProDefensa del Nazas A.C. y Fundación MAS México A.C., así como doctora en su campo, la Dra. Westphal aportó su amplia experiencia y conocimiento en conservación y sustentabilidad. Su caracterización de las áreas de investigación estuvo marcada por una profunda comprensión por el manejo, conservación y sustentabilidad de los recursos naturales. Además, como fundadora y directora técnica de 'El Tasajillo', un espacio dedicado a la cultura para la conservación y desarrollo comunitario sustentable, la Dra. Westphal demostró su compromiso con la preservación del medio ambiente y el bienestar de las comunidades locales.

Cuadro 1.- Muestra las características de perturbación antropogénica en las diferentes zonas de investigación

Zona con Perturbación	Zona con ½ perturbación	Zona sin perturbación
Zona turística	Zona de pesca	Personas autorizadas y que cuentan con investigaciones (Chequeo de trampas o cámaras trampa o monitoreo de fauna y flora)
Zona de campamento controlado	Zona de campamento	
Zona de pesca	Punto de paso obligado de los trabajadores de la nogalera	
Punto de paso obligado de los trabajadores de la nogalera	Punto de paso obligado de los trabajadores de la nogalera	
Paso inadecuado de los transeúntes en motos, o camionetas todo terreno.	Acumulacion de basura de los acampadores y de los transeúntes	
Paso turístico de las personas al "Tasajillo"		
Acumulacion de basura de los acampadores y de los transeúntes		
Paso de ganado para el pastoreo a zonas colindantes con el tasajillo		

7.3 Trabajo de campo

En el marco de este estudio, se realizó un muestreo estacional (febrero-mayo) en tres zonas con diferentes niveles de perturbación antropogénica, definidos como: sin perturbación (control), media perturbación (intervención humana moderada) y alta perturbación (actividad antropogénica intensa). En cada zona, se implementaron simultáneamente dos métodos de colecta, trampas pitfall y platos amarillos, siguiendo el protocolo establecido por Chagnon et al. (2000), lo que permitirá obtener una representación exhaustiva de las poblaciones de colémbolos, tanto en el suelo como en la superficie.

Se establecieron transectos lineales y estandarizados en áreas con diferentes niveles de perturbación antropogénica, caracterizados previamente en cada punto de colecta. En cada transecto, se dispusieron 10 trampas Pitfall y 10 trampas de platos amarillos, separadas entre sí a 5 metros de distancia, para asegurar un campo de captura más amplio y abarcar una mayor variedad de especies (Southwood, 1978). Las trampas Pitfall consistieron en vasos de plástico de capacidad número 8, llenados hasta un cuarto de su capacidad con alcohol al 70% como atrayente y conservante, y se enterraron hasta el ras del suelo, dejando la parte superior del vaso descubierta. Las trampas de platos amarillos se colocaron sobre la superficie del suelo y se cebaron con una solución de agua y jabón, como método complementario de colecta (Figura 9) . La combinación de ambas técnicas de colecta aseguró una cobertura amplia de la diversidad de organismos presentes en el área de estudio, maximizando la captura de colémbolos y otros artrópodos.



Figura 9.- Muestra las trampas utilizadas en la investigación (Trampas Pitfall y trampas de platos amarillos).

Se señalaron los puntos de colocación de las primeras trampas en febrero utilizando banderillas compuestas por un palo de madera y una banderilla en la parte superior (plástico de color amarillo). En cada banderilla, se registró con marcador permanente la siguiente información: zona de perturbación correspondiente, tipo de trampa y número específico de cada trampa (1-10), con el fin de garantizar la identificación precisa y la localización de las trampas durante el estudio.

Durante los cuatro meses de muestreo, se recolectaron un total de 240 frascos con organismos capturados, distribuidos equitativamente entre trampas Pitfall (120 frascos) y trampas de platos amarillos (120 frascos). Cada colecta mensual, realizada durante 5 días, generó 60 frascos, correspondientes a tres niveles de perturbación: sin perturbación (control, 20 frascos), media perturbación (intervención humana moderada, 20 frascos) y alta perturbación (actividad antropogénica intensa, 20 frascos). En cada nivel de perturbación, se utilizaron 10 trampas Pitfall y 10 trampas de platos amarillos, asegurando una distribución homogénea de los métodos de colecta.

7.4 Trabajo de Laboratorio

7.4.1 Separación y conteo de colémbolos

Una vez trasladadas las muestras al Laboratorio Multidisciplinario de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB-UJED), se procedió a la separación y clasificación de los colémbolos. Los contenidos de los frascos se vaciaron cuidadosamente en placas de medias cajas Petri, y utilizando un estereoscopio y cucharillas, se seleccionaron y aislaron los colémbolos. Posteriormente, se almacenaron en tubos Eppendorf previamente etiquetados con información específica (transecto, punto, fecha, tipo de atrayente y letra identificativa: E, P o S), correspondiente a cada orden taxonómico (Entomobryomorpha, Poduromorpha o Symphypleona) (Figura

10). La cantidad de individuos se registró en una bitácora de conteo. Simultáneamente, se realizó la separación y clasificación de los colémbolos según sus características morfológicas representativas.



Figura 10.- Separación y contabilización de colémbolos a nivel orden.

Es importante destacar que la separación de los colémbolos es un proceso que requiere una gran concentración y precisión. Debido al tamaño reducido de los colémbolos, estos pueden quedar atrapados en las estructuras corporales de otros organismos capturados o en la hojarasca, lo que puede generar pérdidas en la recolección. Por lo tanto, es crucial realizar una revisión exhaustiva y minuciosa de la hojarasca para evitar sesgos en la recolección de los colémbolos y garantizar la precisión en la separación y conteo de estos organismos.

7.4.2 Preparación y montaje de ejemplares

Una vez separados los colémbolos a nivel de orden en los tubos Eppendorf, se procedió a realizar la preparación y aclaración de estos organismos para caracterizar sus estructuras morfológicas distintivas. Este proceso es esencial para la identificación precisa y taxonómica de los colémbolos, ya que permite visualizar y analizar detalladamente las características morfológicas clave, tales como la forma del cuerpo, la estructura de las antenas, la disposición de los ojos y otros rasgos distintivos.

Para la preservación y manipulación de los colémbolos, se requirió instrumentos especializados como cajas Petri, portaobjetos, portaobjetos cóncavos, "cucharillas", lápiz de punta de diamante, pinzas de disección punta fina curvada, barniz de uñas transparente, etiquetas y marcador permanente punto fino. Además, se necesitaron químicos específicos como lactofenol, potasa al 10% y líquido de Hoyer para la aclaración y preparación de los ejemplares. El estereoscopio fue fundamental para la manipulación y montaje de los colémbolos, y posteriormente, se utilizó una incubadora para el secado de los frotis. Finalmente, los frotis secos se examinan bajo un microscopio para la identificación de los colémbolos, asegurando una precisa caracterización morfológica y taxonómica.

Es importante destacar que las cucharillas utilizadas en este estudio fueron fabricadas manualmente. Para su creación, se emplearon alfileres entomológicos, los cuales se modificaron mediante un proceso de transformación. En primer lugar, se cortó la cabeza de cada alfiler utilizando pinzas. Luego, se aplanó la parte cortada con un martillo para darle la forma característica de una cucharilla. Posteriormente, se sujetó firmemente el alfiler y se ensartó en un palillo delgado de madera por la parte puntiaguda, resultando en una "cucharilla" adaptada para la manipulación de los colémbolos (Figura 11).



Figura 11.- Cucharillas utilizadas para la manipulación de los colémbolos (Creadas con alfileres entomológicos y palillos de madera)

7.4.3 Aclarado de colémbolos

Primero, se realizó la aclaración de los organismos mediante la aplicación de potasa al 10%. Para ello, se colocó una gota de potasa en un portaobjetos cóncavo y se añadieron colémbolos utilizando cucharillas hasta que los ejemplares adquirieron una coloración rojiza transparente. Posteriormente, los ejemplares aclarados se trasladaron a otro portaobjetos cóncavo que contenía una gota de lactofenol. Se aplicó calor cuidadosamente mediante un encendedor hasta que se observaron los primeros vapores, evitando la ebullición del líquido. Después de unos minutos de reposo, se procedió al montaje de los ejemplares. Cabe señalar que estos procedimientos se llevaron a cabo bajo la observación detallada del estereoscopio, con el objetivo de garantizar el manejo cuidadoso y preciso de los ejemplares de colémbolos. Esto permitió evitar cualquier daño accidental de estructuras delicadas, como extremidades, durante la manipulación con cucharillas.



Figura 12.- Aclarado de los colémbolos para su previo montaje.

7.4.4 Montaje de colémbolos

Para el montaje de los colémbolos, se depositó una gota de líquido de Hoyer en el centro de un portaobjetos. Luego, utilizando una cucharilla, se seleccionó un colémbolo y se colocó cuidadosamente dentro de la gota. Bajo la observación detallada del estereoscopio, se manipuló el colémbolo para orientar sus estructuras corporales de manera óptima para su observación. Los cubreobjetos se cortaron previamente en cuatro partes con lápiz punta de

diamante, procedimiento que se realizó para evitar la compresión o daño del ejemplar, ya que el uso de cubreobjetos enteros podría ejercer presión excesiva sobre el colémbolo. Posteriormente, se tomó un cuarto de cubreobjetos y se colocó encima de la gota que contenía el colémbolo, manteniendo un ángulo de 45°, asegurando así que el cubreobjetos cubriera completamente la gota y protegiera al ejemplar (Figura 13).

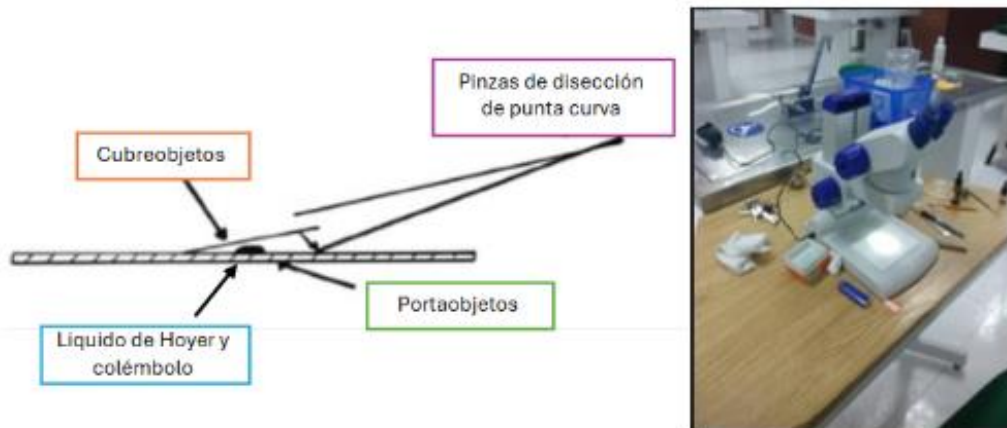


Figura 13.- Señala la forma en la que se realizaba el montaje de los colémbolos, imagen obtenida y modificada de (Palacios-Vargas, J. G., & Mejía-Recamier, B. E. 2007)

Para continuar con el proceso, los ejemplares se sometieron a un proceso de secado y cristalización en una incubadora a temperatura controlada de 45° durante 5 días, registrando el progreso en una bitácora de datos para garantizar una cuantificación precisa y un secado óptimo. Una vez completado el período de incubación, se retiraron los frotis y se eliminó el exceso de líquido de Hoyer derramado en los bordes del cubreobjetos utilizando la punta de un alfiler estéril, luego se limpió el área con una gasa libre de pelusas humedecida con alcohol para remover cualquier residuo. Finalmente, los frotis se etiquetaron con la misma identificación utilizada en

los tubos Eppendorf, asegurando así la trazabilidad y consistencia en la documentación de los ejemplares.

Figura 14.- Incubadora de secado, y frotis sellado con esmalte transparente, listo para la previa identificación.

Se prepararon y montaron 350 frotis que contenían colémbolos, seleccionados como muestra representativa del 10% de la población total, según un diseño muestral estadísticamente válido. Este proceso aseguró la conservación de los ejemplares para futuros análisis de identificación y garantizó la precisión y representatividad de los resultados.

7.4.5 identificación

Una vez previos, se procedió exhaustiva de los observación



de los ejemplares

completados los pasos a la identificación ejemplares mediante detallada y sistemática

utilizando microscopio electrónico, lo que permitió examinar características morfológicas extremadamente pequeñas. Para asegurar una identificación precisa hasta nivel de familia y género, se utilizó el objetivo 100X y líquido de inmersión, lo que facilitó la observación de estructuras críticas. Además, se tomaron fotografías características de cada ejemplar para documentar su morfología y facilitar la identificación. La identificación se llevó a cabo consultando diversas claves taxonómicas publicadas por expertos en la materia, incluyendo las de Palacio (1990), Ospina et al. (2003) y Jordana y Arbea (1989) (Figura 15), lo que garantiza una clasificación precisa y actualizada. Finalmente, los datos obtenidos se organizaron en una matriz de datos en un libro de Excel, permitiendo la generación de datos necesarios para el análisis estadístico posterior y asegurando la integridad y confiabilidad de los resultados.



Figura 15.- Claves para la identificación taxonómica de los diferentes ejemplares.

7.4.6 Diagnósis taxonómica

ORDEN ENTOMOBRYOMORPHA

Los organismos de este grupo se caracterizan por presentar un cuerpo alargado y comprimido lateralmente, con suturas dorsales que separan el tórax de los primeros segmentos abdominales. El protórax no es visible dorsalmente (Figura 16) y el cuerpo puede estar cubierto por sedas y escamas. Los segmentos posteriores del abdomen pueden estar fusionados entre sí, pero nunca con el tórax. Además, cuando está presente, el órgano post antenal suele estar formado por una sola vesícula. Las antenas están compuestas por 4 a 6 artejos (Palacios, 2014).



Figura 16.- Vista dorso- lateral de un colémbolo del orden Entomobryomorpha.

FAMILIA: Entomobryidae

Estos colémbolos se caracterizan por presentar el segmento abdominal IV significativamente más largo que el III (Figura 17). Además, poseen apéndices largos y un cuerpo cubierto de sedas pilosas o ciliadas gruesas. El mucrón es

corto, con una o dos cúspides, y puede presentar o no una espina basal. El dens presenta anillos regulares en su cara posterior.



Figura 17.- Muestra el segmento abdominal IV más largo que el III.

Género: *Entomobrya*

Estos colémbolos se caracterizan por presentar una seda lisa en el tibiotarso de la pata III, así como un mucrón bidentado (Figura 18). Además, se distinguen por la ausencia de escamas en su cuerpo. Las antenas están compuestas por cuatro artejos, y presentan ocho corneolas a cada lado de la cabeza.

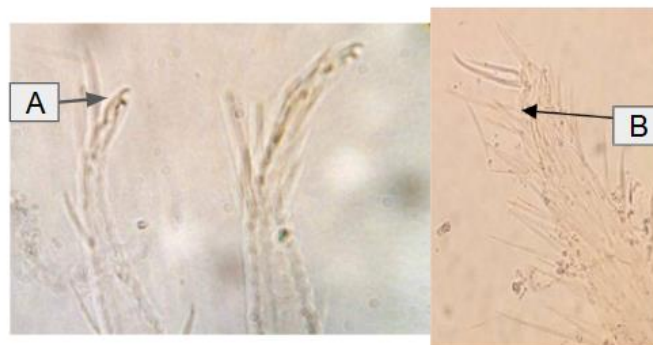


Figura 18.- (A) Señala el mucron bidentado (B) Señala la seda lisa en el tibiotarso de la pata III.

Género: *Seira*

Los colémbolos de este género se distinguen por presentar escamas cordiformes y redondeadas (Figura 19), que son características diagnósticas clave para su identificación.

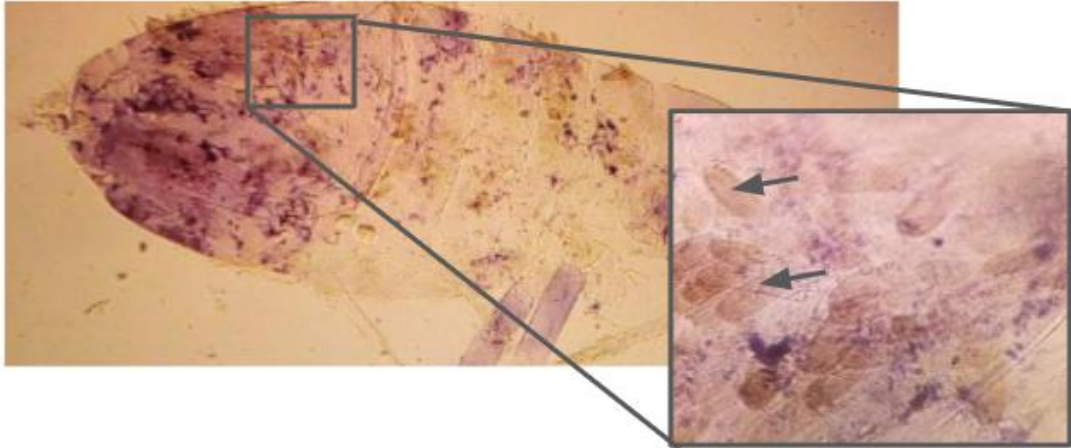


Figura 19.- Se señalan las escamas cordiformes y redondeadas.

Género: *Lepidocyrtus*

Estos colémbolos se caracterizan por presentar un mucrón bidentado, uñas de morfología normal (Figura 20), escamas en algunas partes de su cuerpo, antenas compuestas por cuatro artejos y escamas cordiformes y redondeadas.

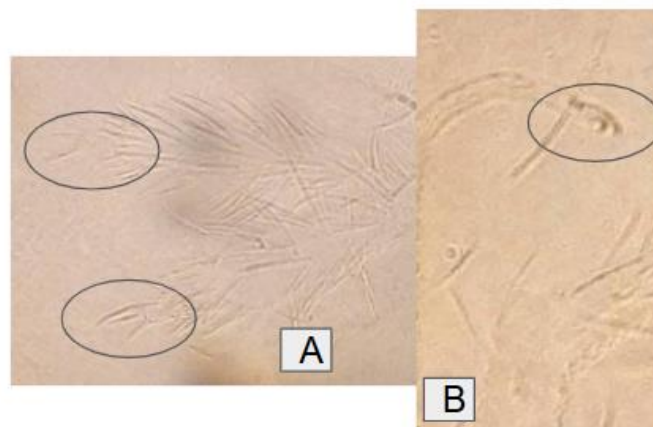


Figura 20.- Señala las (A) Uñas normales y el (B) mucrón bidentado.

FAMILIA: Isotomidae

Estos colémbolos exhiben una gran diversidad y se caracterizan por presentar segmentos corporales de longitud similar (Figura 21) (Ospina et al., 2008). Además, su cuerpo está cubierto de sedas simples o débilmente ciliadas.



Figura 21.- Muestra los segmentos de similar longitud representativos.

Género: *Isotomurus*

Estos organismos se caracterizan por presentar uñas sin túnica, y pueden ser o no ortotrópicos (con o sin ojos). El manubrio está densamente cubierto de sedas (Figura 22). Además, los segmentos abdominales IV y V están claramente separados. Otro carácter diagnóstico es la presencia de un Órgano Postantenal (OPA).

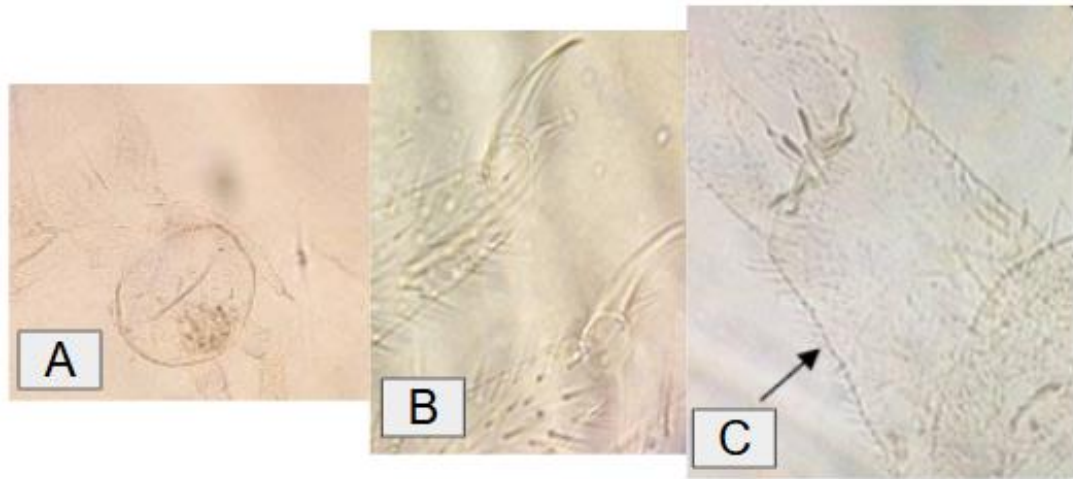


Figura 22.- Señala características del género como: (A) sin ojos (B) uñas pequeñas sin túnica y (C) Manubrio recubierto de sedas.

Género: Folsomia

Se caracterizan por presentar un cuerpo pequeño, delgado y alargado. La cabeza es pequeña y redondeada, con antenas de 4 artejos. El tórax y el abdomen están cubiertos de sedas finas y ciliadas. El manubrio es largo y delgado, con muchas sedas. Las uñas son pequeñas y sin túnica. El órgano post antenal (OPA) está presente. Una característica distintiva del género *Folsomia* es la presencia de un mucrón con tres dientes (Figura 23).

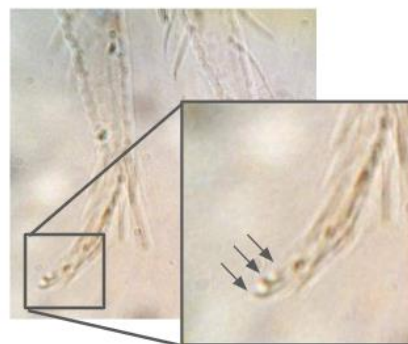


Figura 23.- Se señala la característica distintiva del género: Mucrón con tres dientes.

ORDEN PODUROMORPHA

Los colémbolos del orden Poduromorpha se caracterizan por presentar un cuerpo típicamente redondeado o ovalado. La cabeza es pequeña y redondeada, con antenas pequeñas de 4 artejos. El tórax y el abdomen están cubiertos de sedas finas y ciliadas. El manubrio es corto y robusto. Mandíbula con placa molar dentada (Figura 24).

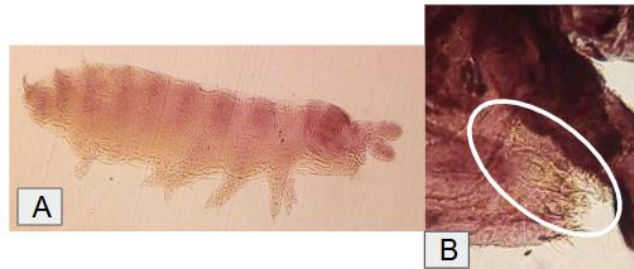


Figura 24.- Muestra características distintivas de este orden:(A) como la forma del cuerpo, las antenas cortas y el manubrio corto y robusto (B) Mandíbula con placa molar dentada.

FAMILIA: Hypogastruridae

Los colémbolos de la familia Hypogastruridae se caracterizan por presentar un cuerpo pequeño a mediano, típicamente redondeado o ovalado. La cabeza es pequeña y redondeada, con antenas de 4 artejos. Están cubiertos de sedas finas y ciliadas. El manubrio es corto y robusto. Los segmentos abdominales IV y V están fusionados. Una característica distintiva de la familia Hypogastruridae es la presencia de pinzas bucales adaptadas para masticar, compuestas de maxilas y mandíbulas (Figura 25).



Figura 25.- Muestra el círculo las maxilas y la mandíbula, las flechas señalan las sedas finas y ciliadas del cuerpo y el rectángulo las antenas con 4 artejos.

ORDEN SYMPHYPLEONA

Los colémbolos del orden Symphypleona se caracterizan por presentar un cuerpo típicamente globoso o esférico, con un tamaño que varía desde pequeño hasta mediano. La cabeza es pequeña y redondeada, con antenas de 4 artejos. El tórax y el abdomen están fusionados, formando un solo segmento corporal. Segmentos abdominales V y IV diferenciados (Figura 26).



Figura 26.- Se muestra el cuerpo de un individuo del orden Symphypleona, cuerpo globoso y los segmentos abdominales V y IV diferenciados señalados dentro del círculo.

FAMILIA: Sminthuridae

Se caracterizan por presentar un cuerpo pequeño a mediano, típicamente esférico o globoso. La cabeza es pequeña y redondeada, con antenas de 4 artejos. El tórax y el abdomen están fusionados, formando un solo segmento corporal. Una característica distintiva del género Sminthurus es la presencia de un mucrón crenulado (Figura 27) que puede ser simétrico o asimétrico.

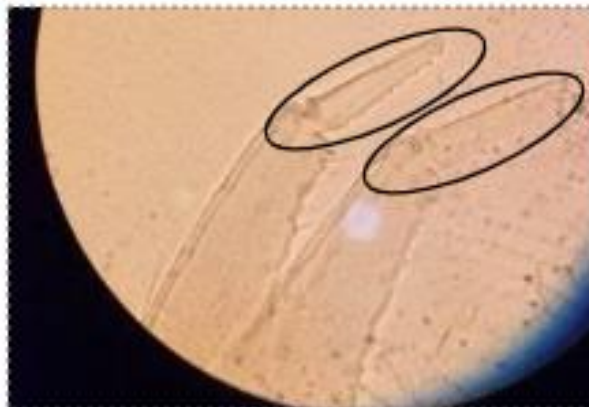


Figura 27.- Mucrón crenulado

Género: Sminthurus

Los colémbolos del género *Sminthurus* se caracterizan por presentar un cuerpo pequeño a mediano, típicamente esférico o globoso. Antenas de 4 artejos. El tórax y el abdomen están fusionados, formando un solo segmento corporal. Una característica distintiva del género *Sminthurus* es la presencia de un mucrón crenulado, que puede ser simétrico o asimétrico. Presentan un tenáculo con dos dientes y un tenáculo basal, que se mantiene desde la fase juvenil II hasta el adulto. Tibiotarso sin espolones mazudos (Figura 28).

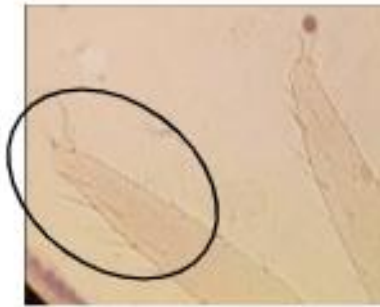


Figura 28.- Muestra el tibiotarso sin espolones mazudos

FAMILIA: Sminthuridadae

Se caracteriza por presentar un cuerpo pequeño a mediano, típicamente esférico o globoso, con un mucrón simple o crenulado, tenáculo con 4 dientes desde la fase juvenil II hasta el adulto (realmente con tres dientes y un tenáculo basal), hembras sin apéndices anales, machos con el II y III artejos antenales modificados en un órgano fijador, y dos pares de tricobotrios en el segmento abdominal V.

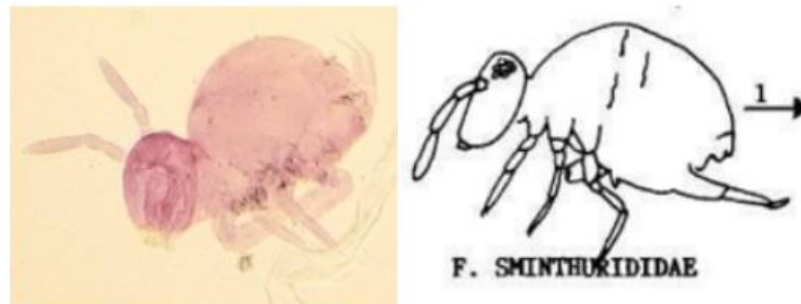


Figura 29.- Vista lateral de un ejemplar de Sminmthuridade, imagen en blanco y negro tomada de Claves taxonomicas de (Jordana y Arbea 1989).

Género: Sphaeridia

Sin órgano tibiotalar en la pata III (Figura 30).

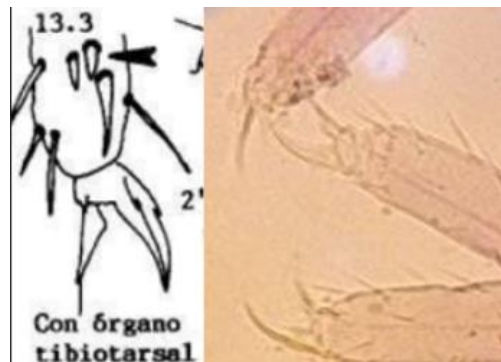


Figura 30.- Pata III de Sphaeridia sin órgano tibiotalar en contraste con la imagen de la derecha que sí lo tiene, Imagen tomada de Claves taxonómicas de Jordana y Arbea (1989).

FAMILIA: Bourletiellidae

Se caracteriza por tener un cuerpo globoso o esférico, con una forma redondeada y simétrica,.Dos pares de tricobotrios A,B y C del abdomen, formando una línea recta oblicua. 2 dientes y un tubérculo basal. La cabeza es pequeña y redondeada, con ojos compuestos pequeños o ausentes, y antenas cortas y delgadas.

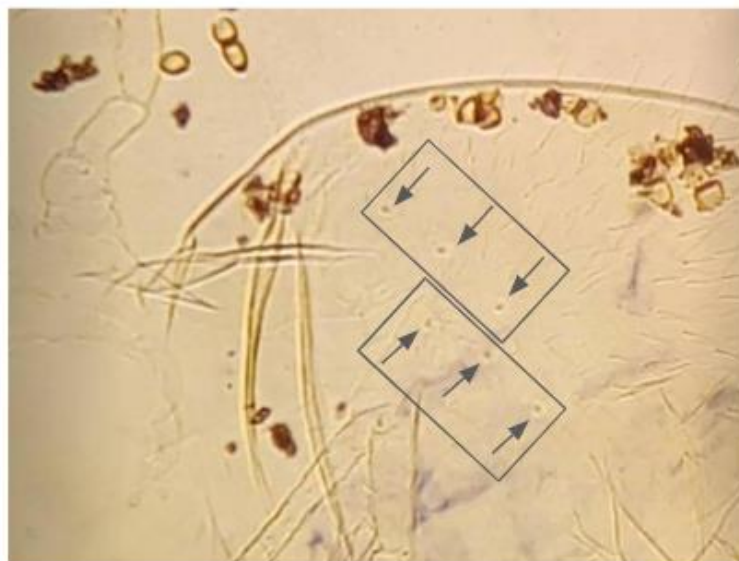


Figura 31.- Muestra los dos pares de tricobotrios A,B Y C señalados por las flechas y encerrados en los rectángulos.

Género: Bourletiella

Estos organismos de género se caracterizan principalmente por tener empodio con filamento apical.

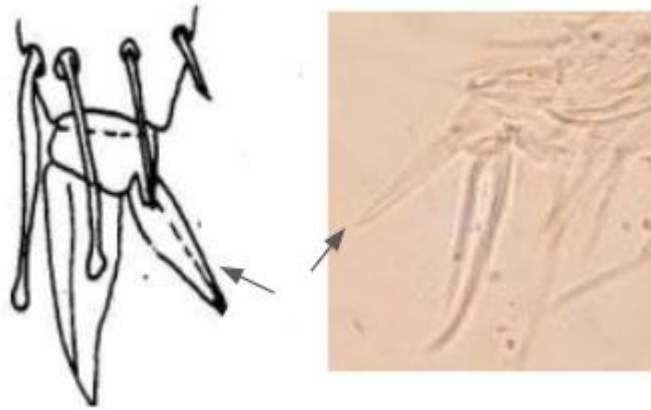


Figura.32.- Señala con flecha la estructura representativa “empodio con filamento apical”. dibujo obtenido de la clave taxonómica de (Jordana y Arbea.,1989).

FAMILIA: Arrhopalitidae

Género: *Arrhopelites*

Se caracteriza por tener un cuerpo globular, y los segmentos abdominales V y VI diferenciados. Los individuos pueden tener o no pigmento, y presentan 0-1 corneales a cada lado de la cabeza. El abdomen tiene tricobotrios y el tenáculo tiene 4 dientes desde la fase juvenil II hasta el adulto. Segmento antenal IV más largo que el III (Figura 32).



Figura 33.- señala estructuras como el terguito IV más grande que el terguito III, así mismo se puede observar que sólo presenta 1 corneola.

7.5 Diseño experimental

Para evaluar la fluctuación poblacional de los colémbolos, se implementó un diseño de estudio mixto, que combinó elementos de observación y experimentación no equivalente. Este enfoque permitió caracterizar las zonas de estudio según sus niveles de perturbación, lo que facilitó la identificación de patrones de variación en la abundancia y diversidad de los colémbolos entre las áreas estudiadas.

Para evaluar la variabilidad en la composición de especies, se utilizaron índices de diversidad (Índice de Shannon, Índice de Simpson e índice de equitatividad de Pielou) y abundancia (densidad poblacional). Este enfoque permitió determinar el impacto del grado de perturbación antropogénica en la comunidad de colémbolos. Los datos generados en este estudio se presentan en tablas, gráficos y cálculos estadísticos detallados, con el objetivo de facilitar una interpretación precisa y objetiva de los resultados, permitiendo una visión clara y completa de la fluctuación poblacional de colémbolos en las áreas estudiadas.

VIII. RESULTADOS

Para evaluar la fluctuación poblacional de las áreas con diferentes niveles de perturbación antropogénica, se determinó una muestra representativa para cada una de las cuatro colectas mensuales realizadas, calculando inicialmente el 10% del total de la muestra (3503 colémbolos); sin embargo, debido a la variabilidad en la cantidad de individuos capturados, se adaptó el tamaño de la muestra para garantizar una representatividad mínima, permitiendo comparar la dinámica poblacional entre las diferentes áreas de estudio y colectas mensuales, minimizando los sesgos asociados a la variabilidad en la cantidad de individuos capturados.

Primera colecta en el mes de Febrero

Feb- Con perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	E100	E2	E99	---	E7	---	---	E115- S1	E1	---	324	1	---
Trampa pitfall	E13	E11	---	---	E17	E2	---	---	---	---	43	---	---
Feb- 1/2 perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	E15	E14-P1	E158	E52	E16	E26-S2	E6	E12	E3-S2	3E	305	4	1
Trampa pitfall	3E	1E	E2	E26	E17	8E	E6-S3	---	1S	---	63	1	---
Feb- Sin perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	---	E6-S2-P46	---	E4	E10-S1-P52	E25-P1	E28	P28-E3	E12-S2	---	88	2	26
Trampa pitfall	---	---	E1	E1-P10	---	---	E7-P13	---	---	E13	22	---	23

P1= Punto 1 ...

E= Entomobryomorpha	845
S= Symphypleona	8
P= Poduromorpha	50

Cuadro 2.- Muestra los organismos capturados en el mes de febrero y la contabilización a nivel orden (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduromorpha)

Muestra representativa para la colecta de colémbolos en el mes de febrero

Para obtener una muestra representativa del 10% de cada zona, se calculó el 10% del total de organismos capturados en cada zona, para luego distribuir esa cantidad entre las órdenes según su proporción.

Zona con perturbación (368 organismos)

- $368 \times 0.10 = 36.8 \approx 37$
- Entomobryomorpha (367): $367 \times 0.10 = 36.7 \approx 36$
- Symphypleona (1): $1 \times 0.10 = 0.1 \approx 1$

Zona con media perturbación (374 organismos)

- $374 \times 0.10 = 37.4 \approx 37$
- Entomobryomorpha (368): $368 \times 0.10 = 36.8 \approx 36$
- Symphypleona (5): $5 \times 0.10 = 0.5 \approx 1$
- Poduromorpha (1): $1 \times 0.10 = 0.1 \approx 1$

Zona sin perturbación (161 organismos)

- $161 \times 0.10 = 16.1 \approx 16$
- Entomobryomorpha (110): $110 \times 0.10 = 11$
- Symphypleona (2): $2 \times 0.10 = 0.2 \approx 1$
- Poduromorpha (49): $49 \times 0.10 = 4.9 \approx 5$.. se mantiene en 4

Nota: Aunque este proceso pudo generar una pequeña diferencia en el total original, se consideró aceptable dada la dispersión de las poblaciones originales. Este enfoque se basa en recomendaciones metodológicas establecidas en la literatura científica (Schutt, 2006; García y Tortosa, 2012; Krebs, 1999), asegurando así la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. Es importante destacar que este mismo procedimiento se aplicó en el mes de mayo, para garantizar la comparabilidad, estandarización y validez de los resultados.

Segunda colecta en el mes de marzo

Mes en el que se soltó el agua para el riego de parcelas

Mar- Con perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	---	---	---	E1	---	---	---	---	---	---	1	---	---
Trampa pitfall	---	---	---	---	---	---	---	---	---	P1	---	---	1
Mar- 1/2 perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	E3	---	---	---	---	---	E3	---	---	---	6	---	---
Trampa pitfall	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mar- Sin perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	---	---	E1	---	---	---	---	---	---	E2	3	---	---
Trampa pitfall	E1	---	---	---	P1	---	E2	E5	---	---	8	---	1
E= Entomobryomorpha											18		
S= Symphypleona											0		
P= Poduomorpha											2		

P1= Punto 1 ...

Cuadro 3.- Muestra los organismos capturados en el mes de marzo y la contabilización a nivel orden (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduomorpha)

Muestra representativa para la colecta de colémbolos en el mes de marzo

Para seleccionar una muestra representativa del 10% de la población total (20 colémbolos) del mes de marzo, debemos calcular el número de organismos que corresponden a cada orden.

En este mes se tomó un organismo de cada tipo de trampa para hacer una muestra representativa, especialmente porque la muestra es muy pequeña. Esto se conoce como "muestra mínima representativa".

Zona con perturbación (2 organismos)

- $2 \times 0.10 = 0.2 \approx 1$ (debe tomar 1 organismo, considerando ambos órdenes)

Zona con media perturbación (6 organismos)

- $6 \times 0.10 = 0.6 \approx 1$ (debe tomar 1 organismo del único orden presente)

Zona sin perturbación (12 organismos)

- $12 \times 0.10 = 1.2 \approx 1$ (se tomó 1 organismo del orden más abundante, pero también 1 del otro orden para mantener representatividad)

Se tomó una muestra representativa de cada tipo de trampa y zona, aunque en este mes (marzo) no se alcanzó el 10% del total, esta aproximación se justifica en la literatura científica, ya que estudios previos en biodiversidad y ecología han demostrado que muestras pequeñas pero representativas pueden ser efectivas para evaluar la diversidad de especies (Magurran, 2004; Gotelli y Colwell, 2010). Además, se considera que "una muestra pequeña pero representativa puede ser más valiosa que una muestra grande pero sesgada" (Brose et al., 2014), lo que permite obtener resultados comparables con estudios previos y evaluar la biodiversidad de manera efectiva, a pesar de las limitaciones en el tamaño de la muestra.

Tercera colecta en el mes de abril

Abr- Con perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	E11-S1	E6-S1	S21	E24-S1	---	1S	---	E277-S72	E9-S33	E4-S2	331	132	---
Trampa pitfall	E111	S40-E1	---	S1	---	---	E1-S2	S1	E4-S1	---	117	45	---
Abr- 1/2 perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	E8-S24	S10	E1	---	E3-S3	S2	S1	---	S7	E305	317	47	---
Trampa pitfall	S9		S5	---	---	---	---	S195	---	---	---	209	---
Abr- Sin perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	---	---	S11	S2	---	E17-S3	---	E124-S14-P13	E5	E23-S15	169	45	13
Trampa pitfall	---	E7	S4-E1	P31-E1-S4	E114-S21-P11	E4-S1	E1	----	E259-S11-P2	---	387	41	44

P1= Punto 1 ...

E= Entomobryomorpha	1321
S= Symphypleona	519
P= Poduromorpha	57

Cuadro 4.- Muestra los organismos capturados en el mes de abril y la contabilización a nivel orden (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduromorpha)

Muestra representativa para la colecta de colémbolos en el mes de abril

Para seleccionar una muestra representativa del 10% de la población total (1897 colémbolos) del mes de abril, se calculó el número de organismos que corresponden a cada orden.

Zona con perturbación (625 organismos)

- $625 \times 0.10 = 62.5 \approx 63$
- Entomobryomorpha (448): $448 \times 0.10 = 44.8 \approx 45$
- Symphypleona (177): $177 \times 0.10 = 17.7 \approx 18$

Zona con media perturbación (573 organismos)

- $573 \times 0.10 = 57.3 \approx 57$
- Entomobryomorpha (317): $317 \times 0.10 = 31.7 \approx 32$
- Symphypleona (256): $256 \times 0.10 = 25.6 \approx 26$

Zona sin perturbación (699 organismos)

- $699 \times 0.10 = 69.9 \approx 70$
- Entomobryomorpha (555): $555 \times 0.10 = 55.5 \approx 56$
- Symphypleona (86): $86 \times 0.10 = 8.6 \approx 9$
- Poduromorpha (57): $57 \times 0.10 = 5.7 \approx 6$

Cuarta colecta en el mes de Mayo

Mayo- Con perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	---	E7-1S	E3	E1	---	E1	---	P60-S11	P58	E2-S1-P14	14	13	132
Trampa pitfall	---	E1	E1	E1	E1-S1	---	E2	P23	---	---	6	1	23
Mayo- 1/2 perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	E4	E1	E5	---	---	---	E1	---	S4	---	11	4	---
Trampa pitfall	E2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2	---	---
Mayo- Sin perturbación	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	E	S	P
Plato amarillo	E1-S1	---	E3-P1	E11-S11	E7	E4-S4	E100-S1	E11-S5	E5-S13	E1	143	35	1
Trampa pitfall	E5	E1	E4	E29	E62	E65	E17	E80	E5	E30	298	---	---

P1= Punto 1 ...

E= Entomobryomorpha	474
S= Symphypleona	53
P= Poduromorpha	156

Cuadro 5.- Muestra los organismos capturados en el mes de mayo y la contabilización a nivel orden (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduromorpha)

Muestra representativa para la colecta de colémbolos en el mes de mayo

Se seleccionó una muestra representativa del 10% de la población total (683 colémbolos) del mes de mayo, el cual se calculó el número de organismos que corresponden a cada orden.

Zona con perturbación (189 organismos)

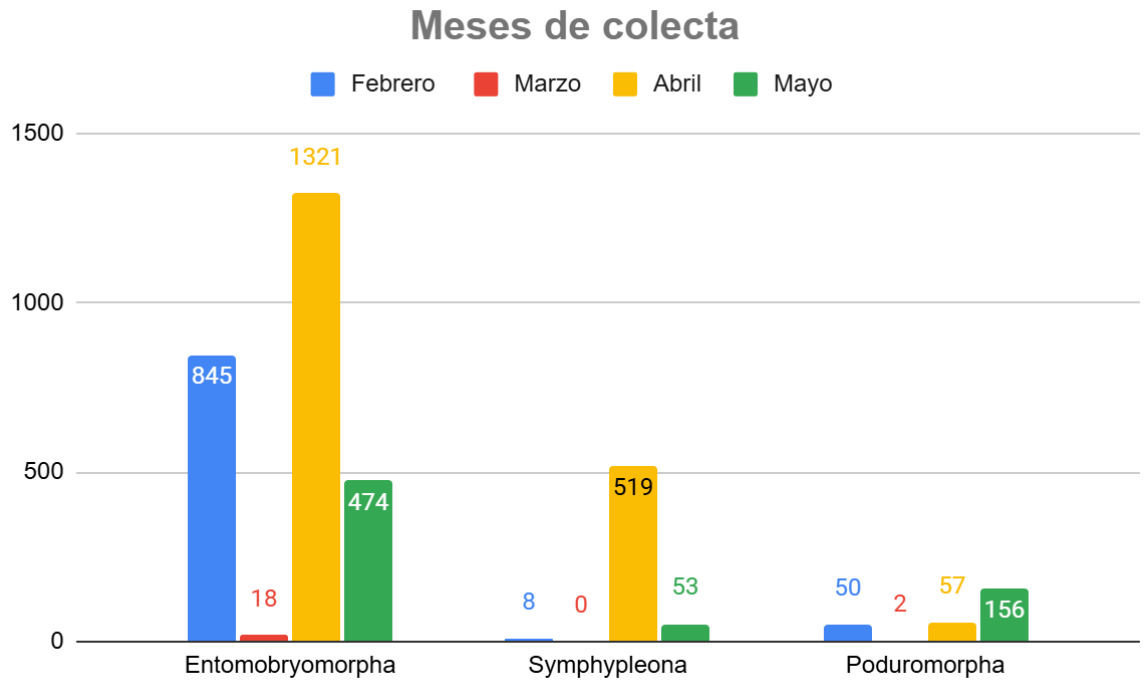
- $189 \times 0.10 = 18.9 \approx 19$
- Entomobryomorpha (20): $20 \times 0.10 = 2$
- Symphypleona (14): $14 \times 0.10 = 1.4 \approx 1$
- Poduromorpha (155): $155 \times 0.10 = 15.5 \approx 16$ (se mantiene en 15)

Zona con media perturbación (17 organismos)

- $17 \times 0.10 = 1.7 \approx 2$
- Entomobryomorpha (13): $13 \times 0.10 = 1.3 \approx 1$
- Symphypleona (4): $4 \times 0.10 = 0.4 \approx 1$

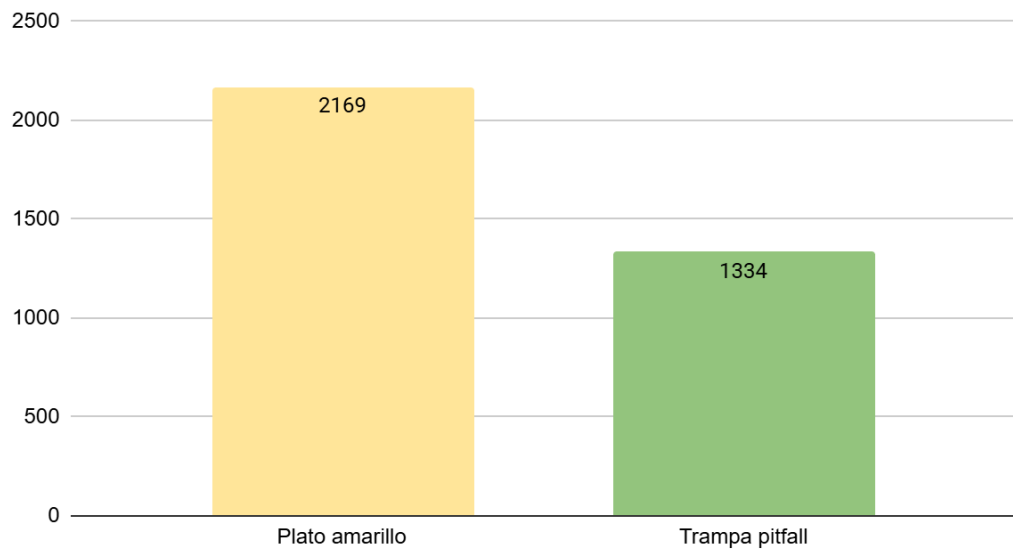
Zona sin perturbación (477 organismos)

- $477 \times 0.10 = 47.7 \approx 48$
- Entomobryomorpha (441): $441 \times 0.10 = 44.1 \approx 44$
- Symphypleona (35): $35 \times 0.10 = 3.5 \approx 4$ (se mantiene en 3)
- Poduromorpha (1): $1 \times 0.10 = 0.1 \approx 1$



Gráfica 1.- Muestra la cantidad de colémbolos a nivel orden (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduromorpha) capturados en los diferentes meses

Colémbolos capturados según el tipo de trampa



Gráfica 2.- Muestra la cantidad de organismos capturados según la trampa (Trampa pitfall o platos amarillos).

Los cálculos realizados permitieron determinar una muestra representativa de 350 colémbolos, correspondiente al 10% de la población total (3,503 individuos). Además, estos cálculos permitieron establecer la cantidad de colémbolos que se seleccionaron de cada una de las zonas de estudio (Con perturbación, Sin perturbación y Media perturbación) y la cantidad de organismos de los diferentes órdenes taxonómicos (Entomobryomorpha, Symphypleona y Poduromorpha), para dar seguimiento a los procesos de preparación, montaje e identificación de dichos organismos.

Cuadro 6.- En la siguiente tabla se muestra la composición de la muestra representativa de colémbolos a nivel orden que se identificaron y que fueron el pilar para determinar la fluctuación poblacional

	Entomobryomorpha	Symphypleona	Poduromorpha
Febrero	83	3	5
Marzo	3	0	2
Abril	132	50	5
Mayo	46	5	16
	264	58	28

Durante la identificación de los colémbolos, se determinaron tres de los órdenes de este grupo. En el orden Entomobryomorpha, se identificaron dos

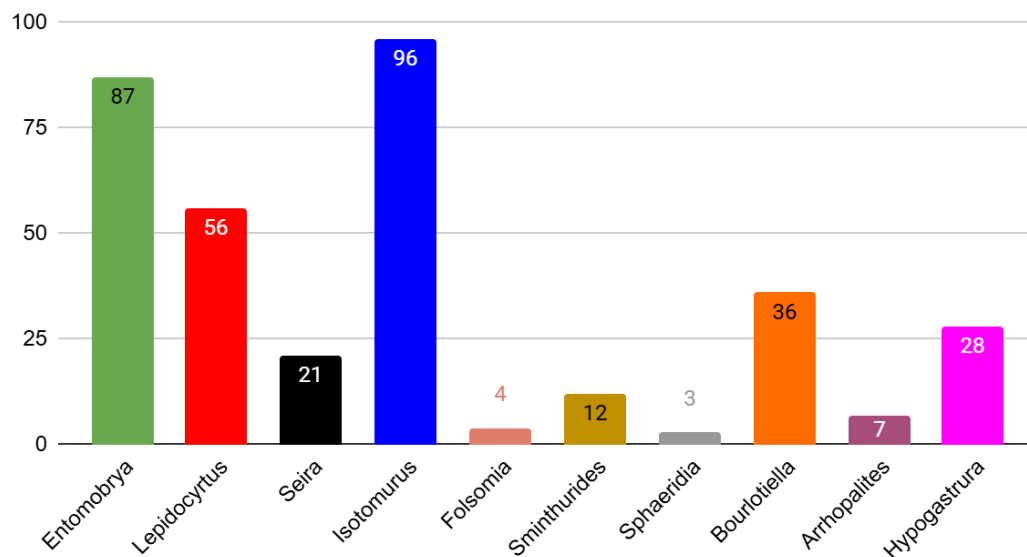
familias: Entomobryidae y Isotomidae. Dentro de la familia Entomobryidae, se reconocieron tres géneros: *Entomobrya*, *Lepidocyrtus* y *Seira*. En la familia Isotomidae, se identificaron ejemplares de los géneros *Isotomurus* y *Folsomia*. En el orden Symphyleona, se identificaron cuatro familias y cuatro géneros. La familia Sminthuridae estuvo representada por el género *Sminthurides*, mientras que la familia Sminthurididae lo estuvo por el género *Sphaeridia*. La familia Bourletiellidae se caracterizó por la presencia del género *Bourletiella*, y la familia Arrhopalitidae por el género *Arrhopalites*. Finalmente, en el orden Poduromorpha, se determinó la presencia de la familia Hypogastruridae, representada por el género *Hypogastrura* (Tabla 7).

Cuadro 7.- Muestra los ejemplares de colémbolos identificados a nivel orden, familia y género.

Orden	Familia	Género
Entomobryomorpha	Entomobryidae	<i>Entomobrya</i>
		<i>Lepidocyrtus</i>
		<i>Seira</i>
	Isotomidae	<i>Isotomurus</i>
		<i>Folsomia</i>
Symphyleona	Sminthuridae	<i>Sminthurides</i>
	Sminthurididae	<i>Sphaeridia</i>
	Bourletiellidae	<i>Bourletiella</i>
	Arrhopalitidae	<i>Arrhopalites</i>
Poduromorpha	Hypogastruridae	<i>Hypogastrura</i>

Se presentan a continuación los resultados de la identificación de las especies de colémbolos encontradas (nivel género) (Gráfica 3) en la muestra representativa recolectada y contabilizada mensualmente en las zonas de estudio durante el período febrero-mayo.

Abundancia de colémbolos identificados a nivel genero



Gráfica 3.- Ejemplares identificados a nivel género

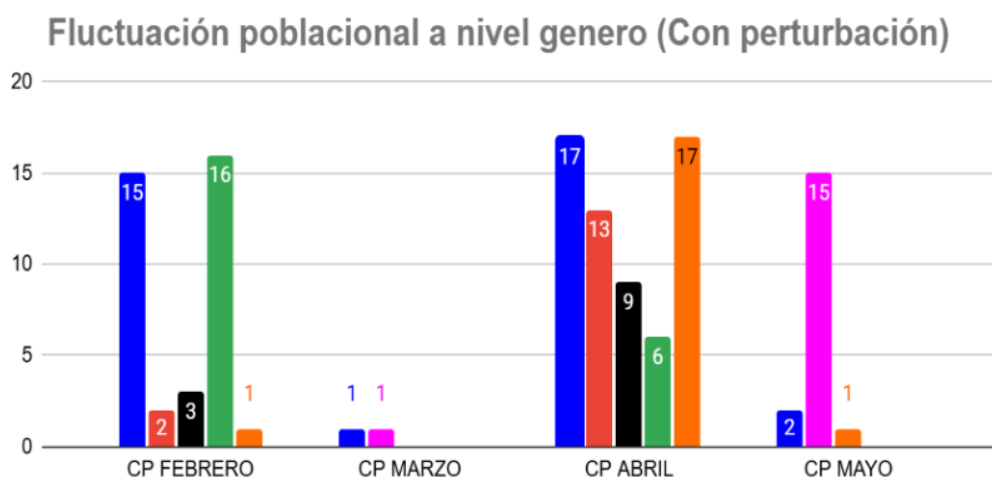
Con el fin de sistematizar y analizar los resultados de manera eficiente, se llevó a cabo una contabilización exhaustiva de los ejemplares de colémbolos encontrados en las distintas zonas de estudio. Para facilitar el manejo y análisis de los datos, se creó una matriz de datos que permitió separar y organizar la información por zona de perturbación y mes de colecta. Esta herramienta resultó fundamental para observar y analizar los patrones de incremento o decremento de la población de colémbolos presentes en cada una de las zonas de estudio (Tabla 8, 9 y 10).

Esto ayudó a visualizar de manera más clara y generalizada las tendencias y patrones de fluctuación en la población de colémbolos a lo largo de los meses de estudio, se elaboraron gráficas de barras. Estas representaciones gráficas permitieron una mejor comprensión y análisis de los datos, facilitando la identificación de incrementos o declives significativos en la población de colémbolos durante el período de estudio (Gráfica 4, 5 y 6)

Con el fin de facilitar la identificación y comparación de los diferentes géneros de colémbolos, se asignó un color específico a cada género en la tabla de datos (Tablas 8. 9 y 10). Este mismo código de colores se aplicó a las barras correspondientes en la gráfica (Gráficas 4,5 y 6), permitiendo una visualización clara y consistente de la información.

Cuadro 8.- Se presenta la proporción de la muestra representativa de colémbolos capturados en la zona con perturbación durante el período de febrero a mayo.

CP FEBRERO		CP MARZO		CP ABRIL		CP MAYO	
15	<i>Isotomurus</i>	1	<i>Isotomurus</i>	17	<i>Isotomurus</i>	2	<i>Isotomurus</i>
2	<i>Lepidocyrtus</i>	1	<i>Hypogastrura</i>	13	<i>Lepidocyrtus</i>	15	<i>Hypogastrura</i>
3	<i>Seira</i>			9	<i>Seira</i>	1	<i>Bourlettiella</i>
16	<i>Entomobrya</i>			6	<i>Entomobrya</i>		
1	<i>Bourlettiella</i>			17	<i>Bourlettiella</i>		

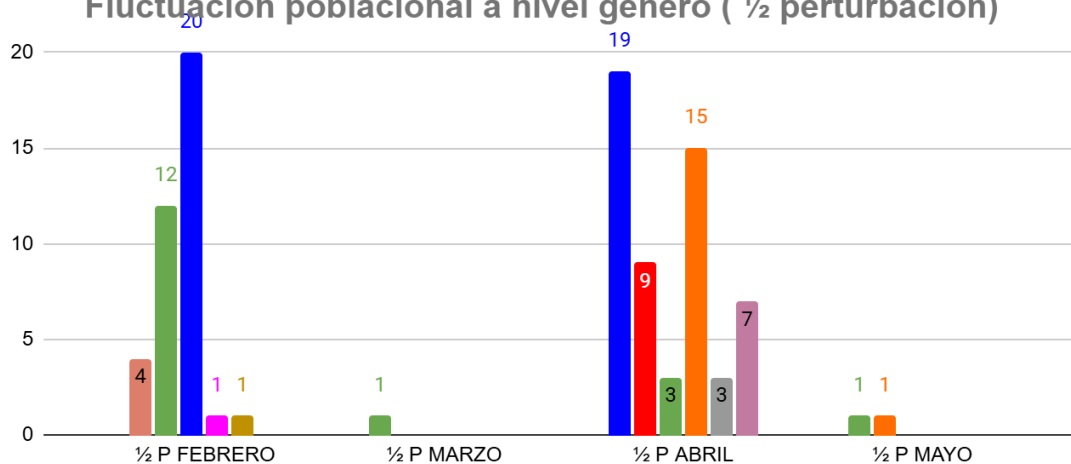


Gráfica 4.- Muestra la cantidad de organismos de los diferentes géneros contabilizados en el periodo de estudio en la zona con perturbación.

Cuadro 9.- Se presenta la proporción de la muestra representativa de colémbolos capturados

½ P FEBRERO		½ P MARZO		½ P ABRIL		½ P MAYO	
4	<i>Folsomia</i>	1	<i>Entomobrya</i>	19	<i>Isotomurus</i>	1	<i>Entomobrya</i>
12	<i>Entomobrya</i>			9	<i>Lepidocyrtus</i>	1	<i>Bourlettiella</i>
20	<i>Isotomurus</i>			3	<i>Entomobrya</i>		
1	<i>Hypogastrura</i>			15	<i>Bourlettiella</i>		
1	<i>Sminthurides</i>			3	<i>Sphaeridia</i>		
				7	<i>Arrhopalites</i>		

Fluctuación poblacional a nivel genero (½ perturbación)

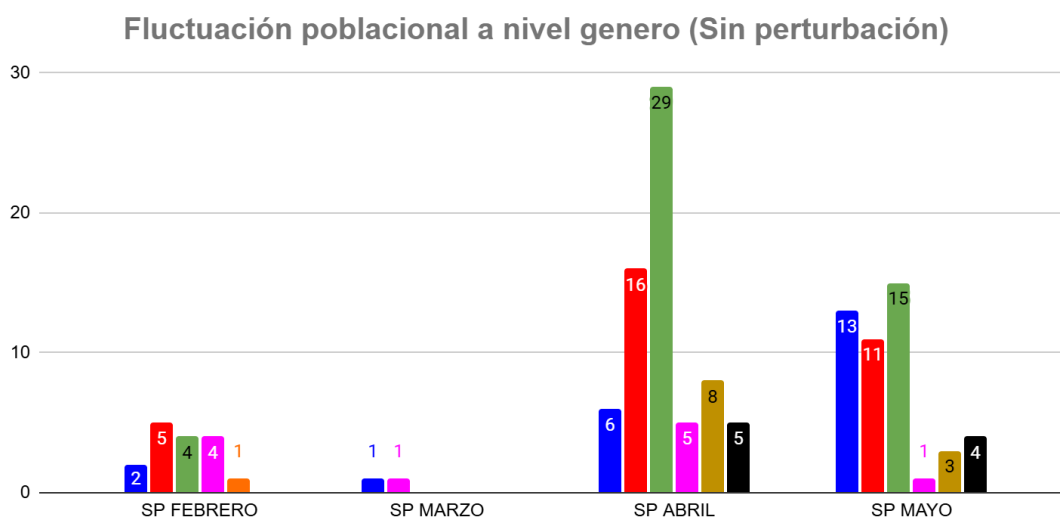


en la zona con ½ perturbación durante el período de febrero a mayo.

Gráfica 5.- Muestra la cantidad de organismos de los diferentes géneros contabilizados en el periodo de estudio en la zona con ½ perturbación.

Cuadro 10.- Se presenta la proporción de la muestra representativa de colémbolos capturados en la zona sin perturbación durante el período de febrero a mayo.

SP FEBRERO		SP MARZO		SP ABRIL		SP MAYO	
2	<i>Isotomurus</i>	1	<i>Isotomurus</i>	6	<i>Isotomurus</i>	13	<i>Isotomurus</i>
5	<i>Lepidocyrtus</i>	1	<i>Hypogastrura</i>	16	<i>Lepidocyrtus</i>	11	<i>Lepidocyrtus</i>
4	<i>Entomobrya</i>			29	<i>Entomobrya</i>	15	<i>Entomobrya</i>
4	<i>Hypogastrura</i>			5	<i>Hypogastrura</i>	1	<i>Hypogastrura</i>
1	<i>Bourlettiella</i>			8	<i>Sminthurides</i>	3	<i>Sminthurides</i>
				5	<i>Seira</i>	4	<i>Seira</i>



Gráfica 6.- Muestra la cantidad de organismos de los diferentes géneros contabilizados en el periodo de estudio en la zona sin perturbación.

Índices de diversidad, abundancia y equidad

En el presente estudio, se realizaron análisis de diversidad (Índice de Shannon, H'), abundancia y equidad (Índice de Pielou, J'), con el fin de determinar la fluctuación poblacional en cada una de las zonas con diferentes niveles de perturbación. Estos análisis se llevaron a cabo para cada mes de colecta, lo que permitió evaluar los patrones de variación en la diversidad y abundancia de las especies estudiadas. Dichos índices se determinaron con el apoyo del paquete estadístico PAST.

Índices para el mes de Febrero

- Zona con perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 1,43
- Índice de abundancia (N): 37 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,63
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,85

- Zona con media perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 1,83
- Índice de abundancia (N): 38 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,73
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,69

- Zona sin perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 2,05
- Índice de abundancia (N): 16 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,79
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,63

Índices para el mes de Marzo

- Zona con perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 1,21
- Índice de abundancia (N): 2 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,53
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,93

- Zona con media perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 1,02
- Índice de abundancia (N): 1 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,45
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 1,04

- Zona sin perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 1,32
- Índice de abundancia (N): 2 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,58
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,83

Índices para el mes de Abril

- Zona con perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 1,51
- Índice de abundancia (N): 62 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,64
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,73

- Zona con media perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 1,83
- Índice de abundancia (N): 56 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,73
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,63

- Zona sin perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 2,11
- Índice de abundancia (N): 69 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,81
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,56

Índices para el mes de Mayo

- Zona con perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 1,21
- Índice de abundancia (N): 18 individuos

- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,53
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,93
- Zona con media perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 1,21
- Índice de abundancia (N): 2 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,53
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,93

- Zona sin perturbación:

- Índice de diversidad de Shannon (H'): 2,05
- Índice de abundancia (N): 47 individuos
- Índice de equidad de Pielou (J'): 0,79
- Índice de fluctuación poblacional (CV): 0,59

IX. DISCUSIÓN

La fluctuación poblacional ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones, las cuales han evaluado su relación con variables ambientales como la precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa y disponibilidad de alimento, como los trabajos de (Klein et al. 2005, García Garduza et al. 2013, Fraile y Serafino, 1978, Brasil de Morales et al. 2000 y Jarandilla Rodríguez, C. 2010). Estos estudios brindan resultados fundamentales que son conocimiento básico sobre los patrones que determinan la fluctuación poblacional en diferentes ecosistemas junto con sus variables, lo que a su vez contribuye a la comprensión de los mecanismos subyacentes que regulan las poblaciones de organismos en diferentes entornos.

La fluctuación poblacional es un tema amplio y complejo, que ha sido abordado por investigadores mediante la aplicación de diversas variables ambientales. Estas variables, seleccionadas en función de la perspectiva y observación de los investigadores, que por ende, son clave para determinar los objetivos y alcances de los estudios sobre fluctuación poblacional.

Los resultados obtenidos en este estudio pueden presentar diferencias en cuanto a las variables estudiadas, sin embargo, lo que se busca destacar es la necesidad de explorar nuevas variables que enriquezcan el conocimiento previo sobre la dinámica poblacional. En este sentido, se consideró la perturbación antropogénica y las actividades realizadas en las tres zonas de estudio, lo que proporciona un enfoque integral y conservacionista. Es importante destacar que la investigación sobre los colémbolos es limitada, por lo que este estudio busca llenar este vacío y resaltar la importancia ecológica y social de estos organismos.

Por lo tanto, los parámetros que pueden ser utilizados para la discusión y comparación de resultados son la diversidad, abundancia y equidad, los

cuales son índices que proporcionan datos relevantes sobre la dinámica poblacional.

De manera interesante, nuestros resultados se alinean con los hallazgos de Klein et al. (2005), quienes encontraron que la densidad poblacional de un solo organismo puede variar significativamente en periodos cortos, como septiembre y noviembre. Nuestros resultados indican que la fluctuación poblacional de colémbolos en diferentes áreas con niveles de perturbación variados también puede variar significativamente en periodos cortos. Esto sugiere que la fluctuación poblacional de colémbolos puede ser influenciada por factores ambientales y de perturbación en periodos cortos.

Aunque mi estudio se enfoca en la fluctuación poblacional de colémbolos en diferentes áreas con niveles de perturbación variados, y no en la densidad poblacional de un solo organismo, los resultados obtenidos son relevantes y contribuyen significativamente a la comprensión de la dinámica poblacional de estos organismos.

En este sentido, creo que mis resultados son válidos y relevantes, y que contribuyen significativamente a la comprensión de la dinámica poblacional de colémbolos en ecosistemas perturbados. Además, los resultados obtenidos pueden ser útiles para la gestión y conservación de ecosistemas perturbados.

Por otro lado Luciañez, M.J. y Simón, J.C. (1991) realizaron un estudio sobre la variación estacional de los colémbolos, el cual presenta similitudes con nuestro trabajo en cuanto al uso de índices de diversidad como lo son: índice de Shannon (H'), el Índice de Simpson (D) y el Índice de Riqueza de Margalef (R) para determinar la diversidad de especies, y así poder evaluar la fluctuación poblacional. Los resultados obtenidos por Luciañez y Simón (1991) mostraron que los valores máximos de diversidad se registraron en primavera, con un Índice de Shannon (H') de 2,43 y un Índice de Simpson (D) de 0,85.

En el estudio "Patrones ecológicos de los colémbolos en el cultivo de maíz en Balún Canal, Chiapas, México" de Arviso et al. (1999), se investigaron los patrones ecológicos de los colémbolos en un sembradío de maíz. Este estudio es particularmente relevante para nuestra investigación, ya que se realizó en una zona con alta perturbación antropogénica, caracterizada por la presencia de maquinaria que modifica la estructura del terreno y el cambio de uso de suelo.

Los resultados obtenidos por Arviso et al. (1999) muestran que a medida que aumenta el tiempo de uso de suelo, disminuye la materia orgánica del suelo, lo que afecta negativamente la diversidad y equidad de los colémbolos. Esto sugiere que la perturbación antropogénica puede tener un impacto significativo en la estructura y función de los ecosistemas, y que la conservación de la biodiversidad en estas áreas puede ser un desafío importante. En este sentido, nuestros resultados se alinean con los hallazgos de Arviso et al. (1999), y sugieren que la perturbación antropogénica puede ser un factor importante que influye en la dinámica poblacional de los colémbolos.

El estudio de Brown y Freitas (2002) investigó el impacto de la deforestación en la diversidad de mariposas en la selva amazónica. Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con nuestra investigación en cuanto a la influencia de los procesos antropogénicos en la pérdida y riqueza de organismos. En concreto, Brown y Freitas (2002) encontraron que en áreas de selva intacta, la abundancia de mariposas era significativamente mayor (59 individuos/ 100 m²) en comparación con áreas deforestadas (23 individuos/ 100 m²). De manera similar, nuestros resultados muestran que la zona sin perturbación presentó una mayor diversidad de especies ($H' = 1,83-2,11$) y una mayor abundancia de individuos ($N = 40-63$) en comparación con las zonas con media y alta perturbación ($H' = 1,41-1,83$, $N = 20-53$).

Estos resultados sugieren que la perturbación antropogénica puede tener un impacto negativo significativo en la diversidad y abundancia de organismos, y

que la conservación de la biodiversidad en áreas con alta perturbación antropogénica puede ser un desafío importante.

X. CONCLUSIÓN

La proyección de la muestra representativa a la muestra total revela una distribución interesante de los géneros de colémbolos presentes en las áreas de estudio. Según la proyección, los géneros más abundantes serían *Isotomurus* (962 individuos), *Entomobrya* (871 individuos) y *Lepidocyrtus* (560 individuos), lo que sugiere una dominancia de estos géneros en la comunidad. Por otro lado, los géneros menos abundantes serían *Sphaeridia* (30 individuos), *Folsomia* (40 individuos) y *Arrhopalites* (70 individuos), lo que podría indicar una menor adaptabilidad o competitividad de estos géneros en el área de estudio. Estos resultados pueden ser útiles para futuras investigaciones sobre la ecología y la biodiversidad de los colémbolos en la región.

De igual manera la presente investigación evaluó la fluctuación poblacional de colémbolos en tres zonas con diferentes niveles de perturbación antropogénica. Los resultados muestran que la zona sin perturbación presentó una mayor diversidad de especies ($H' = 1,83-2,11$) y una mayor abundancia de individuos ($N = 40-63$) en comparación con las zonas con media y alta perturbación. Además, se encontró que la zona con alta perturbación presentó una mayor fluctuación poblacional ($CV = 0,73-0,93$) y una menor diversidad de especies ($H' = 1,21-1,51$) en comparación con las otras dos zonas. La zona con media perturbación presentó valores intermedios en cuanto a diversidad de especies ($H' = 1,41-1,83$), abundancia de individuos ($N = 20-53$) y fluctuación poblacional ($CV = 0,63-0,93$).

Por lo tanto, los resultados obtenidos muestran que la perturbación antropogénica tiene un impacto significativo en la estructura y la dinámica de las poblaciones de colémbolos. La zona con alta perturbación presentó una mayor fluctuación poblacional y una menor diversidad de especies en comparación con las zonas con media y baja perturbación.

Estos resultados tienen implicaciones importantes para la conservación y el manejo de ecosistemas, ya que sugieren que la reducción de la perturbación antropogénica puede contribuir a la conservación de la biodiversidad y la estabilidad de las poblaciones de colémbolos.

La hipótesis alternativa planteada fue que la perturbación antropogénica en el Parque Estatal "Cañón de Fernández" afecta negativamente la fluctuación poblacional de colémbolos, reduciendo su abundancia y diversidad. Esta hipótesis se basó en la idea de que la perturbación antropogénica puede alterar los ecosistemas y afectar la supervivencia y el éxito reproductivo de las especies de colémbolos.

Los resultados obtenidos pueden sustentar y apoyan la hipótesis alternativa, ya que se encontró que la perturbación antropogénica tiene un impacto significativo en la fluctuación poblacional de los colémbolos. La zona con alta perturbación presentó una mayor fluctuación poblacional y una menor diversidad de especies en comparación con las zonas con media y baja perturbación.

Además, se encontró que la intensidad de la perturbación antropogénica se relaciona inversamente con la abundancia y diversidad de colémbolos, lo que apoya la hipótesis específica 2.2.1. También se encontró que las áreas con mayor perturbación antropogénica presentaron una mayor disminución en la fluctuación poblacional de colémbolos, lo que apoya la hipótesis específica 2.2.2.

En cuanto a la hipótesis específica 2.2.3, se encontró que las especies de colémbolos resistentes a la perturbación antropogénica fueron más comunes en áreas con niveles moderados de perturbación. Finalmente, se encontró que la fluctuación poblacional de colémbolos varió significativamente entre las tres áreas de estudio con diferentes niveles de perturbación antropogénica, lo que apoya la hipótesis específica 2.2.4.

En conclusión, la presente investigación proporciona evidencia de que la perturbación antropogénica tiene un impacto significativo en la fluctuación poblacional de colémbolos en el Parque Estatal "Cañón de Fernández". Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis alternativa y las hipótesis específicas, y sugieren que la reducción de la perturbación antropogénica puede contribuir a la conservación de la biodiversidad y la estabilidad de las poblaciones de colémbolos en ecosistemas terrestres.

Es importante destacar que la resistencia a la perturbación antropogénica no es una característica exclusiva de estas especies, y que otras especies de colémbolos también pueden ser resistentes a la perturbación antropogénica. Sin embargo, según los resultados obtenidos en la presente investigación, estas especies parecen ser más resistentes a la perturbación antropogénica.

Por último pero no menos importante se debe destacar que la gestión y el manejo de los ecosistemas deben considerar para la minimización de la perturbación antropogénica para conservar la biodiversidad y la estabilidad de las poblaciones de colémbolos y otras especies.

XI. LITERATURA CONSULTADA

Arbea, J. I., & Blasco-Zumeta, J. (2001). Ecología de los colémbolos (hexápoda, Collembola) en los Monegros (Zaragoza, España). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 28(2001), 35-48.

Baquero, E., & Jordana, R. (2015). Clase Collembola: Órdenes Poduromorpha, Neelipleona y Symphypleona. *Revista Ide@-SEA*, 36(2015), 1-11.

Begon, M., J.L. Harper & C.R. Townsend. 1996. *Ecology*. Blackwel Science, Oxford. 1068p.

Bellinger, P.F.; Christiansen, K.A. & Janssens, F. 2003. Checklist of the Collembola: Families. Department of Biology. University of Antwerp (RUCA). Antwerp, Belgium. [Disponible en:] <http://www.collembola.org/taxa/collembo.htm>. [13/01/2011]

Brose, U., et al. (2014). "Ecosystem services and biodiversity in dynamic landscapes." *Nature Communications*, 5, 1-8.

Cobo, F., & Couto-Mendoza, M. (2010). Macroinvertebrados. Biodiversidade e adaptaci3n. En Bases Te3ricas para un curso de vixilancia ambiental en materia de pesca fluvial (pp. 41-60). ISBN 978-84-692-9507-6

Chocobar, Eneyda A. 2010. Edafofauna como indicador de la calidad en un suelo Cumulic Phaozem sometido a diferentes sistemas de manejos en un experimento de larga duraci3n.

Cutz-Pool, L. Q., G. A. Villegas-Guzm3n y J. G. Palacios-Vargas. 2007. Colémbolos (Hexapoda: Collembola) asociados a nidos de *Neotoma palatina* (Rodentia: Muridae) en Zacatecas, México. *Brenesia* 67:83-86.

Christiansen, K. 1992. Springtails. *Kansas School Natur.* 39: 1-16.

Droege, S. 2009. *The Very Handy Manual: How to Catch and Identify Bees and Manage a Collection*. USA. Disponible en :<http://bees.tennessee.edu/publications/HandyBeeManual.pdf> (acceso Marzo de 2007).

Droege, S., Tepedino, V. J., Lebuhn, G., Link, W., Minckley, R. L., Chen, Q. & Conrad, C. 2009. Spatial patterns of bee captures in North American bowl trapping surveys. *Insect Conservation and Diversity*, 3: 15-23.

Fraile, J., & Serafino, A. (1978). Variaciones mensuales en la densidad de microartrópodos edáficos en un cafetal de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 26(2), 291-301.

Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2010). Estimating species richness. *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment*, 39-54.

García-Gómez, A., G. Castaño-Meneses & J.G. PalaciosVargas. 2009. Diversity of springtails (Hexapoda) in an altitudinal gradient in Iztaccíhuatl Volcano, Mexico. *Pesq. Agrop. Bras.* 44: 911-916.

Garcelon, P. (2018, 16 de julio). Descripción morfológica de las diferentes familias de colémbolos. Recuperado del enlace: <https://passion-entomologie.fr/collembola/>

García-Álvarez, A. & Bello, A. 2004. Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica. *Memorias. I Conferencia Internacional Eco-Biología del Suelo y el Compost*. León, España. p. 211.

González, V.; Díaz, M. & Prieto, D. 2003. Influencia de la cobertura vegetal sobre las comunidades de la mesofauna edáfica en parcelas experimentales de caña de azúcar. *Rev. Biología*. 17 (1):18.

Hopkin, S. P. 1997. *Biology of the springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford University Press, Oxford. 330 p.

Hopkin, S. P. 2002. Collembola. In *Encyclopaedia of Soil Science*, M. R. Lal (ed.). Dekker, New York. p. 207-210.

Hopkin, S. P. 1998. Collembola: The most abundant insects on earth. *Antennae* 22:117-121.

Jarandilla Rodríguez, C. Estudio de la dinámica poblacional de especímenes del gorgojo de los Andes (*Premnotrypes* sp y *Rhigopsidius piercei*) en el altiplano central-provincia Aroma (Doctoral dissertation).

JORDANA, R. & E. BAQUERO 2005. A proposal of characters for taxonomic identification of Entomobrya species (Collembola, Entomobryomorpha), with description of a new species. *Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz*, 76(2): 117-134. Schowalter, T.D. 2006. *Insect ecology, an ecosystem approach*. Academic, London, Reino Unido

Klein, C., Rebolledo, R., Cerda, C., & Aguilera, A. (2005). Variación de la densidad poblacional de *Sminthurus viridis* (L.) (Collembola: Sminthuridae) en la IX Región de La Araucanía, Chile. *Gayana (Concepción)*, 69(2), 260-265.

Krebs, C. J. (1999). *Ecological methodology* (pp. 123-125). Addison Wesley Longman.

Ladle, R. J., & Jepson, P. (2015). Biodiversity and ecosystem function. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 657-665.

Leong, J.M & R.W. Thorp.1999. Colour-coded sampling: the pan colour preferences of oligolectic and nonoligolectic bees associated with a vernal pool plant. *Ecological Entomology*, (24): 329-335.

LAWRENCE, P.N. 1999. From Whence and Whither the Collembola? *Evolution versus Taxonomy, Part 1. Crustaceana*, 72: 1110-1122.

Luciáñez, M.J., & Simón, J.C. (1991). Estudio de la variación estacional de la colembiofauna en suelos de alta montaña en la Sierra de Guadarrama (Madrid).

Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.

Magle, S. B., Warfield, P. S., & Rodewald, A. D. (2012). Urbanization alters the ecology of the ground cricket (*Allonemobius allardi*). *Urban Ecology*, 15(2), 151-163.

McArdle, B. H. (1990). When are rare species not rare? *Trends in Ecology & Evolution*, 5(10), 311-314.

Mateos, E. (2016). Soil fauna and soil food webs. *Latzavara*, 26. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/309385969_Soil_fauna_and_soil_food_webs

Morales, N. E., Cola Zanuncio, J., Pratisoli, D., & Fabres, A. S. (2000). Fluctuación poblacional de Scolytidae (Coleoptera) en zonas reforestadas con *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae) en Minas Gerais, Brasil. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 101-107.

Pielou, E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13(1), 131-144.

Palacios-Vargas, J. G. 2000. Los colémbolos en los ecosistemas mexicanos. *Biodiversitas* 5:12-15.

Palacios-Vargas, José G.. (2014). Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(Supl. ene), S220-S231.

Palacios-Vargas, J.G. 2000. Protura y Diplura. En: Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. (Eds. J. Llorente, E. González y N. Papayero). Vol. II, UNAM, México. p. 275.

Palacios-Vargas, J. G. y B. E. Mejía-Recamier. 2008. Diversidad, abundancia y variación estacional de los colémbolos de necrotampas. In *Fauna de suelo I. Micro, meso y macrofauna*, E. G. Estrada-Vanegas (ed.). Colegio de Postgraduados, Texcoco. p. 94-106.

Palacios-Vargas, José G.. (2014). Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(Supl. ene), S220-S231.

PAULUS, H.F. 1972. Zum Feinbau der Komplexaugen einiger Collembolen Eine vergleichend-anatomische Untersuchung (Insecta, Apterygota). *Zoologische Jahrbücher Anat.*, 89: 1-116.

Socarrás, Ana. (2013). Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes*, 36(1), 5-13.

Zeppelini, D. y B. C. Bellini. 2006. Two *Seira* Lubbock, 1869 (Collembola, Arthropleona, Entomobryidae) new to science, with remarkable secondary sexual characters. *Zootaxa* 1185:21-35.