



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Licenciatura en Biología

**“ACAROFAUNA ASOCIADA A SITIOS DE DEPOSICIÓN DE
CADÁVERES DE CERDO *Sus scrofa domestica* EN ARROYO SECO,
QUERÉTARO”**

Tesis Individual
Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciado en Biología

Presenta:
LAURA DANIELA BONILLA HERNÁNDEZ

Dirigido por:
SANTIAGO VERGARA PINEDA

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
2023
México



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Acarofauna asociada a sitios de deposición de
cadáveres de cerdo Sus scrofa domestica en Arroyo
Seco, Querétaro

por

Laura Daniela Bonilla Hernández

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](#).

Clave RI: CNLIN-219950



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Licenciatura en Biología

**“ACAROFUNA ASOCIADA A SITIOS DE DEPOSICIÓN DE CADÁVERES DE
CERDO *Sus scrofa domestica* EN ARROYO SECO, QUERÉTARO”**

Tesis Individual
Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciado en Biología

Presenta:
LAURA DANIELA BONILLA HERNÁNDEZ

Dirigido por:
SANTIAGO VERGARA PINEDA

Dr. Santiago Vergara Pineda
Presidente

Firma

Dra. Margarita Ojeda Carrasco
Secretario

Firma

Dra. Martha Patricia Chaires Grijalva
Vocal

Firma

Dr. Robert Wallace Jones
Vocal

Firma

M en C. Javier Alejandro Zúñiga Obregón
Vocal

Firma

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
2023
México

RESUMEN

Debido a su diversa morfología y hábitos, los ácaros poseen características muy específicas que aportan valiosa información a los casos de investigación forense, como lo es la estimación del intervalo *post-mortem*. Asimismo, resultan importantes indicios ante la ausencia de otros artrópodos indicadores. Sin embargo, en México son pocos los estudios enfocados en la identificación de la acarofauna asociada a la descomposición de cadáveres. Este estudio se realizó dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Conca, entre los meses de julio de 2018 y mayo de 2019. El periodo experimental abarcó un año de muestreo dividido en cuatro periodos, representando cada una de las estaciones. Para la colocación de los cadáveres se delimitaron tres sitios con distintas condiciones de exposición al ambiente. Se emplearon doce ejemplares de cerdo doméstico (*Sus scrofa domestica* L.) por sus ventajas conocidas como modelo y por sus características biológicas extrapolables a lo observado en el patrón de descomposición de los cadáveres humanos. Se colectaron 60 muestras de suelo y para la extracción de los ácaros fueron empleados embudos tipo Berlese-Tullgren y se prepararon en laminillas usando el medio semipermanente CMCP9. Se obtuvo un total de 4404 ácaros pertenecientes a 16 familias y 12 géneros. El género con mayor abundancia fue *Caloglyphus*, sp. Sin embargo, esto sólo fue observado durante las estaciones de verano y otoño, mientras que *Tyrophagus* sp. fue el único género encontrado a lo largo de todo el muestreo, incrementando sus abundancias exponencialmente. Este trabajo representa una base para estudios que sean realizados en condiciones geográficas similares y proporciona datos de la diversidad de ácaros asociados a la descomposición cadavérica en zonas tropicales de México, esto con el objetivo de enriquecer las investigaciones forenses y los servicios periciales en el estado de Querétaro.

ABSTRACT

Due to their diverse morphology and habits, mites have very specific characteristics that provide valuable information to forensic investigation cases, such as the estimation of the *post-mortem* interval. Likewise, they are important evidence in the absence of other indicator arthropods. However, in Mexico there are just a few studies focused on the identification of the mite faunae associated with the decomposition of corpses. This study was performed at the Natural Sciences Faculty from the Autonomous University of Queretaro Campus Conca, during the months of July 2018 and May 2019. The experimental period covered a year round sampling divided into four times, representing all seasons. For the placement of the corpses were delimited three sites with different exposure conditions to environment. Twelve specimens of domestic pig (*Sus scrofa domestica* L.) were used due to its known advantages as a model and for its biological characteristics that can be extrapolated to what was observed in the decomposition pattern of human corpses. 60 soil samples taken and processed in Berlese-Tullgren type funnels were used for mites extraction and fixed in slides for their identification using the semi-permanent medium CMCP9. A total of 4404 mites belonging to 16 families and 12 genera were identified. The genus with the highest abundance was *Caloglyphus* sp. However, this was only observed during the summer and autumn seasons, while *Tyrophagus* sp. was the only genus found throughout the entire sampling, increasing its abundances exponentially. This research represents a basis for studies carried out in similar geographic conditions and provides data on the diversity of mites associated with cadaveric decomposition in tropical areas of Mexico, with the aim to improve forensic investigations and expert services in the state of Queretaro.

DEDICATORIA

A **Rufo**, por ser la compañía más bonita y efímera que me ha tocado abrazar
“una metáfora de la aventura, que en el diccionario no se puede hallar”

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Querétaro por mi formación académica. A mis profesores por todas las enseñanzas recibidas, dentro y fuera de las aulas. A las increíbles salidas de campo que me marcaron académicamente pero también personalmente.

Al Dr. Santiago Vergara Pineda por abrirme las puertas al mundo de los ácaros, por recibirme en el laboratorio y poner a mi alcance todas las herramientas necesarias para realizar mi trabajo, por alentar continuamente mi curiosidad y aprendizaje, por resolver mis dudas, por incentivar mi formación académica, laboral y personal; por el apoyo, consejos y paciencia.

Al Dr. Juan B. Morales Malacara por recibirme en sus clases que fueron esenciales en mi formación dentro de la Acarología, por siempre hacerme sentir parte del laboratorio y considerarme de las actividades, por su apoyo, hospitalidad y amabilidad.

A mis sinodales, la Dra. Margarita Ojeda Carrasco, la Dra. Martha Patricia Chaires Grijalva, el Dr. Robert Wallace Jones y el M en C. Javier Alejandro Zúñiga Obregón, por aceptar participar a enriquecer mi trabajo, por todos sus aportes, consejos, sugerencias y comentarios, así como por el tiempo dedicado a su revisión.

Al Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval por el cariño y apoyo brindado a lo largo de la licenciatura. Al Dr. Fausto Arellano Carbajal y a la Dra. Karina Acevedo Whitehouse por acercarme a través de sus hermosas clases a áreas de la Biología que me resultaban completamente desconocidas.

A mis amigos por tanto apoyo, amor y confianza recibida durante todo este proceso. A Mónica Torres y Alejandro Ruiz por brindarme un espacio tan bonito donde escribir mi tesis. A Martín Porras, Tania Guillén, André De Luna, Nayeli Pérez y Salvador Landín.

A mis padres, por su incondicional apoyo en mi formación académica, por inspirarme a siempre seguir creciendo, por su amor y esfuerzo, gracias a ellos estoy donde ahora me encuentro, este logro también es de ellos.

A mis hermanas, por ser mis confidentes y mejores amigas, por siempre estar abiertas a escucharme hablar de Biología pero también a acercarme a otras ciencias y a un mundo lleno de experiencias y vida, por la libertad, seguridad y amor incondicional que me regalan.

ÍNDICE

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE CUADROS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1 Generalidades de Acari.....	2
2.1.1 Principales caracteres diagnósticos y clasificación	2
2.1.2 Hábitos alimentarios y hábitats	4
2.1.3 Foresis.....	7
2.2 Acarología forense.....	9
2.2.1 Historia de la acarología forense	9
2.2.2 Modelo biológico.....	13
2.2.3 Descomposición cadavérica y sucesión de artrópodos.....	13
2.2.4 Los ácaros como indicadores forenses	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1 Objetivo general	18
3.2 Objetivos particulares.....	18
4. METODOLOGÍA	19
4.1 Descripción del área de estudio.....	19
4.2 Periodo experimental	20
4.3 Montaje del experimento	22
4.4 Toma de muestras y obtención de la acarofauna	23
5. RESULTADOS.....	25
5.1 Generales.....	25
5.2 Taxonomía de los ácaros identificados.....	27
6. DISCUSIÓN.....	43
7. CONCLUSIONES.....	47

8. REFERENCIAS	48
-----------------------------	-----------

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Registro del progreso de la descomposición por día entre sitios y estación.....	21
Cuadro 2. Abundancias de ácaros identificados en los diferentes sitios de estudio y estaciones.....	25
Cuadro 3. Presencia de ácaros identificados en cada etapa de descomposición.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales divisiones del cuerpo.....	3
Figura 2. Región esternal del podosoma en Acariformes y Parasitiformes.	4
Figura 3. Ortóptero infestado de ácaros mesostigmados.....	6
Figura 4. Periodos de descomposición.....	17
Figura 5. Área de estudio.	20
Figura 6. Jaula de metal para protección de los cadáveres.....	23
Figura 7. Embudos tipo Berlese-Tullgren.....	24
Figura 8. Trematuridae.....	29
Figura 9. <i>Macrocheles</i> sp.	30
Figura 10. <i>Laelaps</i> sp.	32
Figura 11. <i>Acaropsella</i> sp.....	34
Figura 12. <i>Hemicheyletia</i> sp.....	35
Figura 13. <i>Pediculaster</i> sp.....	36
Figura 14. <i>Scutacarus</i> sp.....	37
Figura 15. <i>Torpacarus</i> sp.	38
Figura 16. <i>Nothrus</i> sp.....	39
Figura 17. <i>Protoribates</i> sp.....	40
Figura 18. Oppiidae.....	41
Figura 19. <i>Caloglyphus berlesei</i> Michael.....	42
Figura 20. <i>Tyrophagus putrescentiae</i> Schrank.....	43

1. INTRODUCCIÓN

Imperceptibles en su mayoría a simple vista pero con más de 54,000 especies descritas en todo el mundo, los ácaros representan el grupo más diverso de la clase Arachnida, perteneciente al grupo más vasto de todos los animales, el *Phylum* Arthropoda (Zhang, 2011). Su reducido tamaño y una destacada plasticidad evolutiva ha permitido a los ácaros, colonizar un sinnúmero de hábitats terrestres y acuáticos, que va desde las condiciones extremas de la tundra ártica y las cálidas arenas del desierto del Sahara hasta los folículos pilosos de las cejas y pestañas. Poseen una nutrida variedad de hábitos alimentarios, siendo depredadores, saprófagos, fitófagos, necrófagos, hematófagos o micófagos y un gran número de especies establecen relaciones simbióticas de foresia, comensalismo y parasitismo con otros animales, plantas y hongos (Krantz, 2009c; Pérez *et al.*, 2014).

Debido a su reducido tamaño y la dificultad que puede resultar recolectarlos, los ácaros pocas veces son considerados dentro de los informes forenses. Sin embargo, su amplia diversidad morfológica y ecológica, los convierte en excelentes indicadores para la resolución de casos legales (Saloña-Bordas y Perotti, 2015). A través de los ácaros es posible estimar el intervalo *post-mortem* mínimo y fortalecer la información obtenida de los insectos que arriban a los cadáveres (Saloña-Bordas y Perotti, 2014). Asimismo, los ácaros brindan información sobre las condiciones ambientales a las que se expusieron los cadáveres antes de ser encontrados, tales como sequía, alta humedad o la presencia de incendios, y con ello, explicar el traslado o reubicación del cadáver de un lugar a otro (Szelecz *et al.*, 2018).

Actualmente la mayoría de los estudios que consideran a la acarofauna asociada al proceso de descomposición cadavérica se concentran en el norte de América (EUA) y Europa, donde las condiciones climáticas por la ubicación geográfica suelen ser muy diferentes a las observadas en zonas tropicales. Variaciones en la temperatura y humedad juegan un papel crítico en la diferenciación entre una fase de descomposición y otra. En México estas condiciones son considerablemente variables entre regiones y estados, y los estudios son muy escasos, por lo que es de gran importancia la realización de investigaciones expuestas a

distintas circunstancias y factores ambientales en los que se podría suscitar la descomposición de un cadáver.

2. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades de Acari

2.1.1 Principales caracteres diagnósticos y clasificación

Los ácaros se encuentran entre los animales terrestres más antiguos, con fósiles de ácaros oribátidos que datan del período Devónico, de hace aproximadamente 400 millones de años (Norton *et al.*, 1988). Se diferencian de todos los demás grupos de arácnidos, por su tamaño generalmente microscópico, una tagmosis muy modificada en la fusión del cuerpo en un solo tagma: el idiosoma, una expresión reducida de la segmentación del idiosoma, tres pares de patas en larvas y cuatro pares en ninfas y adultos, y la fusión de las coxas de los pedipalpos para formar la base de un falso tagma: el gnatosoma. Las patas cuentan con seis artejos (coxa, trocánter, fémur, genua, tibia y tarso) en la mayoría de las especies (Krantz, 2009a; Pérez *et al.*, 2014; Walter y Proctor, 2013).

El cuerpo se encuentra dividido en distintas regiones. El podosoma es la región portadora de los cuatro pares de patas y ésta a su vez puede dividirse en: propodosoma, región que porta los dos primeros pares de patas, y metapodosoma, región que porta los dos últimos pares de patas. El prosoma es la región compuesta por el gnatosoma y el podosoma. El proterosoma es la región formada por la unión del gnatosoma y del propodosoma. El opistosoma es la región posterior del cuerpo donde desembocan las aberturas genital y anal, las cuales están protegidas por sus correspondientes placas y pueden verse fuertemente modificadas en los diferentes grupos de ácaros. En tanto que, el histerosoma incluye al metapodosoma y al opistosoma (Fig. 1) (Krantz, 2009a; Saloña-Bordas y Perotti, 2015).

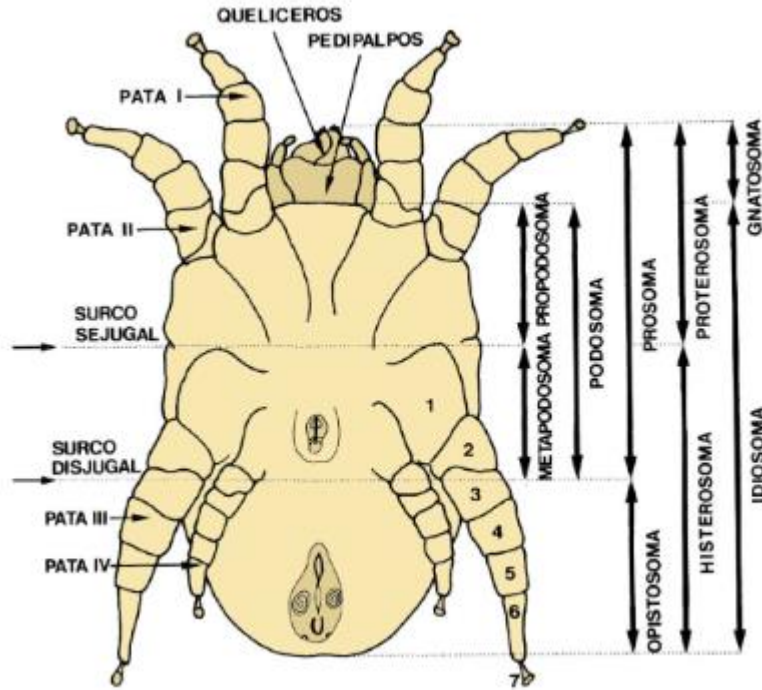


Figura 1. Principales divisiones del cuerpo. Imagen modificada de Ana G. Moreno, 2015.

De acuerdo con la clasificación propuesta por Krantz y Walter (2009), los ácaros agrupan dos superórdenes: Parasitiformes y Acariformes. Entre los caracteres morfológicos que diferencian a cada uno de estos grupos se encuentran; la ubicación y estructura de los espiráculos y tráqueas; las sedas birrefringentes bajo luz polarizada (excepto los solenidios) por la presencia de actinoquitina en Acariformes, ausente en Parasitiformes; coxas de las patas fusionadas a la parte ventral del idiosoma en Acariformes y coxas articuladas libremente (parcialmente fusionadas en garrapatas) en Parasitiformes (Fig. 2); propodosoma y metapodosoma separados por un surco sejugal en Acariformes y ausente en Parasitiformes (Alberti, 2006).

El superorden de los Parasitiformes incluye a los órdenes Opilioacarida, Holothyrida, Ixodida y Mesostigmata, mientras que los Acariformes se encuentran constituidos por los órdenes Trombidiformes y Sarcoptiformes (Krantz y Walter, 2009).

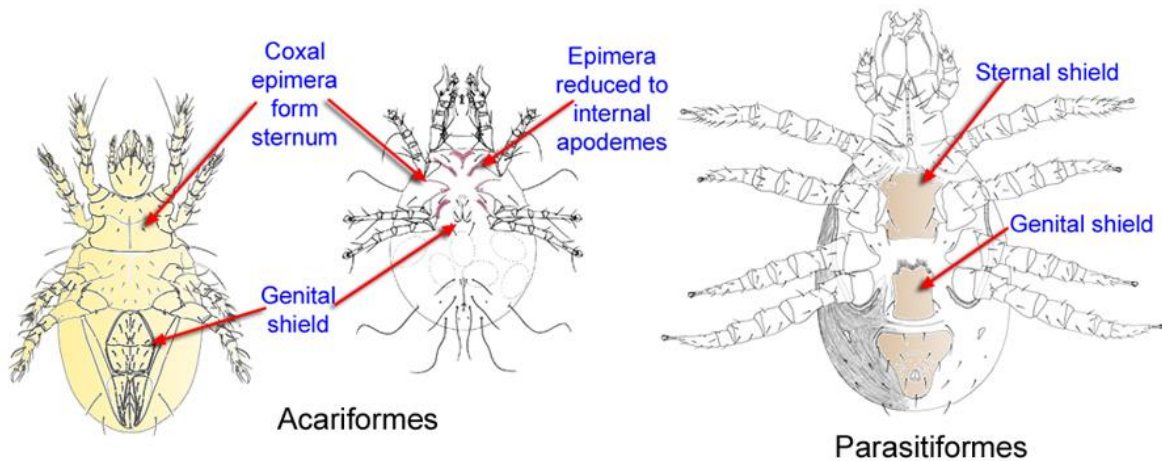


Figura 2. Región esternal del podosoma en Acariformes y Parasitiformes. Imagen de David Evans Walter, 2006.

2.1.2 Hábitos alimentarios y hábitats

Con una distribución cosmopolita que comprende todo tipo de hábitats, los ácaros juegan un papel fundamental en los ecosistemas. Establecen fuertes interacciones con otros organismos, los cuales incluso pueden representar un hábitat que albergue una comunidad multiespecífica de un gran número de especies de ácaros, como ocurre con muchas especies de aves y murciélagos. Son importantes indicadores de la perturbación de los sistemas acuáticos y terrestres, principalmente del suelo, donde son especialmente diversos e interactúan con nematodos, microorganismos y materia orgánica en descomposición. Asimismo, han colonizado hábitats acuáticos siendo exitosos habitantes subacuáticos de mares, lagos y ríos (Walter y Proctor, 2013).

Dentro de los Parasitiformes, los ácaros del orden Opilioacarida exhiben un marcado fototropismo negativo, por lo que se les suele encontrar en cuevas, ocultos entre la hojarasca y trozos de corteza o debajo de las rocas de ambientes semiáridos, tropicales y templados. A diferencia del resto de los Parasitiformes y de la mayoría de los arácnidos, los opilioácaridos únicamente ingieren alimentos sólidos y no líquidos, como polen, esporas de hongos y restos de otros artrópodos (Vásquez y Palacios-Vargas, 1988; Walter y Harvey, 2009).

El orden Holothyrida se puede encontrar en la hojarasca, musgos y debajo de las rocas de bosques tropicales, a nivel del mar y hasta los 2000 msnm. Su distribución actual abarca Australia y Nueva Zelanda, algunas regiones del Neotrópico (ausentes en México) y de las islas que son fragmentos continentales en los océanos Índico y Pacífico, lo que representa un ejemplo de vicarianza a gran escala, de la ruptura del antiguo supercontinente Gondwana. Estos ácaros se alimentan únicamente de los fluidos de artrópodos muertos (Pérez *et al.*, 2014; Walter, 2009; Walter y Proctor, 2013).

El orden Ixodida compuesto por las garrapatas, destaca como uno de los órdenes más populares y estudiados de los ácaros debido al gran tamaño de sus ejemplares y por su papel como vectores de un importante número de enfermedades transmitidas a la fauna silvestre, los animales domésticos y los humanos. Durante al menos una etapa de su vida son parásitos hematófagos obligados, adhiriéndose a su huésped durante un período de alimentación que puede durar de horas a días. Las garrapatas se encuentran en todo el mundo pero su distribución es principalmente tropical o subtropical (Anderson y Magnarelli, 2008; Walter y Proctor, 2013).

Por su parte, el orden Mesostigmata es el grupo más diverso y ampliamente distribuido de los Parasitiformes, con más de 11,000 especies descritas contenidas en alrededor de 70 familias. Gran parte de estas especies son depredadores de vida libre presentes en el suelo, la hojarasca, vegetación, madera en descomposición, estiércol de herbívoros, carroña, nidos de aves y mamíferos, polvo doméstico y cualquier ambiente basado en detritos. Son depredadores de nematodos, colémbolos, larvas de insectos y otros ácaros, regulando sus poblaciones, por lo que son utilizados como bioindicadores y dentro del control biológico de plagas (Koehler, 1999; Walter y Proctor, 2013).

Con respecto a los Acariformes, el orden Trombidiformes se encuentra compuesto por los subórdenes Sphaerolichida y Prostigmata. Sphaerolichida está integrado por dos superfamilias Sphaerolichoidea y Lordalycioidea, cada una representada por una sola familia, poco se sabe de su biología, pero en ambos casos se ha encontrado material fúngico en su interior. Mientras que el suborden Prostigmata engloba a cerca de 40 superfamilias que

incluye ácaros terrestres y acuáticos, con una variedad de hábitos alimentarios que va desde depredadores, fitófagos, saprófagos, alguívoros y parásitos (Fig. 3). Un número considerable de los ácaros parásitos de plantas pertenecen a este grupo. Destacan del resto de los grupos de ácaros por su rica variedad de atributos morfológicos, ontogenéticos y conductuales (Walter *et al.*, 2009).



Figura 3. Ortóptero infestado de ácaros mesostigmados. Fotografía de Nick Volpe, 2022.

Por otro lado, los Sarcoptiformes están formados por los subórdenes Endeostigmata y Oribatida. Los Endeostigmata poseen una distribución cosmopolita y a menudo se les puede observar en hábitats extremos y suelos profundos. Suelen ingerir alimentos sólidos como hongos, algas, microinvertebrados de cuerpo blando como nematodos, rotíferos y tardígrados, y trozos de vegetación en descomposición. Sin embargo, los grupos más derivados de este suborden también pueden consumir fluidos (Walter y Proctor, 2013). En tanto que, los ácaros del suborden Oribatida son uno de los grupos de artrópodos más dominantes en los horizontes orgánicos de la mayoría de los suelos, donde sus abundancias pueden alcanzar los varios cientos de miles de individuos por metro cuadrado. Se encuentran habitando todo el perfil del suelo, la hojarasca, los líquenes, musgos, la corteza y hojas de

los árboles, así como hábitats acuáticos, semiacuáticos y costeros (Dindal, 1991). La mayoría de estos ácaros son saprófagos o micófagos, alimentándose de partículas y también hay especies depredadoras (Norton y Behan-Pelletier, 2009). En el pasado, la cohorte Astigmatina era separada de los oribátidos, sin embargo evidencia morfológica y molecular ha dejado en claro que estos ácaros evolucionaron dentro de un linaje de Oribatida (Norton, 1998). Alrededor de la mitad de las especies de Astigmatina son parásitos obligados de aves o mamíferos, la otra mitad incluye ácaros asociados a vertebrados, insectos y formas de vida libre (Behan-Pelletier, 1999).

2.1.3 Foresis

Los desplazamientos dentro y fuera de un hábitat en respuesta a los cambios diarios en la disponibilidad de recursos, los peligros de la depredación y las condiciones ambientales (como temperatura y humedad), son un importante componente en la historia de vida de los ácaros (Walter y Proctor, 2013). Sin embargo, al carecer de alas que les permitan emprender el vuelo, han desarrollado otros mecanismos de dispersión. Algunas especies fitófagas de Tetranychidae y Eriophyidae, usan las corrientes de aire como medio de transporte para moverse entre las plantas, esto implica la presencia de numerosos puntos de arribo y el movimiento de poblaciones muy grandes que compensen la pérdida de los individuos que no logren llegar a sitios adecuados donde puedan alimentarse y sobrevivir. Para muchas otras especies estas estrategias de dispersión pasiva resultan inconvenientes, por lo que usan a otros animales para desplazarse a sitios que favorezcan completar sus ciclos de vida (Krantz, 2009b).

La foresis o foresia, es el transporte de un animal pequeño por otro de mayor tamaño. La interacción entre el huésped o portador y el foronte (pasajero forético) es temporal, normalmente termina cuando el portador llega a un nuevo hábitat y el foronte se desprende (Perotti y Braig, 2009). Este término fue propuesto por primera vez por el entomólogo francés Pierre Lesne en 1896 (Walter y Proctor, 2013) y redefinido por los entomólogos Farish y Axtell en 1971, como el “fenómeno en el que un animal busca activamente y se adhiere a la superficie de otro animal por un periodo de tiempo limitado durante el cual, el animal adherido (denominado forético) cesa su alimentación y ontogenia”.

El registro fósil más antiguo de forosis en ácaros corresponde a una deutoninfa heteromórfica de un astigmatino, posiblemente perteneciente a la familia Histiosomatidae, adherido al prosoma de una araña preservada en ámbar del Báltico del Eoceno, de hace aproximadamente 44–49 Ma (Dunlop *et al.*, 2011).

Por lo general, en las especies donde se observa esta relación, solo una etapa de la vida es forética (Walter y Proctor, 2013) y es la etapa más resistente y longeva (Hunter y Rosario, 1988). Se pueden encontrar ejemplos de relaciones foréticas con invertebrados en todos los subórdenes de los Acariformes y en los mesostigmados para Parasitiformes (Walter y Proctor, 2013). En Mesostigmata, las hembras y las deutoninfas bien esclerosadas (ocasionalmente algunos machos) son foréticas en algunos Monogynaspida y Sejida. En Trigynaspida solo los adultos (típicamente hembras) son foréticos (Hunter y Rosario, 1988).

En Prostigmata la etapa forética es variable entre grupos, mayormente las hembras adultas fertilizadas son quienes se desplazan, pero en algunos casos también lo hacen las larvas, y se conoce un caso particular para la tritoninfa (*Ereynetes* sp., Ereynetidae) (Walter y Proctor, 2013; Zhang y Sanderson, 1993). Para Oribatida se han registrado relaciones foréticas principalmente en Mesoplophoridae, Oppiidae y Oribatulidae, en su mayoría con escarabajos pasálidos pero también se observa con elatéridos, escolítidos y escarabeidos (Norton, 1980). Por su parte, en Astigmatina la etapa forética es la deutoninfa, conocida como deutoninfa heteromórfica o hipopodio, que posee una variedad de modificaciones para adherirse a su portador dependiendo de cada taxón huésped, en insectos lo hacen por medio de ventosas caudoventrales (Walter y Proctor, 2013). Las deutoninfas foréticas asociadas a insectos pertenecen a las familias Acaridae, Canestriniidae, Carpoglyphidae, Chaetodactylidae, Glycacaridae, Hemisarcoptidae, Histiosomatidae, Lardoglyphidae, Winterschmidtidae (OConnor, 1982).

Perotti y Braig (2009) han reportado más de 212 especies de ácaros foréticos asociados a cadáveres. Los ácaros pertenecientes a Mesostigmata representan el grupo más diverso con 127 especies, de las cuales 48 especies están incluidas en la familia Macrochelidae y 25 especies en Parasitidae. La mayoría de estos ácaros mantienen asociaciones muy específicas

con especies de moscas o escarabajos carroñeros. Por otro lado, para los Astigmatina señalan 52 especies foréticas, con poblaciones más abundantes y la mayoría de estos ácaros viajan en carroñeros que arriban tarde al cadáver, como derméstidos y polillas. Varias especies de escarabajos carroñeros pueden visitar simultáneamente un solo cadáver y cada una puede transportar de 1 a 10 especies de ácaros foréticos (Perotti y Braig, 2009).

2.2 Acarología forense

2.2.1 Historia de la acarología forense

Durante los siglos XVIII y XIX se realizaron exhumaciones masivas en Francia y Alemania y los médicos forenses se percataron que los cuerpos enterrados regularmente estaban habitados por distintos artrópodos. En 1831, el médico francés Mathieu Joseph B. Orfila en su obra *Traité Des Exhumations Juridiques* menciona la presencia de “gusanos” en un gran número de exhumaciones y deja entrever su importante función en la descomposición de los cadáveres (Benecke, 2001).

El primer caso donde se hizo uso de evidencia entomológica ocurrió en París, Francia en 1855. El médico francés Louis François É. Bergeret estimó el intervalo *post-mortem* de un recién nacido momificado a partir de pupas de califóridos y larvas de polillas, concluyendo que el infante había muerto en 1848 (Bergeret, 1855). Treinta años después, en 1878 y haciendo referencia al trabajo de Bergeret, el patólogo francés Paul Camille H. Brouardel informó de un segundo caso del cuerpo momificado de una recién nacida en el que se encontraron larvas de polillas del género *Aglossa* (Pylalidae, Lepidoptera) y una enorme cantidad de ácaros que cubrían el cadáver. Brouardel solicitó la asistencia del médico veterinario Jean Pierre Mégnin, quién utilizaría por primera vez a los ácaros para estimar el intervalo *post-mortem* de un cadáver. Mégnin calculó que en todo el cuerpo había cerca de 2,4 millones de ácaros y que todos pertenecían a una sola especie *Tyroglyphus longior*, ahora conocido como *Tyrophagus longior* (Acaridae, Astigmatina) (Benecke, 2001; Brouardel, 1879; Perotti *et al.*, 2009). Sin embargo, en su informe Mégnin sugirió que los ácaros arribaron a través de dípteros, coleópteros o miriápodos como portadores foréticos. La interpretación de Mégnin fue errónea ya que en particular la especie *Tyrophagus longior* no presenta deutoninfas heteromórficas en su ciclo de vida. Este caso en particular fue re-

analizado por Perotti (2009) quien resaltó la importancia de conocer el ciclo de vida y ecología de las especies al hacer uso de ellas como indicadores forenses (Perotti, 2009).

En 1894 Mégnin publicó su famosa obra *La Faune des Cadavres. Application de l'Entomologie à la Médecine Légale* donde desarrolló su teoría sobre la sucesión de artropodofauna asociada a cadáveres expuestos al aire libre, enterrados o depositados en tumbas y sumergidos. Describió ocho oleadas distintas para cadáveres expuestos y dos para cadáveres enterrados. Los ácaros son mencionados en la primera oleada asociados a moscas Muscidae, Stratiomyidae, Phoridae y Calliphoridae, y dominando completamente la sexta oleada con ácaros de las familias Uropodidae, Trachytidae, Acaridae, Histiostomatidae y Glycyphagidae. Mégnin además incluye 19 estudios de caso en los que participó y donde queda implícita su teoría (Mégnin, 1894).

Posterior a la obra de Mégnin, los artrópodos comenzaron a ser considerados en los informes forenses, estudios de caso y experimentos en países como Canadá, Estados Unidos, Suecia, Alemania, Austria, Polonia, Reino Unido, Italia y por supuesto Francia (Benecke, 2001). No obstante, pocas veces se le presta atención a los ácaros, probablemente por su pequeño tamaño y la falta de especialización en el área, lo que dificulta su correcta recolección e identificación (OConnor, 2009a).

A fines del siglo XIX en Washington D.C. se realizaron 150 exhumaciones, lo que dio lugar a un estudio sistemático que incluyó insectos, arácnidos, miriápodos, crustáceos y caracoles, asociados a cadáveres. En 30 cadáveres humanos se identificaron especies de ácaros de cuatro familias incluidas en dos Órdenes (Mesostigmata y Sarcoptiformes). Para el primer Orden, se registró a las familias Parasitidae (*Gamasus* sp., *Holostaspis* sp.), Laelapidae (*Hypoaspis* sp., *Iphis* sp.) y Uropodidae (*Uropoda depressa*) la más frecuente en todo el estudio, al ser hallada en 20 cadáveres; y en los Sarcoptiformes a Tyroglyphidae (*Tyroglyphus* sp.) y ácaros del suborden Oribatida (*Hoplophora* sp.) (Motter, 1898).

Para mediados del siglo XX en Australia, George F. Bornemissza (1957) presenta uno de los trabajos pioneros sobre la sucesión de artrópodos en cadáveres y el efecto de su descomposición sobre la fauna nativa del suelo, además, propone una de las primeras clasificaciones de las distintas etapas de la descomposición cadavérica. En esta investigación se menciona un elevado número de ácaros gamásidos durante las etapas de putrefacción negra (periodo de decaimiento) y fermentación butírica (periodo de post-decaimiento), que después serían completamente reemplazados por ácaros de la familia Tyroglyphidae (Acaridae) durante la etapa de descomposición seca (Bornemissza, 1957).

Un año después en Tennessee Estados Unidos, H. B. Reed, Jr. (1958) divide el proceso de la descomposición cadavérica en cuatro periodos (fresco, hinchado, decaimiento y seco), y realiza un análisis de las microcomunidades que colonizan a los cadáveres y la influencia que tienen la variación estacional y los factores ambientales en ellas. Los ácaros son una de las microcomunidades que aquí se reportan, siendo los géneros *Macrocheles* sp. (Macrochelidae) y *Parasitus* sp. (Parasitidae) los más abundantes. Éstos además se encontraron asociados a coleópteros y fueron más abundantes durante los periodos más calurosos del año (Reed, 1958).

Para la década de 1960 a 1970 destacan los trabajos realizados por Jerry A. Payne y colaboradores (Payne, 1965; Payne *et al.*, 1968; Payne y Crossley, 1966; Payne y King, 1972). Payne propone una nueva clasificación para describir las etapas de la descomposición cadavérica, dividiéndola en seis etapas para ambientes terrestres (Payne, 1965) y seis etapas para ambientes acuáticos (Payne y King, 1972). En Payne y Crossley (1966) se reportan especies de ácaros de cuatro familias: Ixodidae (*Dermacentor variabilis* Say), Erythraeidae (*Erythraeus* sp., *Leptus* sp.), Macrochelidae (*Macrocheles* sp.) y Parasitidae (*Parasitus* sp.).

A partir de la década de 1980, el trabajo de M. Lee Goff se convirtió en un referente para las ciencias forenses. A través de un gran número de trabajos (Avila y Goff, 1998; Catts y Goff, 1992; Davis y Goff, 2000; Early y Goff, 1986; Frost *et al.*, 2009; Goff, 1991, 1993, 2009; Hewadikaram y Goff, 1991; Perotti *et al.*, 2009, 2010), Goff estableció una de las clasificaciones más detalladas y utilizadas para la división de las etapas de la descomposición

de cadáveres y, a su vez, dejó en evidencia la importancia del uso de los artrópodos (incluyendo a los ácaros) para la estimación del intervalo *post-mortem* y como una potencial fuente de información sobre el movimiento o reubicación de restos.

Con relación a los años 2000, se observó un notable aumento en las investigaciones centradas en la entomología forense. Especialistas de un mayor número de países comenzaron a participar en la publicación de trabajos identificando a los artrópodos asociados a cadáveres. Asimismo, empezaron a ser consideradas una mayor cantidad de variables dentro de un mismo estudio, con relación al impacto que éstas tienen sobre la descomposición de los cuerpos y la sucesión de la fauna cadavérica. Tal es el caso del trabajo realizado por Anderson y colaboradores (2002) donde fueron consideradas la variación estacional, la exposición de los cadáveres a la luz solar o a la sombra, el nivel de exposición al que se éstos se encontraban (enterrados o parcialmente enterrados) y el uso de varias capas de ropa para simular la ropa interior y exterior que los humanos vestimos diariamente (Anderson *et al.*, 2002).

En el año 2008 se inició la primera colección de referencia de ácaros asociados a restos cadavéricos, a cargo del laboratorio de Acarología de la Universidad de Reading (Acarology Lab, School of Biological Sciences, University of Reading) (Saloña-Bordas y Perotti, 2015). Un año después, Braig y Perotti (2009) reportan más de 100 especies de más de 60 familias de ácaros, asociados a cadáveres de animales, y alrededor de 75 especies de más de 20 familias asociados a cadáveres humanos, de un listado que abarca la revisión de trabajos desde Brouardel (1879) hasta OConnor (2009).

En México aún son escasos los trabajos sobre la sucesión de artrópodos asociados al proceso de descomposición cadavérica y la gran mayoría no incorpora a los ácaros dentro de sus observaciones. En el semidesierto de Coahuila se realizaron dos estudios distintos pero con resultados similares en la acarofauna colectada, identificando a las familias Laelapidae, Galumnidae, Macronyssidae y Dermanyssidae. En ambos casos se registró una mayor abundancia de ácaros durante las etapas de post-decaimiento y restos (Pastrana-Ortiz, 2008; Valdéz-Perezgasga, 2009). Para el estado de Querétaro, se tiene registro de 15 familias y 12

géneros de ácaros asociados a la descomposición de un cadáver de cerdo en la ciudad de Querétaro (Blé-Carrasco *et al.*, 2017).

2.2.2 Modelo biológico

La mayoría de los experimentos enfocados en el estudio de los artrópodos asociados al proceso de la descomposición cadavérica han sido realizados con cerdos por sus características biológicas (cantidad de pelo y el tipo de piel) extrapolables a lo observado en el patrón de descomposición de los cadáveres humanos; además de su fácil obtención como especie ganadera y su bajo costo (Catts y Goff, 1992). Sin embargo, también se han reportado ácaros en otros modelos como conejos (Chapman y Sankey, 1955); gatos (Early y Goff, 1986); perros (Reed, 1958); sapos y lagartijas (Cornaby, 1974); pollos (Arnaldos *et al.*, 2004; Horenstein *et al.*, 2005); roedores (Putman, 1978); gaviotas (Lord y Burger, 1984); peces (Walker, 1957) y fauna silvestre (oso negro americano, venado cola blanca y caimanes) (Watson y Carlton, 2003).

2.2.3 Descomposición cadavérica y sucesión de artrópodos

La descomposición de un cadáver es un proceso continuo, que comienza con el momento de la muerte y termina cuando el cuerpo se ha reducido a restos óseos. Los cambios que suceden inmediatamente después de la muerte suelen ser más rápidos que los que ocurren más tarde en el proceso de descomposición, pasando de minutos a horas y de semanas a meses o años dependiendo de las características del lugar. El período mínimo de tiempo transcurrido entre la muerte y el hallazgo de un cuerpo se le conoce como *intervalo post-mortem* (IPM) y es a través del periodo de actividad de los artrópodos que arriban al cuerpo que el IPM puede ser estimado (Goff, 2009).

Para un mejor entendimiento de la información obtenida y la comunicación de la misma dentro la investigación forense y los servicios periciales, el proceso de descomposición cadavérica se ha fraccionado en un número variable de etapas o periodos delimitados por cambios morfológicos bien identificables y la sucesión de los organismos que arriban al cadáver. Generalmente son cinco los periodos de tiempo reconocidos, de acuerdo a lo descrito por Goff (1993, 2009): Fresco, Hinchado, Decaimiento, Post-decaimiento y Restos

o Esqueletización. A continuación se describe cada una de las etapas y su respectiva sucesión de artrópodos. Entre paréntesis se hace mención a los términos que cada etapa recibe de acuerdo a las clasificaciones realizadas por Bornemissza (1957) y Payne (1965):

a) *Periodo fresco (decadencia inicial):*

Comienza desde el momento de la muerte y finaliza una vez que el cuerpo comienza a hincharse. Si bien pueden no aparecer signos externos de descomposición, internamente el cuerpo comienza a descomponerse por la actividad de bacterias, protozoarios, hongos y nematodos presentes antes de la muerte. Las bacterias internas y las enzimas autolíticas comienzan a digerir los tejidos blandos del cuerpo, produciendo señales químicas que atraen a los primeros organismos. Las primeras en arribar son las moscas de la familia Calliphoridae y Sarcophagidae, que depositan sus huevos o larvas al interior de heridas y los orificios naturales de la cabeza (ojos, nariz, boca, oído), genitales y ano (Braig y Perotti, 2009; Byrd y Tomberlin, 2020; Goff, 2009). Como pasajeros foréticos a éstas, destaca la prevalencia de los ácaros Macrochelidae e hipopodios de Histiostomatidae (Perotti y Braig, 2009), además de Uropodidae, Trachytidae, Pygmephoridae y Acaridae (Perotti *et al.*, 2010) (Fig. 4a).

b) *Periodo hinchado (putrefacción):*

Los gases producidos por las actividades metabólicas de las bacterias anaerobias presentes en los intestinos y otras regiones del cuerpo provocan la inflamación del abdomen y más tarde de todo el cuerpo. Durante este periodo los califóridos adultos son fuertemente atraídos al cuerpo y se observan significativas masas de larvas asociadas a la cabeza y otros sitios primarios de invasión. Los procesos combinados de putrefacción y las actividades metabólicas de las larvas provocan un aumento de la temperatura interna del cuerpo, que puede estar por encima de la temperatura ambiente (50 °C), entonces el cuerpo se convierte en un hábitat completamente distinto. Los fluidos que se filtran por las aberturas naturales del cuerpo vuelven alcalino el sustrato sobre el que se encuentra el cuerpo y la fauna normal del suelo abandona este suelo que es repoblado por especies asociadas a la descomposición (Goff, 2009). Comienzan a arribar escarabajos carroñeros de la familia Silphidae y

Staphylinidae, y diversas moscas sinantrópicas y necrófilas, ambos grupos traen consigo ácaros forontes muy específicos. De acuerdo con Perotti y Braig (2009) se conocen al menos 12 especies de macroquélidos forontes de moscas, incluidas especies con importancia forense. Los ácaros *Macrocheles* llegan como hembras diploides vírgenes y ponen unos cuantos huevos de machos haploides. Los machos maduran rápidamente y se aparean con sus madres dando lugar a una segunda generación de hembras diploides. Los mismos machos de la primera generación se aparean con las hembras de la segunda generación entonces la tercera generación alcanza una proporción igual de sexos. Por lo tanto, la primera aparición de machos y una proporción de sexos fuertemente sesgada por las hembras, son importantes marcadores para estimar el arribo de una mosca a un cadáver (Perotti y Braig, 2009) (Fig. 4b).

c) *Periodo de decaimiento (periodo de decadencia, putrefacción negra, decaimiento activo, descomposición activa):*

Inicia cuando el cuerpo colapsa y se desinfla resultado de la alimentación de las larvas de moscas y la putrefacción de bacterias que rompen con la capa externa de la piel. Se liberan gases por el abdomen y el olor a descomposición es muy fuerte. Arriban más depredadores de larvas, los escarabajos de la familia Histeridae. Artrópodos necrófagos y depredadores aumentan su diversidad y números de manera que pueden observarse grandes masas de alimentación de larvas de dípteros y coleópteros. Para el final de este periodo, la mayor parte de la carne del cuerpo ha sido eliminada por las larvas de califóridos y sarcófágidos, que completan su desarrollo y dejan los restos para pupar en el suelo circundante (Goff, 2009). Parasitidae, Macrochelidae e Histiostomatidae son particularmente diversos en esta etapa (Perotti y Braig, 2009) pero también se observan ácaros de las familias Eviphididae, Rhodacaridae, Uropodidae, Pygmephoridae y Acaridae (Perotti *et al.*, 2010) (Fig. 4c).

d) Periodo de post-decaimiento (periodo de post-decadencia, fermentación butírica, decaimiento avanzado, descomposición avanzada):

Los restos se reducen a piel, cartílago y huesos, y la superficie del cuerpo luce mohosa por la fermentación butírica que da lugar a un característico olor a queso (Braig y Perotti, 2009). La diversidad de depredadores y parásitos aumenta y los dípteros dejan de ser el grupo dominante, siendo reemplazados por varios coleópteros, principalmente especies de la familia Dermestidae. Estos escarabajos eliminan la carne seca y cartílago restante, y con el raspado de sus mandíbulas pulen y limpian los huesos (Goff, 2009). En este periodo también arriban moscas del queso (Piophilidae), moscas de la fruta (Drosophilidae), moscas de alas oscuras (Sciaridae), moscas jorobadas (Phoridae) y escarabajos Trogidae. Asociados específicamente a varios de ellos, se encuentran ácaros mesostigmados de las familias Parasitidae, Macrochelidae, Halolaelapidae, Digamasellidae, Ascidae, Uropodidae, Trachytidae, ácaros prostigmados de la familia Pygmephoridae y ácaros astigmatinos de las familias Histiotomatidae, Lardoglyphidae, Acaridae, Euglycyphagidae y Winterschmidtidae (Perotti *et al.*, 2010).

e) Periodo de restos (periodo esquelético, decadencia seca, descomposición seca):

El ritmo de la descomposición baja y los restos se reducen a huesos y pelo. Con el transcurso del tiempo, el pH del suelo regresa a sus niveles normales y con ello la fauna que lo habitaba. Sin embargo, esto puede tomar meses o incluso años, dependiendo de las condiciones locales del sitio donde se encontraba el cuerpo (Goff, 2009). Los principales portadores foréticos son polillas (Tineidae y Pyralidae), los escarabajos de la piel (Dermestidae) y los escarabajos de los cadáveres (Trogidae) (Perotti *et al.*, 2010). Los ácaros astigmatinos son los más dominantes durante esta etapa, mismos que en sus formas foréticas también han sido hallados en momias (Baker, 2009; Perotti y Braig, 2009) (Fig. 4d).



Figura 4. Periodos de descomposición. a) Fresco, b) Hinchado, c) Decaimiento, d) Restos. Fotografías de Irma Avilés Carillo, 2019.

Además de la diversidad de organismos involucrados en el proceso de descomposición cadavérica, los factores físicos (como es la diferencia entre un cuerpo enterrado y uno expuesto sobre la superficie del suelo), químicos (presencia de insecticidas cerca o sobre el suelo donde se deposita el cuerpo) y climáticos (temperatura, humedad, velocidad del viento, presencia o ausencia de lluvia) a los que se exponen los cadáveres, juegan un importante rol como barreras que pueden retrasar o detener la velocidad a la que ocurre la descomposición (Goff, 2009).

2.2.4 Los ácaros como indicadores forenses

Los ácaros se encuentran adaptados a un amplio espectro de hábitos alimentarios y hábitats, y algunos de ellos exhiben una alta especificidad con sus respectivos portadores foréticos. Son considerados importantes indicadores de las condiciones ambientales y de los impactos producidos por el hombre, por lo que pueden aportar información valiosa sobre el entorno al que ha sido expuesto un cadáver (Saloña-Bordas y Perotti, 2015) como condiciones de

sequía, una baja disponibilidad de alimento o la presencia de incendios, lo que a su vez los convierte en contundentes indicadores de movimiento o reubicación (Szelecz *et al.*, 2018).

A menudo los restos son intencionalmente ocultados de manera cuidadosa, restringiendo la colonización y actividad de califóridos y sarcófagidos. En ausencia de insectos, una diversa sucesión de ácaros formada por una compleja red que se alimenta de bacterias, algas, hongos, huevos de insectos y otros ácaros, constituye un recurso que suele ser completamente desaprovechado para fines forenses pero que garantiza datos de mayor resolución en términos de tiempo desde la muerte y de información específica de una ubicación. Debido a que sus ciclos de vida suelen ser más cortos que los de los insectos, la sucesión de ácaros puede ocurrir más rápido que la sucesión de insectos. Esto abre la posibilidad de una mejor resolución de la estimación del intervalo *post-mortem* (Perotti *et al.*, 2009).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Identificar la acarofauna asociada a la descomposición de cadáveres de cerdo *Sus scrofa domestica*, en el municipio de Arroyo Seco, Querétaro.

3.2 Objetivos particulares

- Comparar la diversidad de ácaros encontrados entre cada sitio de estudio, expuestos a distintas condiciones de luz y sombra.
- Comparar la diversidad de ácaros encontrados estacionalmente.
- Identificar la acarofauna presente en cada etapa de descomposición cadavérica.
- Dar a conocer la sucesión de ácaros en el suelo a lo largo de un año, asociada al proceso de descomposición cadavérica.

4. METODOLOGÍA

4.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro Campus Concá, en el Municipio de Arroyo Seco (Fig. 5). La localidad de Concá pertenece a la zona baja del valle de la microcuenca Concá, un área caracterizada por vegetación riparia, bosque tropical caducifolio, así como zonas dedicadas a la agricultura y la ganadería, con un suelo tipo vertisol pélico, clima cálido subhúmedo y temperatura generalmente por encima de los 22°C (Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, 2014).

Se delimitaron tres sitios para la colocación de los cadáveres, con una separación de al menos 150 m entre uno y otro. Los sitios se ubicaron en las siguientes coordenadas: sitio 1, 21°25'44.96"N, 99°37'39.37"O; sitio 2, 21°25'49.47"N, 99°37'35.40"O y sitio 3, 21°25'54.51"N, 99°37'33.80"O, a una altitud de 538 msnm. El área en que fueron designados los tres puntos de muestreo representa una franja de vegetación nativa que se compone principalmente de elementos como *Esenbeckia berlandieri*, *Lysiloma microphila*, *Psidium sartorianum* y *Ficus cotinifolia* (Zamudio *et al.*, 1992); mientras que en las zonas aledañas se observa vegetación secundaria, zonas agrícolas y hortícolas donde se cultiva caña criolla, maíz, calabaza, tomate, jitomate, chile jalapeño, pimiento, cebolla, naranja, mango y papaya.

Las condiciones para cada sitio fueron: sitio 1, exposición directa al sol durante medio día (entre las 8 y las 14 hrs) y sombra de los árboles por la tarde (después de las 14 hrs); sitio 2, completamente sombreado por la cobertura de malezas y árboles durante todo el día; sitio 3, poca cobertura vegetal y completa exposición al sol durante todo el día.



Figura 5. Área de estudio. Vista panorámica de las condiciones en las Instalaciones de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro Campus Conca. Fotografía de L. Daniela Bonilla Hernández, 2018.

4.2 Periodo experimental

El experimento abarcó un año de muestreos dividido en cuatro periodos, cada uno representando una estación del año. El primer experimento se llevó a cabo en julio de 2018 (verano), el segundo en octubre - noviembre de 2018 (otoño), el tercero en febrero de 2019 (invierno) y el cuarto en abril - mayo de 2019 (primavera).

Los primeros tres cerdos correspondientes al verano se colocaron el día 8 de julio de 2018. Los cerdos correspondientes al otoño fueron colocados el día 21 de octubre de 2018. Los siguientes tres cerdos correspondientes al invierno se colocaron el día 10 de febrero de 2019. Finalmente, los últimos tres cerdos correspondientes a la primavera fueron colocados el día 25 de abril de 2019. Todos los cerdos fueron visitados diariamente para registrar la progresión de la descomposición en cada uno, entre sitios y estaciones (cuadro 1).

Cuadro 1. Registro del progreso de la descomposición por día entre sitios y estación.

Estación	Día	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Verano	Día 1	Fresco	Fresco	Fresco
	Día 2	Hinchado	Hinchado	Hinchado
	Día 3	Decaimiento		Decaimiento
	Día 4			
	Día 5			
	Día 6	Post-decaimiento	Post-decaimiento	Post-decaimiento
	Día 7			
	Día 8			
	Día 40 ±	Restos	Restos	Restos
Otoño	Día 1	Fresco	Fresco	Fresco
	Día 2			
	Día 3	Hinchado	Hinchado	Hinchado
	Día 4			
	Día 5			
	Día 6	Decaimiento	Decaimiento	Decaimiento
	Día 7			
	Día 8			
	Día 9			
	Día 10			
	Día 11	Post-decaimiento	Post-decaimiento	Post-decaimiento
	Día 12			
	Día 40 ±	Restos	Restos	Restos

Cuadro 1. Continuación.

Estación	Día	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Invierno	Día 1	Fresco	Fresco	Fresco
	Día 2			
	Día 3			
	Día 4	Hinchado	Hinchado	Hinchado
	Día 5			
	Día 6	Decaimiento	Decaimiento	Decaimiento
	Día 7			
	Día 8			
	Día 9			
	Día 10			
	Día 11	Post-decaimiento	Post-decaimiento	Post-decaimiento
	Día 12			
	Día 13	Restos	Restos	Restos
	Día 40 ±			
Primavera	Día 1	Fresco	Fresco	Fresco
	Día 2	Hinchado	Hinchado	Hinchado
	Día 3			
	Día 4	Decaimiento	Decaimiento	Decaimiento
	Día 5			
	Día 6			
	Día 7			
	Día 8	Post-decaimiento	Post-decaimiento	Post-decaimiento
	Día 9			
	Día 40 ±	Restos	Restos	Restos

4.3 Montaje del experimento

Se emplearon doce ejemplares de cerdo doméstico (*Sus scrofa domestica* L.) obtenidos en criaderos locales, de aproximadamente 20 - 25 kg cada uno. El sacrificio de los animales se realizó de acuerdo al manual para productores de la American Association of Swine Veterinarians (2008). Este procedimiento fue aprobado por el comité de bioética de la Facultad de Ciencias Naturales con el Oficio 46FCN2018 y las drogas se suministraron por un médico veterinario. Una vez confirmada la muerte, los cadáveres se transportaron al área

de estudio envueltos en bolsas plásticas para evitar la colonización temprana de dípteros. Cada cadáver se colocó expuesto y en contacto directo con el suelo, dentro de jaulas de metal de 2 x 1.6 x 1.6 m (Fig. 6) que permitían el acceso y colonización de la artropodofauna pero evitaban la intromisión y depredación de los carroñeros superiores.



Figura 6. Jaula de metal para protección de los cadáveres. Fotografía de Irma Avilés Carillo, 2018.

4.4 Toma de muestras y obtención de la acarofauna

Se tomaron 60 muestras de 400 cm³ de suelo debajo del cadáver (una muestra por cada etapa de descomposición, para cada sitio y estación del año) y a dos metros de distancia de los restos, como controles. El suelo se tomó desde la superficie hasta los diez centímetros de profundidad. Todas las muestras se depositaron en bolsas de papel y éstas a su vez de manera individual en bolsas de plástico selladas, para poder ser transportadas al Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Naturales Campus Juriquilla, donde se realizó la extracción de los ácaros.

Para evitar la contaminación cruzada entre las muestras de cada sitio y para protección de la persona que las manipulara durante toda la colecta y procesamiento de las muestras siempre se utilizó bata, guantes y cubrebocas, además todas las bolsas fueron previamente rotuladas,

con plumón permanente, desde el laboratorio. Para la recolección de cada muestra se utilizó una pala y un vaso de precipitado para su medición, ambos fueron desinfectados con una solución de cloro al 2% por dos minutos y un lavado con agua entre cada toma.

Las muestras se colocaron en embudos tipo Berlese-Tullgren bajo luz amarilla de 50W durante cinco días (Fig. 7). El calor ocasionado por la luz comienza a secar la muestra y en la búsqueda de un medio más oscuro y húmedo la artropodofauna desciende cayendo en frascos con alcohol etílico al 70% (Marcos-Garcia, 1988). Los ácaros obtenidos fueron preservados en tubos Eppendorf con alcohol etílico al 70%. Se montaron en laminillas bajo microscopio de disección Leica® S9i utilizando como medio de montaje semipermanente CMCP9, reactivo que actúa como agente limpiador y aclarador en insectos inmaduros (Stehr, 1987) y usado por Vergara-Pineda y colaboradores (2018) para elaborar laminillas de ácaros. Todas las laminillas fueron dejadas en estufa de secado durante diez días a 45°C y se etiquetaron con fecha de colecta y número del sitio de muestra. Para la identificación de los ejemplares se utilizaron claves especializadas (Balogh, 1972; Balogh y Balogh, 1990; Balogh y Mahunka, 1983; Dindal, 1991; Evans y Till, 1979; Gerson y Smiley, 1999; Khaustov, 2008; Khaustov, 2015; Krantz y Walter, 2009; Smiley, 1991) y un microscopio Leica® DM500 con contraste de fases y equipado con cámara fotográfica.



Figura 7. Embudos tipo Berlese-Tullgren bajo lámparas de luz, fabricado por Vergara-Pineda Santiago. Fotografía de L. Daniela Bonilla Hernández, 2019.

5. RESULTADOS

5.1 Generales

Se identificaron un total de 4,404 ácaros pertenecientes a 16 familias y 12 géneros, recolectados en los tres sitios de estudio, a lo largo de las cuatro estaciones del año (Cuadro 2) y en las cinco etapas de descomposición cadavérica (Cuadro 3).

Cuadro 2. Abundancias de ácaros identificados en los diferentes sitios de estudio y estaciones.

ESTACIÓN		Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
SITIOS													
Familias	Géneros	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mesostigmata													
Blattisociidae									1				
Laelapidae	<i>Laelaps</i>							2					
Macrochelidae	<i>Macrocheles</i>		1		1		1	2					
Parholaspididae		1											
Trematuridae								4					
Prostigmata													
Caeculidae			1										
Cheyletidae	<i>Acaropsella</i>				1								
	<i>Hemicheyletia</i>		1										
Microtrombidiidae			1										
Pygmephoridae	<i>Pediculaster</i>		2		75	18	42			1			
Scutacaridae	<i>Scutacarus</i>				12		1						
Trombellidae							1						
Oribatida													
Haplozetidae	<i>Protoribates</i>				2								
Lohmanniidae	<i>Lohmannia</i>								1				
	<i>Torpacarus</i>				3		4						
Nothridae	<i>Nothrus</i>							2	3				
Oppiidae								2					
(cohorte Astigmatina)													
Acaridae	<i>Caloglyphus</i>	8	766	1418	61	450	115		1	4			
	<i>Tyrophagus</i>	1	1		4	13	4	15	16	18	408	257	658
TOTAL		10	773	1418	159	481	168	27	22	23	408	257	658

El género con mayor abundancia fue *Caloglyphus* sp. durante las estaciones de verano y otoño, sin embargo, su presencia disminuyó considerablemente para el invierno y se mostró ausente para la primavera. Por otra parte, *Tyrophagus* sp. fue el único género encontrado durante todo el muestreo (a excepción del sitio 3 en la estación de verano) incrementando sus abundancias exponencialmente. El resto de los grupos se observaron con abundancias bajas hasta la temporada de invierno.

Las temporadas de verano, otoño e invierno fueron similarmente diversas, contrario a la primavera que se encontró dominada únicamente por astigmatinos del género *Tyrophagus* sp. Transcurrido todo el experimento, el 13.7% de los ácaros fueron colectados en el sitio 1, otro 34.8% en el sitio 2 y un 51.5% en el sitio 3. No obstante, la diversidad de grupos se repartió en mayor número en el sitio 1.

Cuadro 3. Presencia de ácaros identificados en cada etapa de descomposición.

		ETAPAS DE DESCOMPOSICIÓN						
		Familias	Géneros	I	II	III	IV	V
PARASITIFORMES	Mesostigmata	Blattisociidae				X		
		Laelapidae	<i>Laelaps</i>			X		
		Macrochelidae	<i>Macrocheles</i>			X		X
		Parholaspididae				X		
		Trematuridae					X	
ACARIFORMES	Prostigmata	Caeculidae			X			
		Cheyletidae	<i>Acaropsella</i> <i>Hemicheyletia</i>					X X
		Microtrombidiidae					X	
		Pygmephoridae	<i>Pediculaster</i>	X	X		X	X
		Scutacaridae	<i>Scutacarus</i>					X
		Trombellidae		X				
	Oribatida	Haplozetidae	<i>Protoribates</i>					X
		Lohmanniidae	<i>Lohmannia</i> <i>Torpacarus</i>			X	X	X
		Nothridae	<i>Nothrus</i>			X		
		Oppiidae				X	X	
	(cohorte Astigmatina)	Acaridae	<i>Caloglyphus</i>	X	X	X	X	X
			<i>Tyrophagus</i>	X	X	X	X	X

I. Fresco, II. Hinchado, III. Decaimiento, IV. Post-decaimiento V. Restos.

Para las etapas de descomposición cadavérica, los astigmatinos también fueron el grupo con mayor presencia, con *Caloglyphus* sp. y *Tyrophagus* sp. en las cinco etapas. La fase I o periodo fresco contó con ácaros prostigmados y astigmatinos, al igual que la fase II o periodo hinchado. La fase III o periodo de decaimiento contó con mesostigmados, oribátidos y astigmatinos. En la fase IV o periodo de post-decaimiento se encontraron prostigmados, oribátidos y astigmatinos. Finalmente, en la fase V o periodo de restos se registraron ácaros de los cuatro grandes grupos. Por otro lado, en las muestras control se encontraron ácaros de las familias Pygmephoridae y Acaridae, así como oribátidos del suborden Brachypylina.

5.2 Taxonomía de los ácaros identificados

A continuación, se presentan las diagnósis a nivel de familia y género. Asimismo, se incluye un listado taxonómico basado en la clasificación propuesta por Krantz y Walter (2009), referencia utilizada para la identificación de cada familia, además de la literatura revisada y también empleada para cada género.

Phylum Arthropoda Latreille, 1829

Subphylum Chelicerata Heymons, 1901

Clase Arachnida Lamarck, 1801

Subclase Acari Leach, 1817

Superorden Parasitiformes Reuter, 1909

Orden Mesostigmata Canestrini, 1891

Superfamilia Uropodoidea Kramer, 1881

Familia Trematuridae Berlese, 1917

Superfamilia Eviphidoidea Berlese, 1913

Familia Macrochelidae Vitzthum, 1930

Género *Macrocheles* Latreille, 1829

Familia Parholaspididae Evans, 1956

Superfamilia Phytoseioidea Berlese, 1916

Familia Blattisociidae Garman, 1948

Superfamilia Dermanyssoidea Kolenati, 1859

Familia Laelapidae Berlese, 1892

Género *Laelaps* Koch, 1836

Superorden Acariformes Azkhvatkin, 1952

Orden Trombidiformes Teuter, 1909

Suborden Prostigmata Kramer, 1877

Superfamilia Caeculoidea Berlese, 1883
Familia Caeculidae Berlese, 1883

Superfamilia Trombidioidea Leach, 1815
Familia Microtrombidiidae Thor, 1935
Familia Trombellidae Thor, 1935

Superfamilia Cheyletoidea Leach, 1815
Familia Cheyletidae Leach, 1815
Género *Acaropsella* Volgin 1962
Género *Hemicheyletia* Volgin 1969

Superfamilia Scutacaroida Oudemans, 1916
Familia Pygmephoridae Cross, 1965
Género *Pediculaster* Vitzthum 1931
Familia Scutacaridae Oudemans, 1916
Género *Scutacarus* Gros, 1845

Orden Sarcoptiformes Reuter, 1909
Suborden Oribatida Dugès, 1834
Superfamilia Lohmannioidea Berlese, 1916
Familia Lohmanniidae Berlese, 1916
Género *Lohmannia* Michael, 1898
Género *Torpacarus* Grandjean, 1950

Superfamilia Crotonioidea Thorell, 1876
Familia Nothridae Berlese, 1885
Género *Nothrus* Koch, 1836

Superfamilia Oripodoidea Jacot, 1925
Familia Haplozetidae Grandjean, 1936
Género *Protoribates* Berlese, 1908

Superfamilia Oppioidea Sellnick, 1937
Familia Oppiidae Grandjean, 1954

Cohorte Astigmatina Canestrini, 1891
Superfamilia Acaroidea Latreille, 1802
Familia Acaridae Latreille, 1802
Género *Caloglyphus* Berlese, 1923
Género *Tyrophagus* Oudemans, 1924

Orden Mesostigmata

Familia Trematuridae Berlese, 1917

Diagnosis: Escudo dorsal típicamente con muescas marginales. Coxas de las patas I ensanchadas y aplanadas cubriendo total o parcialmente al tritosterno. Mala internos simples, sin fimbriaciones marginales o excrescencias. Cornículos agrandados, con dientes laterales. Dígito móvil del quelícero con 2–5 dientes, sin membrana hialina o poco desarrollada. Placa genital de las hembras con los ángulos anterolaterales puntiagudos. Presentes en sustratos orgánicos en descomposición, incluida la madera y el estiércol; en nidos de mamíferos, aves e insectos (Abo-Shnaf *et al.*, 2018; Lindquist *et al.*, 2009).

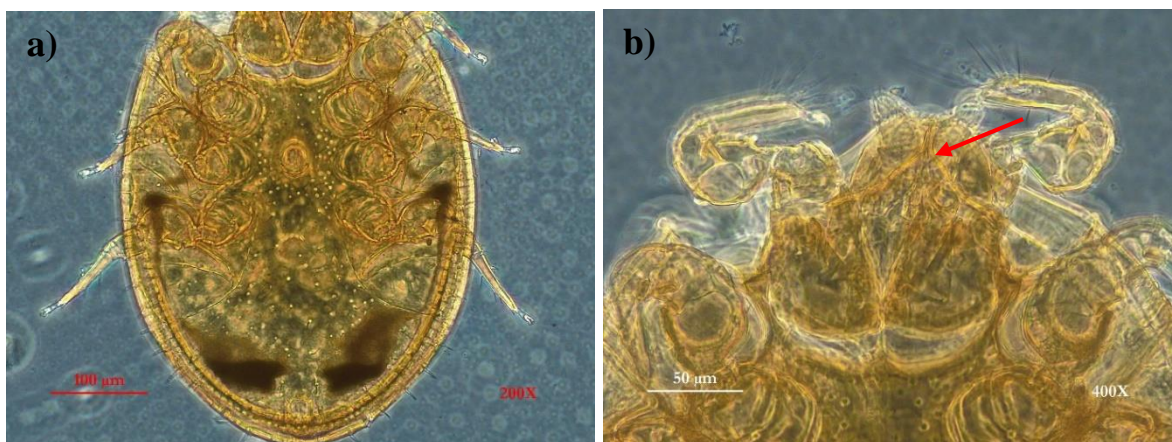


Figura 8. Trematuridae a) placa ventrigenital, b) escabelo. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Familia Macrochelidae Vitzthum, 1930

Diagnosis: Escudo dorsal ornamentado con líneas e incisiones, con 27-31 pares de sedas. Tritosterno bien desarrollado. Placa esternal con 3 pares de sedas, que a menudo se extiende a ambos lados de la placa genital. Placas metasternales presentes. Peritremas laterales bien desarrollados uniéndose posteriormente al estigma formando una “U” o anzuelo. Cornículos desarrollados y tectum tripartito o unipartito. Quelíceros con 1-2 procesos artrodiales en la base del dígito móvil en hembras y quelíceros con dígitos móviles con un espermatodáctilo corto y grueso o largo y curvo en machos. Hembras con un par de escleritos accesorios debajo

de los márgenes laterales de la placa epiginal. Tarso I sin uñas y tarsos II-IV con proceso ambulacral desarrollado, que incluye un empodio y un par de uñas. Genua y tibia I con 2 sedas anterolaterales. Ácaros de vida libre, presentes en el suelo, en la hojarasca, el estiércol de aves y mamíferos, algunos foréticos en insectos (Dwibadra, 2015; Lindquist *et al.*, 2009).

Género *Macrocheles* Latreille, 1829

Diagnosis: Escudo dorsal con la seda *jl* lisa. Tectum tripartito. Placa esternal con los ángulos posteriores laterales no extendidos hasta el nivel del ángulo posterior de la coxa III. Hembra con placa ventrianal con 3 pares de sedas pre-anales (*JVI*, *ZV2*, *ZV3*) y 3 sedas circumanales (un par de sedas paranales *pa* y una seda postanal *po*), macho con placa holoventral (Dindal, 1991).

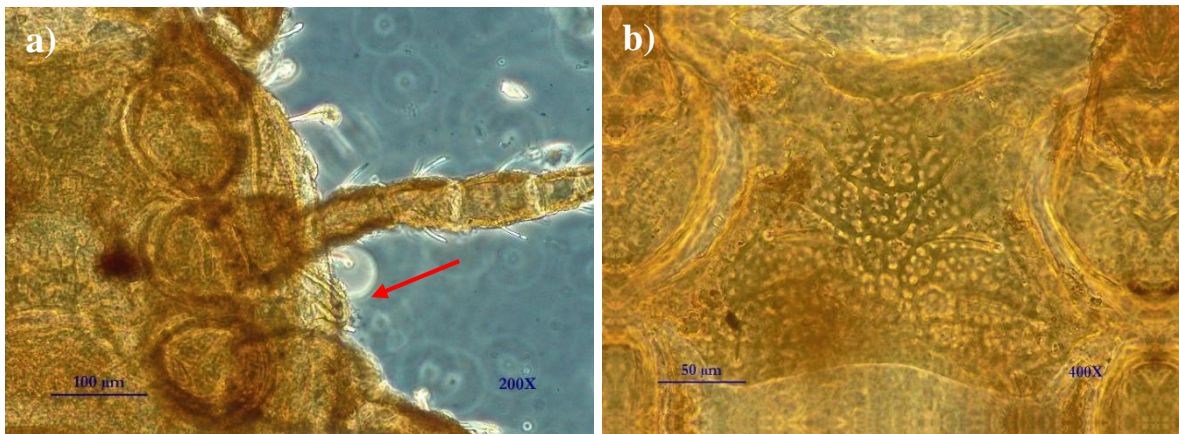


Figura 9. *Macrocheles* sp. a) peritrema b) placa esternal. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Familia *Parholaspididae* Evans, 1956

Diagnosis: Escudo dorsal entero, generalmente con 26-50 pares de sedas en forma de aguja o látigo, ocasionalmente espatuladas o pilosas. Placas ventrales fuertemente esclerotizadas y fusionadas en distinto grado, de acuerdo al género. Región presternal por lo general con 1-2 pares de placas o fragmentadas en 12 o más placas alargadas. Placa esternal libre con 3 pares de sedas. Peritremas bien desarrollados. Placa anal siempre fusionada con la placa ventral o

la placa genitoventral dando lugar a una placa genitoventrianal, con 3 o más pares de sedas pre-anales. Machos con escudo holovenral, muchas veces incluidas las placas peritrematales. Cornículos en forma de cuerno o lanza. Genua del palpo con 6 sedas, pinza tarsal del pedipalpo tridentada y a menudo, espatulada. Quelíceros dentados o aserrados. Dígito quelíceral fijo con *pilus dentilis* y espermatodáctilo bien desarrollado, dígito quelíceral móvil con un proceso artrodial moderadamente largo en la base. Ácaros depredadores de vida libre, presentes en el suelo, en materia orgánica en descomposición, musgo, huecos de árboles, y asociados a nidos de pequeños mamíferos, a cuevas y minas (Quintero-Gutiérrez y Halliday, 2021).

Familia **Blattisociidae** Garman, 1948

Diagnosis: Escudo dorsal entero o raramente reteniendo incisiones laterales deutonifales, sedas *j2* y *J5* siempre presentes. Escudo peritrematal ampliamente fusionado en la región posterior a la placa exopodal curvándose detrás de la coxa IV. Dígito quelíceral fijo con *pilus dentilis* setiforme y dígito quelíceral móvil sin proceso puntiagudo en la superficie ventral (mucro), a menudo tridentado. Fémur I con un máximo de 12 sedas y *v4* ausente, genua III con 9 o menos sedas y *pl2* usualmente ausente, genua IV con 9 o menos sedas y *pv* ausente; tibia IV generalmente con 10 sedas o rara vez sólo con 7 pero conservando *pv*. Hembras con sistema de acceso al esperma “tipo fitoseido”, que incluye una abertura o solenostoma entre la base de las patas III y IV hasta un cáliz bien esclerotizado y un conducto menor asociado. Depredadores del suelo presentes en la hojarasca y el musgo, en sustratos orgánicos en descomposición como el estiércol, en nidos de pequeños mamíferos y aves. Algunas especies subacuáticas (Lindquist *et al.*, 2009; Lindquist y Moraza, 2010).

Familia **Laelapidae** Berlese, 1892

Diagnosis: Escudo dorsal completo, con 39 pares de sedas. Peritremas bien desarrollados y alargados que se extienden más allá de la coxa I. Escudos peritrematales generalmente estrechos que se liberan posteriormente. Placa genital en forma de lengua o de matraz, con 1 par de sedas (rara vez con 2 - 4 o más pares). Placa anal pequeña, a menudo con forma

inversamente triangular o de pera y con 3 sedas. Quelíceros dentados o edentados, dígito queliceral fijo presente. Dígito queliceral móvil sin excrecencias, bidentado en hembras y unidentado en machos. Tibia I generalmente con 2 sedas ventrales, incluida *av2*; genua IV generalmente con 2 sedas posterolaterales, incluyendo *pl2*. Sedas metasternales libres. Cornículos en forma de cuerno. Patas usualmente con sedas en forma de espolón en las coxas. Formas de vida libre y parásitos facultativos u obligados de artrópodos, aves y mamíferos (Casanueva, 1993; Evans y Till, 1979; Lindquist *et al.*, 2009).

Género *Laelaps* Koch, 1836

Diagnosis: Fémur II sin espolón. Placa genitoventral con más de un par de sedas (Allred y Beck, 1966). Placa anal libre. Genua III con 9 sedas, genua IV con 10 sedas (*pl2* presente) (Evans y Till, 1979).

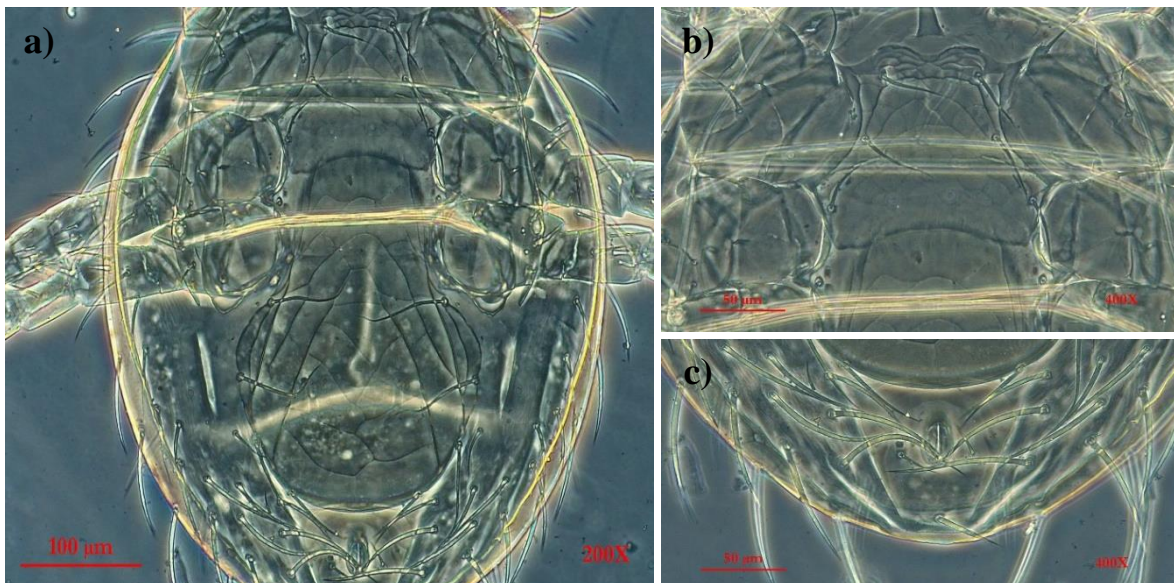


Figura 10. *Laelaps* sp. a) placa epiginial, b) placa esternal, c) placa anal. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Orden Trombidiformes

Suborden Prostigmata

Familia **Caeculidae** Berlese, 1883

Diagnosis: Ácaros perceptibles a simple vista, con 8 escudos dorsales fuertemente esclerotizados. Dos pares de sedas botridiales. Patas I con sedas anterolaterales espinosas que les permiten camuflarse en sustratos rocosos o arenosos en ambientes áridos. Depredadores de emboscada de pequeños artrópodos, incluidos colémbolos, psocópteros y ácaros de cuerpo blando (Krantz y Walter, 2009).

Familia **Microtrombidiidae** Thor, 1935

Diagnosis: Ojos dobles presentes, colocados sobre placas oculares. En vista dorso-medial, tibia del palpo con grandes sedas espinosas adyacentes a la uña, y posteriormente con largas y delgadas sedas espinosas agrupadas en filas. Detrás de la uña del palpo se encuentra una uña accesoria; seda modificada como espina, más pequeña que la uña, pero de mayor tamaño y grosor que el resto de las sedas de la tibia palpal. Idiosoma densamente cubierto por sedas modificadas de diversas formas y tamaños. Propodosoma con cresta metópica, la cual posee 2 sedas filiformes sensoriales. Adultos con 3 pares de ventosas genitales. Ausencia de placa en la región posterior del dorso. Tarso I usualmente hinchado. Adultos y ninfas de vida libre, larvas heteromorfas que parasitan artrópodos (Gabrys, 1999; Walter *et al.*, 2009).

Familia **Trombellidae** Thor, 1935

Diagnosis: Dos ojos dispuestos sobre placas oculares. Propodosoma carente de cresta metópica o con una cresta rudimentaria. Un par de sedas sensoriales o tricobotrias. Idiosoma no entallado entre las patas II y III, puede presentar grandes placas dispuestas en columnas sobre la superficie superior del idiosoma. Deutoninfas y adultos habitando la hojarasca, larvas parasitas de lepidópteros, ortópteros y dípteros (Southcott, 1987; Walter *et al.*, 2009).

Familia *Cheyletidae* Leach, 1815

Diagnosis: Dorso cubierto por 1 o más placas. Gnatosoma robusto exhibiendo un complejo palpal pulgar-uña. Quelíceros fusionados. Tarso palpal con sedas en forma de peine y sedas en forma de hoz, así como un pequeño solenidio. Peritremas segmentados ubicados en el estilóforo. Pueden o no presentar un par de ojos anteriores en el dorso. Sedas dorsales muy variadas: simples, delgadas, lanceoladas, espatuladas, en forma de abanico o concha, como escamas o cuernos; su forma es comúnmente uniforme para cada especie, sin embargo, pueden ser heteromórficas. Presencia de uñas y/o empodios en la mayoría de las especies. Depredadores de vida libre, algunos asociados a insectos o parásitos de vertebrados (Gerson y Smiley, 1999; Walter *et al.*, 2009).

Género *Acaropsella* Volgin 1962

Diagnosis: Un par de ojos. Tarso palpal con 1 seda en forma de peine. Dorso con placa propodosomal y placa histeronotal. Presencia de empodio y uñas en todos los tarsos de las patas. Seda humeral similar a las sedas dorsales (Gerson y Smiley, 1999).

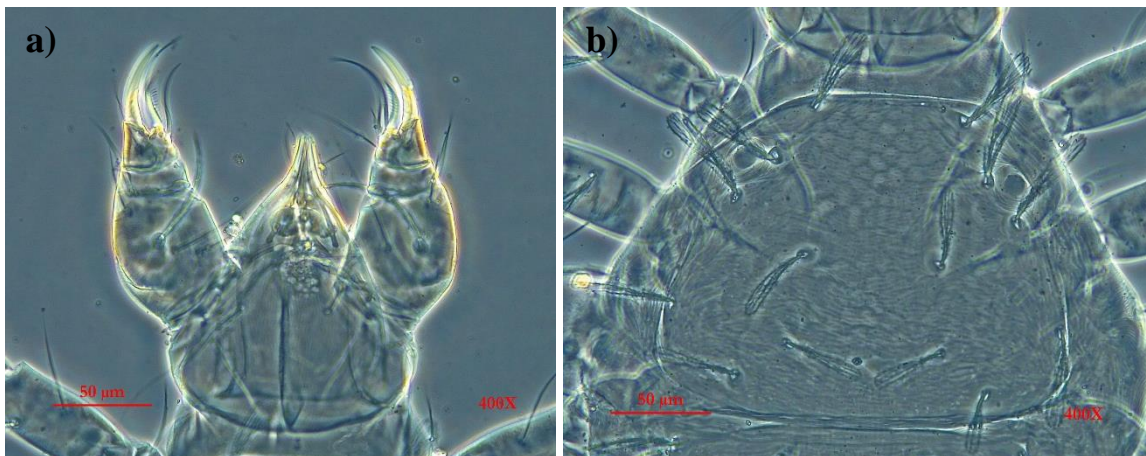


Figura 11. *Acaropsella* sp. a) gnatosoma, b) placa anterodorsal. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Género *Hemicheyletia* Volgin 1969

Diagnosis: Un par de ojos. Tarso del palpo con 2 sedas en forma de peine y pinza del palpo con más de 3 dientes. Dos placas dorsales: propodosomal e histeronotal. Peritremas en forma de U invertida. Sedas dorsales en forma de abanico (Gerson y Smiley, 1999).



Figura 12. *Hemicheyletia* sp. a) cuerpo dorsal, b) gnatosoma, c) tarso I, d) prodorso. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Familia **Pygmephoridae** Cross, 1965

Diagnosis: Prodorso generalmente con 3 pares de sedas (*v1*, *v2* y *sc2*) y un par de tricobotrios (*sc1*). Estigmas redondos u ovalados. Fémur I con 4 sedas, seda *d* usualmente engrosada y modificada en forma de gancho o espátula. Epímeros I con 3 pares de sedas, raramente con 1-2 pares. Tarso y tibia I pueden mostrarse fusionados (tibiotarso) pero también divididos.

Eupatidio p' (seda sensorial terminal) presente en el tarso I. Formas de vida libre o asociadas a hongos, insectos o a los nidos de aves y mamíferos. En algunos géneros se conocen hembras foréticas y no foréticas (Khaustov y Ermilov, 2011; Walter *et al.*, 2009).

Género *Pediculaster* Vitzthum 1931

Diagnosis: Patas I con 4 segmentos, tibia y tarso fusionados. Epímeros I con 3 pares de sedas. Estigmas generalmente ovalados o redondos, a veces con cámaras. Seda l'' del fémur I no modificada, seda d del fémur I en forma de espátula. Sedas v' del fémur y pl'' del tarso de la pata IV sin modificaciones (Khaustov, 2015).

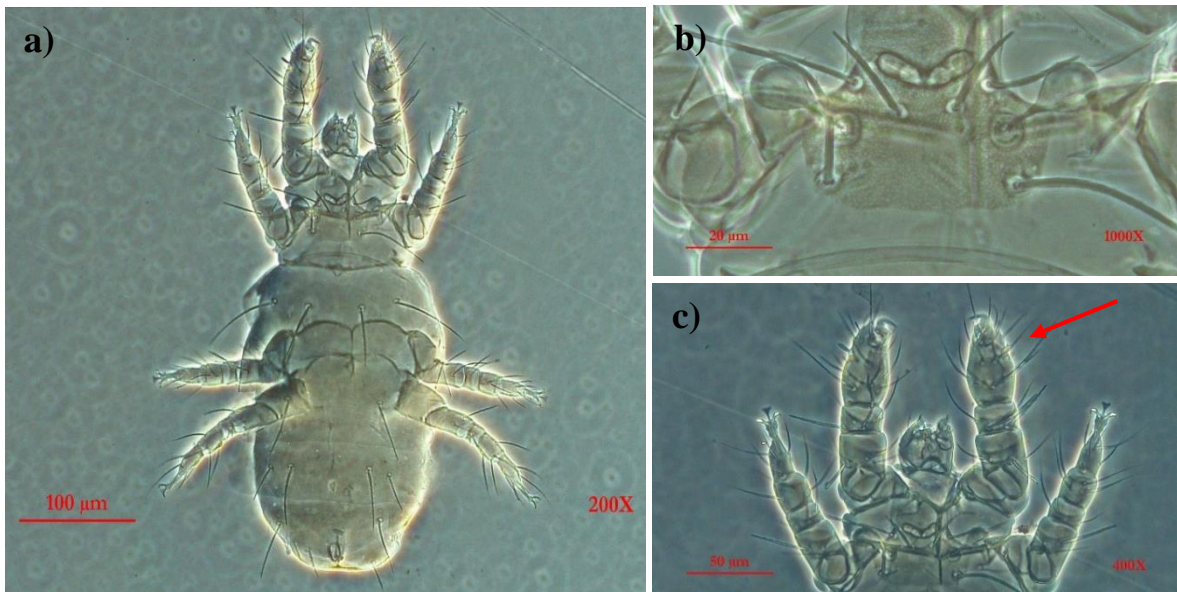


Figura 13. *Pediculaster* sp. a) cuerpo dorsal, b) prodorso, c) tarso I. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Familia *Scutacaridae* Oudemans, 1916

Diagnosis: Terguito C ampliamente expandido que cubre completamente el prodorso y con márgenes libres longitudinalmente estriados. Prodorso con 2 pares de sedas ($c1$ y $c2$). Fémur I con 3 sedas, a veces 2 con v'' ausente. Seda d usualmente modificada en forma de espina, de hoja, abanico o lanceolada. Epímeros I con 2 pares de sedas. Tarso y tibia I siempre

fusionados en tibiotarso. Eupatidio *p'* en tarso I ausente. Micófagos, habitantes típicos del suelo, la hojarasca, musgo, estiércol y se pueden encontrar asociados a nidos de insectos del suelo (hormigas, termitas, abejorros) y nidos de mamíferos pequeños (Khaustov, 2008; Khaustov y Ermilov, 2011).

Género *Scutacarus* Gros, 1845

Diagnosis: Seda *cI* situada en la parte central del terguito C. Patas IV con 4 segmentos; tibia y tarso fusionados. Tibiotarso IV con 7 o 6 sedas (seda *tc''* ausente). Tibiotarso I con o sin uña. Pináculo (elevación subapical en el tibiotarso I que lleva un grupo distinto de sedas sensoriales) presente con 1 seda (*tc''*) pero también puede no encontrarse desarrollado (Khaustov, 2008).

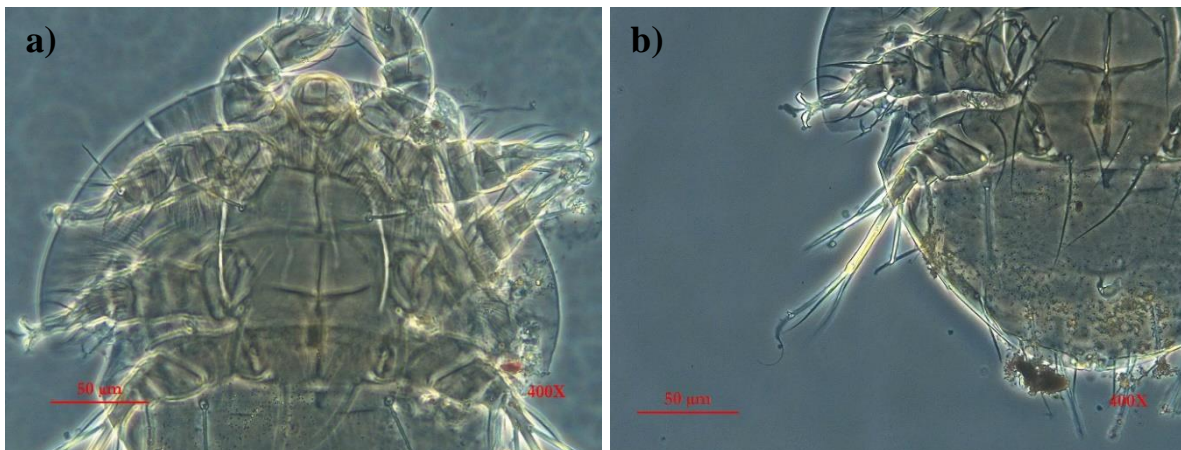


Figura 14. *Scutacarus* sp. a) terguito C, b) tarso IV. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Orden Sarcoptiformes

Suborden Oribatida

Familia *Lohmanniidae* Berlese, 1916

Diagnosis: Prodorso con 2 sedas exobotridiales, casi tan desarrolladas como el resto de las sedas prodorsales. Notogaster con 16 pares de sedas. Prodorso y notogaster usualmente cubiertos por una cutícula muy ornamentada con áreas porosas. Placa genital con 10 pares de

sedas, usualmente subdividida por un surco transversal. Una placa preanal presente entre las placas genital y anal, con frecuencia parcialmente cubierta. Placas anal y adanal discretas o separadas por una sutura o fusionadas. Dos pares de sedas anales y 4-5 pares adanales. Todas las patas monodáctilas, cortas y robustas, cuerpo cilíndrico. Importantes descomponedores de residuos de plantas superiores. Crean túneles en la madera dentro de los cuales se alimentan como endófagos, formando áreas de alimentación ocupadas por una mezcla de adultos e inmaduros (Balogh y Mahunka, 1983; Norton y Behan-Pelletier, 2009).

Género *Lohmannia* Michael, 1898

Diagnosis: Seda rostral simple y entera. Sin apéndices humerales. Placa genital con una sutura transversal. 4-5 pares de sedas adanales y 2 pares de sedas anales. Placa preanal ancha. Neotriquia pigidial ausente (Balogh, 1972).

Género *Torpacarus* Grandjean, 1950

Diagnosis: Seda rostral simple. Placa genital sin sutura transversal. Sin sedas anales y con 5 pares de sedas adanales (Balogh, 1972).

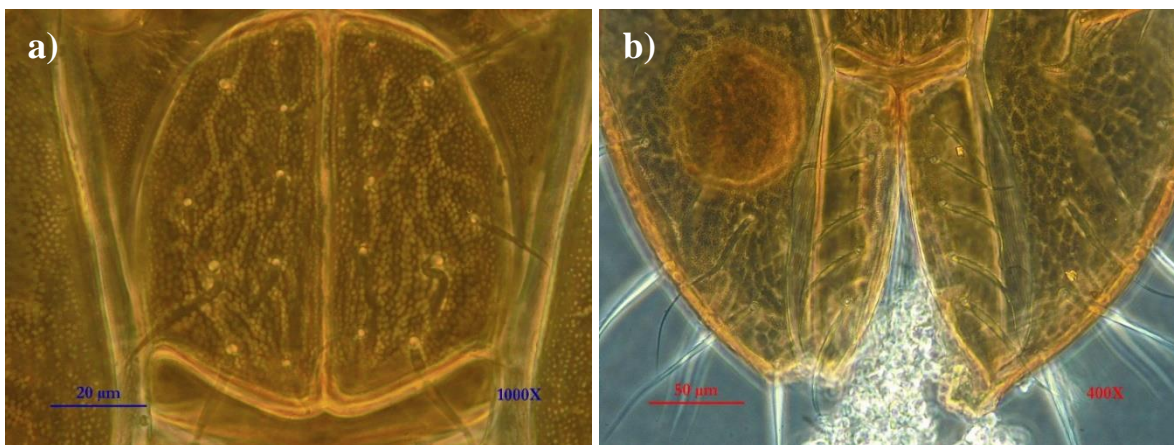


Figura 15. *Torpacarus* sp. a) placa genital b) placa anal. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Familia **Nothridae** Berlese, 1885

Diagnosis: Proterosoma largo y ancho, usualmente comprende un tercio del cuerpo completo. Notogaster con 16 pares de sedas. Neotriquia epimeral densamente visible. Botridio bien desarrollado, seda botridial setiforme o en ocasiones baciliforme, siempre larga, más que la seda *in*. Nueve pares de sedas genitales, un par posterior lejos del borde medio de la placa. Tegumento claramente foveolado. Ácaros fuertemente quitinizados y de colores oscuros, se alimentan generalmente de material vegetal en descomposición y hongos (Balogh y Mahunka, 1983; Norton y Behan-Pelletier, 2009).

Género **Nothrus** Koch, 1836

Diagnosis: Rostro con una incisión media. Notogaster con foveolas muy marcadas, sedas notogastrales robustas, baciliformes o filiformes. Nueve pares de sedas genitales; ocho de ellas dispuestas en una línea longitudinal y la novena ligeramente posicionada lateralmente. Tres pares de sedas adanales y 2 pares de sedas anales. Neotriquia epimeral variable. Patas mono o tridáctilas, rara vez con 2 uñas (Balogh y Mahunka, 1983).

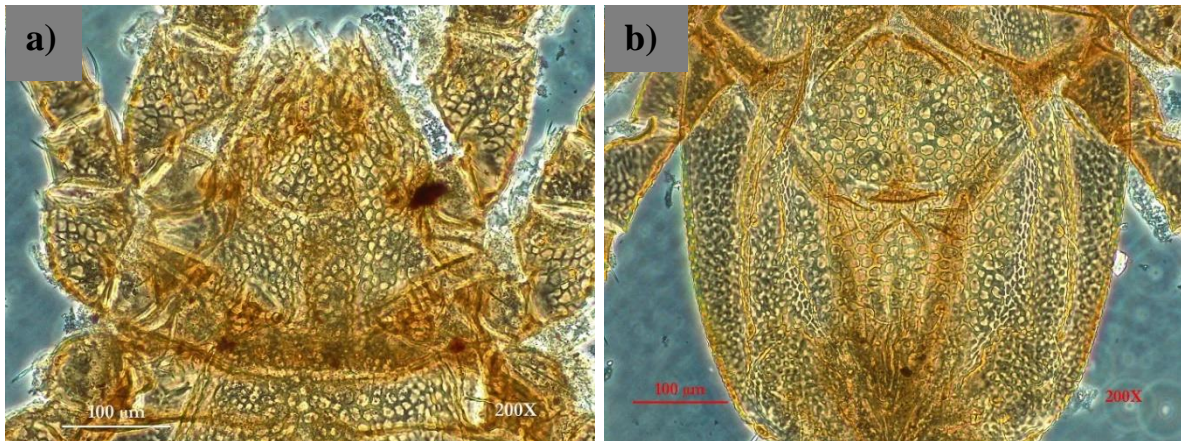


Figura 16. *Nothrus* sp. a) prodorso b) placas ventrales. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Familia **Haplozetidae** Grandjean, 1936

Diagnosis: Pteromorfos bien desarrollados, móviles, articulados pero nunca auriculados. Notogaster con un sistema octotáxico sin áreas porosas verdaderas pero con sáculos y poros presentes. Sedas notogastrales bien desarrolladas. Prodorso sin tutorium. Subcapítulo diártrico, quelíceros dentados. Principalmente micófagos, sin embargo, algunas especies de se alimentan de nematodos, de otros artrópodos o de materia vegetal (Balogh y Balogh, 1990; Norton y Behan-Pelletier, 2009).

Género **Protoribates** Berlese, 1908

Diagnosis: Notogaster con un sistema octotáxico compuesto por áreas porosas con distintivos bordes en forma de anillo, 10 pares de sedas notogastrales desde cortas a vestigiales. Pteromorfos subtriangulares, articulados, móviles y asociados con grandes inserciones musculares en el notogaster. Discidio como tectum y custodio en forma de aguja o cuchilla. Sensilos apicalmente lanceolados, setiformes o en forma de maza. Lamela estrecha y tutorium como cresta. Fórmula setal epimérica 3-1-3-3. Quelíceros robustos. Cinco pares de sedas genitales. Tarsos generalmente monodáctilos (Walter y Latonas, 2013).

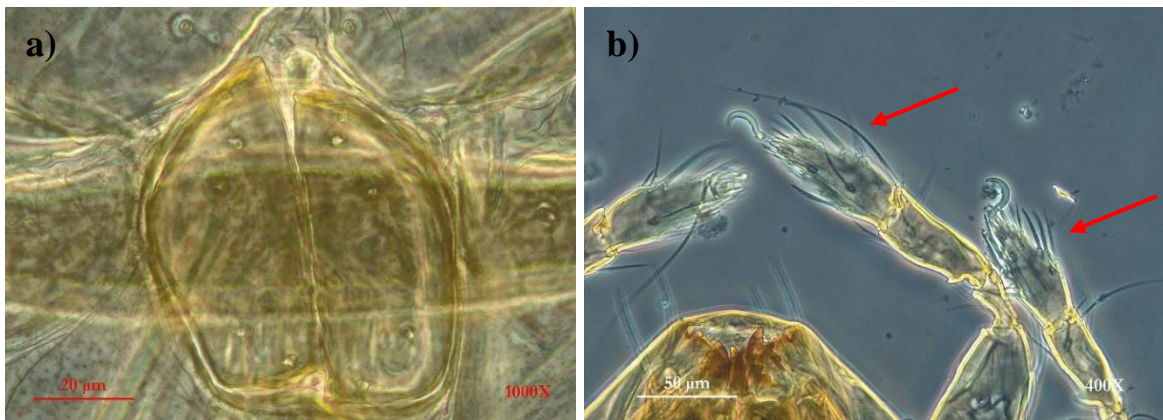


Figura 17. *Protoribates* sp. a) placa genital, b) tarsos I y II. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Familia **Oppiidae** Grandjean, 1954

Diagnosis: Prodorso sin placas tectopediales ni protuberancias lamelares. 6-13 pares de sedas notogastrales pero que en ocasiones pueden encontrarse ausentes. Cuatro pares de apodemas (el apodema IV a veces ausente) y 3 pares de epimeros (epimeros III y IV fusionados), epimeros III y IV más anchos que los epimeros II. Dos pares de sedas anales y 4-7 pares de sedas genitales. Ácaros micófagos; son habitantes comunes del musgo, el humus, la hojarasca y los pastos (Balogh y Balogh, 1990; Norton y Behan-Pelletier, 2009).

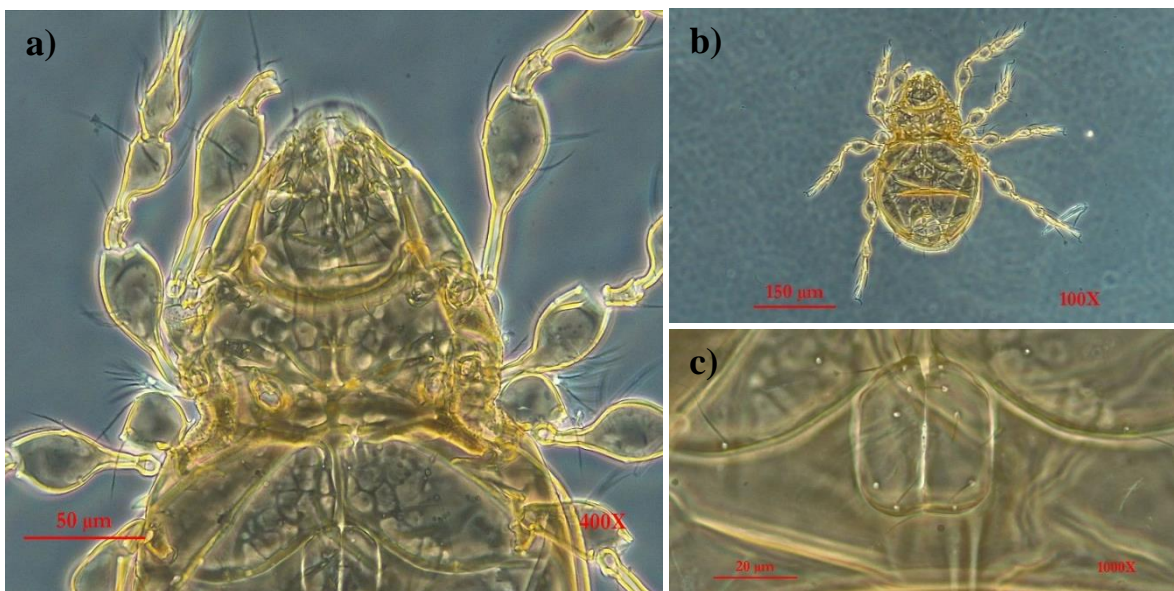


Figura 18. Oppiidae a) prosoma b) cuerpo ventral, c) placa genital. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Cohorte **Astigmatina**

Familia **Acaridae** Latreille, 1802

Diagnosis: Idiosoma con una cutícula lisa o rara vez con pequeñas protuberancias redondas. El propodosoma suele presentar un escudo dorsal, en ocasiones ausente. Surco sejugal visiblemente marcado, dividiendo el podosoma. Aberturas genitales masculina y femenina localizadas entre las coxas III y IV. Machos con un par de ventosas adanales y ventosas en el tarso IV. Dos pares de discos genitales. Deutoninfa hipopodial muy frecuente. Ácaros de color blanquecino, generalmente de vida libre pero también algunas especies asociadas a

insectos. Se encuentran ocupando una gran variedad de hábitats, especialmente presentes en materia orgánica en descomposición, en la corteza de árboles o en nidos. Formas saprófagas, graminívoras, micófagas y litófagas, frecuentemente infectan carnes conservadas, pieles, semillas, granos y harinas, causando importantes pérdidas económicas como plagas (OConnor, 2009b; Parker, 1982).

Género *Caloglyphus* Berlese, 1923

Diagnosis: Tarso I con una seda simple adyacente a $\omega 1$ y $\omega 2$. Sedas dorsales *sci*, *d1-d5* presentes. Seda *ve* presente pero no al mismo nivel de *vi*. Seda proximal interna (*sci*) más corta que la seda proximal externa (*sce*). Uñas simples en todos los tarsos. Idiosoma dorsal sin patrones cuticulares (Smiley, 1991).

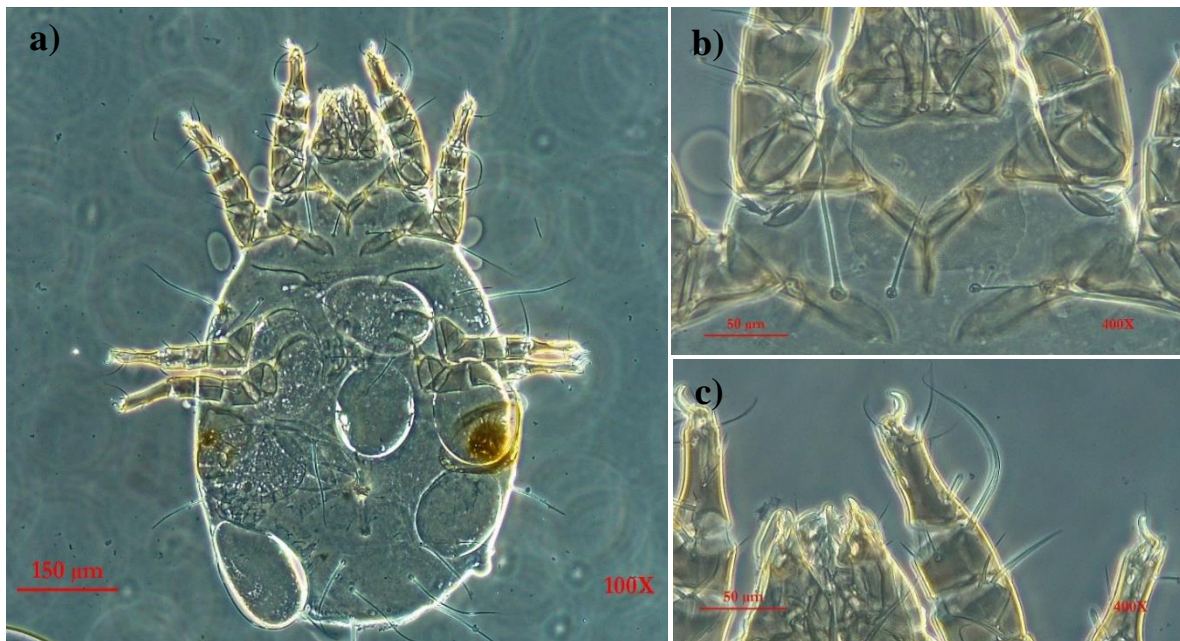


Figura 19. *Caloglyphus berlesei* Michael, hembra. a) cuerpo ventral, b) escudo prodorsal, c) tarso I. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

Género *Tyrophagus* Oudemans, 1924

Diagnosis: Seda *ve* 2 veces más corta que la seda *vi*, ambas situadas al mismo nivel. Genua I con solenidio $\sigma 1$ 3 veces más corto que $\sigma 2$. Fémur I del macho sin un proceso cónico ventral.

Seda proximal interna (*sci*) más larga que la seda proximal externa (*sce*). Todos los tarsos con uñas simples. Idiosoma dorsal sin patrones cuticulares (Smiley, 1991).

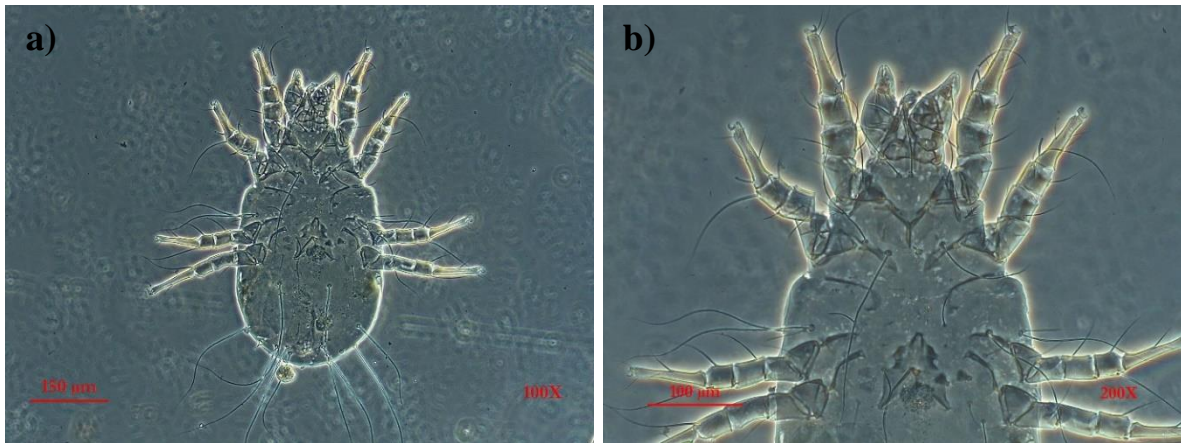


Figura 20. *Tyrophagus putrescentiae* Schrank, a) cuerpo ventral, b) podosoma y gnatosoma. Fotografías de L. Daniela Bonilla Hernández, 2021.

6. DISCUSIÓN

Del total de los ejemplares identificados, un 95.8% corresponde a las especies del cohorte Astigmatina, *Caloglyphus berlesei* y *Tyrophagus putrescentiae*, ambas reportadas sobre carroña y cadáveres humanos (OConnor, 2009a), otro 3.5% al suborden Prostigmata, un 0.4% al suborden Oribatida y un 0.3% al orden Mesostigmata.

La familia Acaridae agrupa una amplia diversidad de hábitos entre sus especies, incluyendo un gran número de especies sinantrópicas. Entre los ácaros sinantrópicos se encuentran los ácaros del polvo doméstico y de productos almacenados, que al igual que los ácaros del suelo, muchas de sus especies son saprófagas y se alimentan de microorganismos y tejidos en descomposición (Hubert, 2012; Hughes, 1976). Los géneros *Caloglyphus* sp. y *Tyrophagus* sp. son considerados ácaros de granos almacenados que proliferan en condiciones muy húmedas, lo que podría explicar los altos números en sus abundancias debido a que se alimentan de hongos microscópicos asociados a los cadáveres. Así mismo, estos ácaros estuvieron presentes durante todo el proceso de descomposición cadavérica, lo que podría explicarse por sus ya mencionados hábitos alimentarios, unas poblaciones muy abundantes

cuando los recursos se encuentran concentrados y ciclos de vida que dan lugar a nuevas generaciones en periodos de tiempo muy cortos (OConnor, 2009a).

En cuanto a las etapas de descomposición cadavérica, el periodo de reducción esquelética resultó ser el más favorable para la colonización de todos los grupos de ácaros identificados, sin embargo, durante el periodo de decaimiento se observó la aparición de todas las familias de ácaros mesostigmados y de la mayor parte de ácaros oribátidos, posiblemente por una mayor disponibilidad de alimento. Durante la etapa de decaimiento, los depredadores y necrófagos aumentan su diversidad y números, y para el final de este periodo los dípteros comienzan a abandonar los restos (Goff, 2009) momento en el que comienza a observarse un recambio en la fauna cadavérica. No obstante, no todos los ácaros aprovechan los recursos que proveen los cadáveres y para la etapa de post-decaimiento muchos de ellos se marchan o sólo permanecen los más resistentes (Saloña-Bordas y Perotti, 2015), como es el caso de las familias Nothridae y Oppiidae, oribátidos asociados a estudios sobre suelos contaminados (Behan-Pelletier, 1999) y aquí encontrados durante el invierno.

Con respecto al resto de los ácaros oribátidos, Feugang Youmessi y colaboradores (2008) reportan a la familia Haplozetidae durante el periodo de restos en cadáveres de ratas, lo que coincide con lo registrado en este trabajo. Se sabe que algunas especies del género *Protoribates* sp. se alimentan de hifas y esporas de hongos, y que *P. haughlandae* es un depredador oportunista y/o necrófago de pequeños artrópodos (Walter y Latonas, 2013), lo que podría justificar su presencia. Mientras que para la familia Lohmanniidae no se conocían reportes sobre fauna cadavérica (Braig y Perotti, 2009).

Los mesostigmados de las familias Blattisociidae, Parholaspididae y Trematuridae son habitantes del suelo, encontrados en capas superficiales como la hojarasca, hasta capas más profundas donde se alimentan de otros ácaros asociados a estructuras carnosas de plantas como bulbos y tubérculos (Krantz y Walter, 2009). Por su parte, las familias Macrochelidae y Laelapidae han sido reportadas durante todo el proceso de la descomposición cadavérica en experimentos con modelos animales pero también en estudios de caso e informes forenses con cadáveres humanos. En conjunto, todos estos ácaros mesostigmados presentes en el

periodo de decaimiento, son parte de una red alimentaria como depredadores de nematodos, insectos y otros ácaros. Los nematodos han sido reconocidos durante mucho tiempo como parte integral de la descomposición animal y humana, y al igual que las bacterias, las algas y los hongos, atraen a los ácaros depredadores para luego pasar a formar parte de la red alimentaria del cadáver (Braig y Perotti, 2009).

Respecto a los ácaros prostigmados, el género *Pediculaster* sp. se encontró en todas las etapas de descomposición, excepto en el decaimiento, por lo que se infiere que, con un mayor esfuerzo de muestreo, también debería encontrarse en esta etapa. La familia Pygmephoridae se reporta como la familia con más especies foréticas del suborden y particularmente el género *Pediculaster* sp. tiene como portadores foréticos a dípteros de las familias Muscidae, Sciaridae, Phoridae y coleópteros de la familia Scarabaeidae (Perotti y Braig, 2009), lo que probablemente contribuyó a su notable presencia durante el otoño. Los ácaros de las familias Pygmephoridae y Scutacaridae, ambos micófagos, han sido reportados en etapas indefinidas en cadáveres de gatos (Early y Goff, 1986) pero para este estudio su presencia se destaca durante el periodo de esqueletización, mientras que lo encontrado para la familia Cheyletidae coincide con lo reportado por Mégnin (1894) al identificarse igualmente hasta el final del proceso de descomposición. Por el contrario, las familias Caeculidae y Trombellidae, son habitantes del suelo que solo se encontraron en las etapas tempranas de la descomposición, por lo que se presume que es acarofauna que no es beneficiada por los recursos que proveen los cadáveres y son de los primeros ácaros en marcharse.

Las condiciones ambientales particulares de cada estación también influyen en las familias de ácaros que colonizan a los cadáveres. Durante el verano, el sitio 2 resultó ser el más diverso; durante el otoño, los sitios 1 y 3 fueron significativamente más diversos que el sitio 2; mientras que durante el invierno el sitio 1 fue el más diverso. Estos incrementos o disminuciones en el número de ácaros pueden explicarse por los cambios súbitos en la temperatura y la humedad, que se encuentran relacionados con el comportamiento escotófilo o heliófilo de los insectos portadores de los ácaros (Braig y Perotti, 2009).

Al concluir los cuatro experimentos se observó una clara sucesión en la fauna de los ácaros astigmatinos. Si bien *C. berlesei* fue la especie más abundante, esta condición sólo fue observada en los experimentos de verano y otoño, mientras que *T. putrescentiae* mantuvo su prevalencia durante todo el muestreo, incrementando sus números hacia el invierno y de manera contundente y dominante para la primavera. Al igual que otras especies de ácaros astigmatinos, *C. berlesei* desarrolla deutoninfas heteromórficas o hipopodios ante condiciones adversas, lo que le permite trasladarse a sitios con más y mejores recursos, a través de portadores foréticos. Factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa, la calidad y cantidad de alimentos, el hacinamiento y la acumulación de productos de desecho (excremento) estimulan la formación de hipopodios. Sin embargo, una vez que se alcanza esta etapa, la proporción de individuos que llega a adultos es muy baja, debido a que el hipopodio debe recibir un “estímulo de muda” antes de que se alcance cierto "período crítico" que ya no le permita sobrevivir, si esto no sucede o el estímulo no es lo suficientemente fuerte, los ácaros mueren (Timms *et al.*, 1982). Por el contrario, *T. putrescentiae* no posee una segunda etapa ninfal especializada, que es la etapa forética (Perotti, 2009), esta capacidad se perdió en muchas especies de ácaros astigmatinos al adaptarse a nichos parasitarios permanentes o bien al colonizar ambientes más estables y generalizados, como el suelo y la hojarasca (OConnor, 1982), por lo que estos ácaros se transportan caminando, a través de las corrientes de aire o sobre otros animales, como pequeños roedores, ayudados por sus largas sedas pegajosas (Perotti y Braig, 2009). Sumado a este rasgo, *T. putrescentiae* tiene una reducida mortalidad de los estados inmaduros y un amplio rango entre los límites de temperatura para su desarrollo (Sánchez-Ramos, 2000).

Para el invierno las poblaciones de muchos insectos descienden, incluidos los escarabajos, portadores foréticos de *C. berlesei* (OConnor, 2009a). Durante esta temporada, sólo se encontraron cinco deutoninfas heteromórficas de *C. berlesei* probablemente por los cambios sufridos en el suelo con la descomposición de los cadáveres y por la ausencia de coleópteros, asociada a los cambios ambientales ocurridos en el área a finales de 2018 y principios del 2019. Por otro lado, *T. putrescentiae* ha sido registrado en abundantes cantidades durante la etapa de reducción esquelética por encima de los 48 días (Goff, 1991) y hasta un año y medio después de la muerte (Braig y Perotti, 2009), lo cual coincide con los resultados obtenidos en

este estudio durante la primavera, al ser el único ácaro colectado en esta temporada y con altas abundancias en los tres sitios de estudio. Se presume que la ecología de *T. putrescentiae* y la ausencia del resto de grupos de ácaros, incluyendo a *C. berlesei*, favoreció su predominio para el final del estudio.

7. CONCLUSIONES

Este estudio aporta un listado de 16 familias y 12 géneros de ácaros asociados al proceso de descomposición cadavérica en cerdos *Sus scrofa domestica*, expuestos al aire libre a distintas condiciones de luz y sombra, y a las condiciones estacionales de un año, en la localidad de Concá en Arroyo Seco, Querétaro. Espacio caracterizado por áreas dedicadas a actividades productivas agropecuarias, áreas de vegetación nativa y un clima cálido subhúmedo.

El sitio 1, con condiciones de exposición directa al sol durante medio día (entre las 8 y las 14 hrs) y sombra de los árboles por la tarde (después de las 14 hrs) registró un menor número de ácaros que los sitios 2 y 3, sin embargo, fue el sitio más diverso. Las temporadas de verano, otoño e invierno fueron similarmente diversas, mientras que la primavera se encontró completamente dominada por los astigmatinos de la especie *T. putrescentiae*. Por otra parte, el periodo de restos o esqueletización, resultó ser la etapa más favorable para la colonización de todos los grupos de ácaros identificados.

Los géneros *Caloglyphus* sp. y *Tyrophagus* sp. destacaron por sus altas abundancias y por ser los únicos ácaros presentes durante todo el proceso de la descomposición cadavérica, además, manifestaron una clara sucesión en la fauna de ácaros astigmatinos. *Caloglyphus* sp. fue el género con mayor abundancia, sin embargo, esto sólo fue observado durante la primera mitad del experimento, es decir, en el verano y el otoño, en tanto que *Tyrophagus* sp. fue el único género encontrado durante todo el muestreo, incrementando sus abundancias para el invierno y la primavera.

8. REFERENCIAS

- Abo-Shnaf, R. I. A., El-Bishlawy, S. M. O., y Allam, S. F. M. (2018). Description of a new species of *Oodinychus* (Acari: Uropodina: Trematuridae) from Egypt, with a key to the species. *Acarologia*, 58(3), 546–556.
- Alberti, G. (2006). On some fundamental characteristics in acarine morphology. *Atti della Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, R.A. LIII-2005*, 315–360.
- Allred, D. M., y Beck, D. E. (1966). Mites of Utah mammals. *Science Bulletin*, 131.
- American Association of Swine Veterinarians y National Pork Board. (2008). On-Farm Euthanasia of Swine: Recommendations for the Producer.
- Anderson, G. S., Hobischak, N., Samborski, C., y Beattie, O. (2002). *Insect succession on carrion in the Edmonton, Alberta Region of Canada Technical Report TR-04-2002*. Canadian Police Research Centre.
- Anderson, J. F., y Magnarelli, L. A. (2008). Biology of Ticks. *Infectious Disease Clinics of North America*, 22(2), 195–215. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2007.12.006>
- Arnaldos, M. I., Romera, E., Presa, J. J., Luna, A., y García, M. D. (2004). Studies on seasonal arthropod succession on carrion in the southeastern Iberian Peninsula. *International Journal of Legal Medicine*, 118(4), 197–205. <https://doi.org/10.1007/s00414-004-0446-3>
- Avila, F. W., y Goff, M. L. (1998). Arthropod succession patterns onto burnt carrion in two contrasting habitats in the Hawaiian Islands. *Journal of Forensic Sciences*, 43(3), 581–586.
- Baker, A. S. (2009). Acari in archaeology. *Experimental and Applied Acarology*, 49(1), 147–160. <https://doi.org/10.1007/s10493-009-9271-1>
- Balogh, J. (1972). *The Oribatid Genera of the World*. Akademiai Kiado.
- Balogh, J., y Balogh, P. (1990). *The Soil Mites of the World: Vol. 3: Oribatid Mites of the Neotropical Region II* (Vol. 3). Elsevier.

- Balogh, J., y Mahunka, S. (1983). *The Soil Mites of the World: Vol. 1: Primitive Oribatids of the Palaearctic Region* (Vol. 1). Elsevier.
- Behan-Pelletier, V. M. (1999). Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: Role for bioindication. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1), 411–423.
[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00046-8)
- Benecke, M. (2001). A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International*, 120(1), 2–14. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(01\)00409-1](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(01)00409-1)
- Bergeret, M. (1855). Infanticide. Momification naturelle du cadavre. Découverte du cadavre d'un enfant nouveau-né dans une cheminée où il s'était momifié. Détermination de l'époque de la naissance par la présence de nymphes et de larves d'insectes dans le cadavre et par l'étude de leurs métamorphoses. *Annales d'hygiène publique et de médecine légale*, 4, 442–452.
- Blé-Carrasco, D., Ojeda, M., Morales-Malacara, J. B., Beltrán-Ontiveros, D., y Vergara-Pineda, S. (2017). Ácaros asociados a la descomposición de *Sus scrofa domestica* (Linnaeus) (Artiodactyla: Suidae) en la ciudad de Querétaro. *Entomología mexicana*, 4, 1–7.
- Bornemissza, G. F. (1957). An analysis of Arthropod succession in Carrion and the effect of its decomposition on the soil fauna. *Australian Journal of Zoology*, 5(1), 1–12.
<https://doi.org/10.1071/zo9570001>
- Braig, H. R., y Perotti, M. A. (2009). Carcasses and mites. *Experimental and Applied Acarology*, 49(1–2), 45–84. <https://doi.org/10.1007/s10493-009-9287-6>
- Brouardel, P. (1879). De la détermination de l'époque de la naissance et de la mort d'un nouveau-né, faite a l'aide de la présence des acares et des chenilles d'aglosses dans un cadavre momifié. *Annales d'hygiène publique et de médecine légale*, 2, 153–158.
- Byrd, J. H., y Tomberlin, J. K. (Eds.). (2020). *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations* (Third Edition). CRC Press.
- Casanueva, M. E. (1993). Phylogenetic studies of the free-living and arthropod associated Laelapidae (Acari: Mesostigmata). *Gayana. Zoología*, 57(1), 21–46.

- Catts, E. P., y Goff, M. L. (1992). Forensic Entomology in Criminal Investigations. *Annual Review of Entomology*, 37, 253–272.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.37.010192.001345>
- Chapman, R. F., y Sankey, J. H. P. (1955). The Larger Invertebrate Fauna of Three Rabbit Carcasses. *Journal of Animal Ecology*, 24(2), 395–402. <https://doi.org/10.2307/1720>
- Cornaby, B. W. (1974). Carrion Reduction by Animals in Contrasting Tropical Habitats. *Biotropica*, 6(1), 51–63. <https://doi.org/10.2307/2989697>
- Davis, J. B., y Goff, M. L. (2000). Decomposition patterns in terrestrial and intertidal habitats on Oahu Island and Coconut Island, Hawaii. *Journal of Forensic Sciences*, 45(4), 836–842.
- Dindal, D. L. (1991). *Soil Biology Guide*. Wiley-Interscience.
- Dunlop, J., Penney, D., McNeil, A., Bradley, R., Withers, P., y Preziosi, R. (2011). A minute fossil phoretic mite recovered by phase-contrast X-ray computed tomography. *Biology letters*, 8, 457–460. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0923>
- Dwibadra, D. (2015). *Taxonomy and Biogeography of the Family Macrochelidae (Acari: Mesostigmata) Associated with Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) in Kalimantan, Indonesia* [Hokkaido University].
<https://doi.org/10.14943/doctoral.k11830>
- Early, M., y Goff, M. L. (1986). Arthropod Succession Patterns in Exposed Carrion on the Island of O’Ahu, Hawaiian Islands, USA1. *Journal of Medical Entomology*, 23(5), 520–531. <https://doi.org/10.1093/jmedent/23.5.520>
- Evans, G. O., y Till, W. M. (1979). Mesostigmatic mites of Britain and Ireland (Chelicerata: Acari-Parasitiformes): An introduction to their external morphology and classification. *The Transactions of the Zoological Society of London*, 35(2), 139–262. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1979.tb00059.x>
- Frost, C. L., Braig, H. R., Amendt, J., y Perotti, M. A. (2009). Indoor Arthropods of Forensic Importance: Insects Associated with Indoor Decomposition and Mites as Indoor Markers. En J. Amendt, M. L. Goff, C. P. Campobasso, y M. Grassberger

- (Eds.), *Current Concepts in Forensic Entomology* (pp. 93–108). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9684-6_6
- Gabrys, G. (1999). The world genera of Microtrombidiidae (Acari, Actinedida, Trombidioidea). *Monographs of the Upper Silesian Museum*, 2, 1–361.
- Gerson, U., y Smiley, R. L. (1999). *Further observations on the Cheyletidae (Acari), with a key to the genera of the Cheyletinae and a list of all known species in the family*. 54.
- Goff, M. L. (1991). Use of Acari in establishing a postmortem interval in a homicide case on the island of Oahu, Hawaii. En F. Dusbabek y V. Bukva (Eds.), *Modern acarology: Proceedings of the VIII International Congress of Acarology* (Vol. 1, pp. 439–442). SPB Academic Publishing, The Hague.
<https://eurekamag.com/research/002/539/002539518.php>
- Goff, M. L. (1993). Estimation of Postmortem Interval Using Arthropod Development and Successional Patterns. *Forensic Science Review*, 5(2), 81–94.
- Goff, M. L. (2009). Early post-mortem changes and stages of decomposition in exposed cadavers. *Experimental and Applied Acarology*, 49(1–2), 21–36.
<https://doi.org/10.1007/s10493-009-9284-9>
- Hewadikaram, K. A., y Goff, M. L. (1991). Effect of carcass size on rate of decomposition and arthropod succession patterns. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 12(3), 235–240. <https://doi.org/10.1097/00000433-199109000-00013>
- Horenstein, M. B., Arnaldos, M. I., Rosso, B., y García, M. D. (2005). Estudio preliminar de la comunidad sarcosaprófaga en Córdoba (Argentina): Aplicación a la Entomología Forense. *Anales de Biología*, 27, 191–201.
- Hubert, J. (2012). The Pest Importance of Stored Product Mites (Acari: Acaridida). En *The Pest Importance of Stored Product Mites (Acari: Acaridida)*. Nova Science Publishers.
- Hughes, A. M. (1976). *The mites of stored food and houses* (Second Edition). Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Technical Bulletin.

- Hunter, P. E., y Rosario, R. M. T. (1988). Associations of Mesostigmata with Other Arthropods. *Annual Review of Entomology*, 33(1), 393–417.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.33.010188.002141>
- Khaustov, A. (2008). *Mites of the family Scutacaridae of Eastern Palaearctic*. Akadem-periodyka.
- Khaustov, A. A. (2015). A new genus and species of the family Pygmephoridae (Acari: Pygmephoroida) from southern Chile. *International Journal of Acarology*, 41(3), 202–209. <https://doi.org/10.1080/01647954.2015.1022217>
- Khaustov, A. A., y Ermilov, S. G. (2011). A new species of the genus Siteroptes (Acari, Heterostigmata, Pygmephoridae) from European Russia. *Entomological Review*, 91(4), 528–532. <https://doi.org/10.1134/S0013873811040178>
- Koehler, H. H. (1999). Predatory mites (Gamasina, Mesostigmata). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1), 395–410. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00045-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00045-6)
- Krantz, G. W. (2009a). Form and function. En G. W. Krantz y D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (Third Edition, pp. 5–53). Texas Tech University Press.
- Krantz, G. W. (2009b). Habits and Habitats. En G. W. Krantz y D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (Third Edition, pp. 64–82). Texas Tech University Press.
- Krantz, G. W. (2009c). Introduction. En G. W. Krantz y D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (Third Edition, pp. 1–2). Texas Tech University Press.
- Krantz, G. W., y Walter, D. E. (Eds.). (2009). *A manual of acarology* (Third Edition). Texas Tech University Press.
- Lindquist, E. E., Krantz, G. W., y Walter, D. E. (2009). Order Mesostigmata. En G. W. Krantz y D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (Third Edition, pp. 124–232). Texas Tech University Press.
- Lindquist, E. E., y Moraza, M. L. (2010). Revised diagnosis of the family Blattisociidae (Acari: Mesostigmata: Phytoseioidea), with a key to its genera and description of a

- new fungus- inhabiting genus from Costa Rica. *Zootaxa*, 2479(1), 1.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.2479.1.1>
- Lord, W. D., y Burger, J. F. (1984). Arthropods Associated with Herring Gull (*Larus argentatus*) and Great Black-backed Gull (*Larus marinus*) Carrion on Islands in the Gulf of Maine. *Environmental Entomology*, 13(5), 1261–1268.
<https://doi.org/10.1093/ee/13.5.1261>
- Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. (2014). *Caracterización y diagnóstico socioambiental de la microcuenca de Conca*. UAQ.
- Marcos-Garcia, M. A. (1988). Métodos generales de captura. En J. A. Barrientos (Ed.), *Bases para un curso práctico de Entomología* (pp. 11–24). Asociación española de Entomología.
- Mégnin, J.-P. (1894). *La Faune des Cadavres. Application de l'Entomologie à la Médecine Légale*. G. Masson and Gauthier-Villars et fils.
- Motter, M. G. (1898). A Contribution to the Study of the Fauna of the Grave. A Study of on Hundred and Fifty Disinterments, with Some Additional Experimental Observations. *Journal of the New York Entomological Society*, 6(4), 201–231.
- Norton, R. A. (1980). Observations on phoresy by oribatid mites (Acari: Oribatei). *International Journal of Acarology*, 6(2), 121–130.
<https://doi.org/10.1080/01647958008683206>
- Norton, R. A. (1998). Morphological evidence for the evolutionary origin of Astigmata (Acari: Acariformes). *Experimental & Applied Acarology*, 22(10), 559–594.
<https://doi.org/10.1023/A:1006135509248>
- Norton, R. A., y Behan-Pelletier, V. M. (2009). Suborder Oribatida. En G. W. Krantz & D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (Third Edition, pp. 430–564). Texas Tech University Press.
- Norton, R. A., Bonamo, P. M., Grierson, J. D., y Shear, W. A. (1988). Oribatid Mite Fossils from a Terrestrial Devonian Deposit near Gilboa, New York. *Journal of Paleontology*, 62(2), 259–269.

- OConnor, B. M. (1982). Evolutionary Ecology of Astigmatid Mites. *Annual Review of Entomology*, 27(1), 385–409. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.27.010182.002125>
- OConnor, B. M. (2009a). Astigmatid mites (Acari: Sarcoptiformes) of forensic interest. *Experimental and Applied Acarology*, 49(1–2), 125–133. <https://doi.org/10.1007/s10493-009-9270-2>
- OConnor, B. M. (2009b). Cohort Astigmatina. En G. W. Krantz y D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (Third Edition, pp. 565–658). Texas Tech University Press.
- Parker, S. P. (1982). *Synopsis and classification of living organisms*. McGraw-Hill.
- Pastrana-Ortiz, E. (2008). *Identificación y abundancia estacional de insectos y ácaros del suelo bajo carroña de puerco en un área semidesértica de Coahuila*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Payne, J. A. (1965). A Summer Carrion Study of the Baby Pig *Sus Scrofa* Linnaeus. *Ecology*, 46(5), 592–602. <https://doi.org/10.2307/1934999>
- Payne, J. A., y Crossley, J. (1966). *Animal species associated with pig carrion Oak Ridge*. Oak Ridge National Laboratory. <https://doi.org/10.2172/4558733>
- Payne, J. A., King, E. W., y Beinhart, G. (1968). Arthropod Succession and Decomposition of Buried Pigs. *Nature*, 219(5159), Article 5159. <https://doi.org/10.1038/2191180a0>
- Payne, J., y King, E. W. (1972). Insect succession and decomposition of pig carcasses in water. *The Journal of the Georgia Entomological Society*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Insect-succession-and-decomposition-of-pig-in-water-Payne-King/1c8c100aef1692258a36df234e7e0f28bfa54354>
- Pérez, T. M., Guzmán-Cornejo, C., Montiel-Parra, G., Paredes-León, R., y Rivas, G. (2014). Biodiversidad de ácaros en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 399–407. <https://doi.org/10.7550/rmb.36160>
- Perotti, M. A. (2009). Mégnin re-analysed: The case of the newborn baby girl, Paris, 1878. *Experimental and Applied Acarology*, 49(1), 37–44. <https://doi.org/10.1007/s10493-009-9279-6>

- Perotti, M. A., y Braig, H. R. (2009). Phoretic mites associated with animal and human decomposition. *Experimental and Applied Acarology*, 49(1–2), 85–124.
<https://doi.org/10.1007/s10493-009-9280-0>
- Perotti, M. A., Braig, H. R., y Goff, M. L. (2010). Phoretic Mites and Carcasses: Acari Transported by Organisms Associated with Animal and Human Decomposition. En J. Amendt, M. L. Goff, C. P. Campobasso, y M. Grassberger (Eds.), *Current Concepts in Forensic Entomology* (pp. 69–91). Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9684-6_5
- Perotti, M. A., Goff, M., Baker, A., Turner, B., y Braig, H. (2009). Forensic acarology: An introduction. *Experimental & applied acarology*, 49, 3–13.
<https://doi.org/10.1007/s10493-009-9285-8>
- Putman, R. J. (1978). The role of carrion-frequenting arthropods in the decay process. *Ecological Entomology*, 3(2), 133–139. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1978.tb00911.x>
- Quintero-Gutiérrez, E. J., y Halliday, B. (2021). Review of the mite family Parholaspididae Evans, 1956 (Acari: Mesostigmata). *Zootaxa*, 5005(4), Article 4.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.5005.4.1>
- Reed, H. B. (1958). A Study of Dog Carcass Communities in Tennessee, with Special Reference to the Insects. *The American Midland Naturalist*, 59(1), 213–245.
<https://doi.org/10.2307/2422385>
- Saloña-Bordas, M. I., y Perotti, M. A. (2014). First contribution of mites (Acari) to the forensic analysis of hanged corpses: A case study from Spain. *Forensic Science International*, 244, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.08.005>
- Saloña-Bordas, M. I., y Perotti, M. A. (2015). Acarología forense. *Ciencia Forense*, 12, 91–112.
- Sánchez-Ramos, I. I. (2000). *Biología y control de “Tyrophagus putrescentiae” (Schrank, 1781) (Astigmata: Acaridae), plaga de productos almacenados* [Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/3602/>

- Smiley, R. L. (1991). Mites (Acari). En J. R. Gorham (Ed.), *Insect and Mite Pests in Food: An Illustrated Key Volume 1* (pp. 3–44). U.S. Department of Agriculture.
- Southcott, R. V. (1987). The classification of the mite families Trombellidae and Johnstonianidae and related groups, with the description of a new larva (Acarina: Trombellidae Nothrotrombidium) from North America. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 3(1), 25–42.
- Stehr, F. W. (1987). *Immature Insects* (First Edition). Kendall Hunt Publishing.
- Szelecz, I., Lösch, S., Seppey, C. V. W., Lara, E., Singer, D., Sorge, F., Tschui, J., Perotti, M. A., y Mitchell, E. A. D. (2018). Comparative analysis of bones, mites, soil chemistry, nematodes and soil micro-eukaryotes from a suspected homicide to estimate the post-mortem interval. *Scientific Reports*, 8(1), 25.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-18179-z>
- Timms, S., Ferro, D. N., y Emberson, R. M. (1982). General biology and nomenclature of *Sancassania berlesei* (Michael). *Acarologia*, 22(4), Article 4.
- Valdéz-Perezgasga, Ma. T. (2009). *Estudio inicial de insectos sobre carroña de cerdo en una área semidesértica de Coahuila* [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/42701>
- Vásquez, M. M., y Palacios-Vargas, J. G. (1988). Algunas observaciones sobre el comportamiento de los ácaros Opilioacaridos (Acarida: Notostigmata). *Revista Nicaraguense de Entomología*, 6, 1–6.
- Vergara-Pineda, S., Zamora-Ledesma, S., Camacho-Macías, B., Orduña-Mayares, D. y Hernández-Camacho, N. (2018). Ácaros (Mesostigmata: Laelapidae) asociados a *Peromyscus* sp. de dos sitios en condiciones semiurbanas del municipio de Querétaro. *Entomología Mexicana*, 5, 71 – 75.
- Walker, T. J. (1957). Ecological Studies of the Arthropods Associated with Certain Decaying Materials in Four Habitats. *Ecology*, 38(2), 262–276.
<https://doi.org/10.2307/1931685>

- Walter, D. E. (2009). Order Holothyrida (Holothyrida, Tetrastigmata). En G. W. Krantz y D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (Third Edition, pp. 107–110). Texas Tech University Press.
- Walter, D. E., y Harvey, M. S. (2009). Order Opilioacarida. En G. W. Krantz y D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (Third Edition, pp. 104–106). Texas Tech University Press.
- Walter, D. E., y Latonas, S. (2013). A review of the ecology and distribution of Protoribates (Oribatida, Oripodoidea, Haplozetidae) in Alberta, Canada, with the description of a new species. *Zootaxa*, 3620, 483–499. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3620.3.9>
- Walter, D. E., Lindquist, E. E., Smith, I. M., Cook, D. R., y Krantz, G. W. (2009). Order Trombidiformes. En G. W. Krantz y D. E. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (Third Edition, pp. 233–420). Texas Tech University Press.
- Walter, D. E., y Proctor, H. C. (2013). *Mites: Ecology, Evolution & Behaviour* (Second Edition). Springer Dordrecht.
- Watson, E. J., y Carlton, C. E. (2003). Spring Succession of Necrophilous Insects on Wildlife Carcasses in Louisiana. *Journal of Medical Entomology*, 40(3), 338–347. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-40.3.338>
- Zamudio, S., Rzedowski, J., Carranza, E., y Calderón, G. (1992). *La vegetación del estado de Querétaro. Panorama preliminar*. Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío.
- Zhang, Z. Q. (2011). *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. Magnolia Press.
- Zhang, Z.-Q., y Sanderson, J. P. (1993). Association of Ereyne tritonymphs (Acari: Ereyneidae) with the fungus gnat, *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *International Journal of Acarology*, 19(2), 179–183. <https://doi.org/10.1080/01647959308683978>