

# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE FITOSANIDAD  
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA**

**SUCESIÓN DE ENTOMOFAUNA CADAVÉRICA UTILIZANDO  
COMO BIOMODELO CERDO BLANCO, *Sus scrofa* L.**

**LEONARDO ROBERTO FLORES PÉREZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

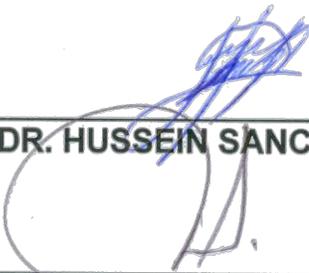
**2009**

La presente tesis titulada: **SUCESIÓN DE ENTOMOFAUNA CADAVERICA UTILIZANDO COMO BIOMODELO CERDO BLANCO, *Sus scrofa* L.** realizada por el alumno **LEONARDO ROBERTO FLORES PÉREZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

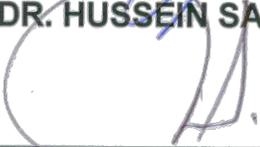
**DOCTOR EN CIENCIAS  
FITOSANIDAD  
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:

  
DR. HUSSEIN SANCHEZ ARROYO

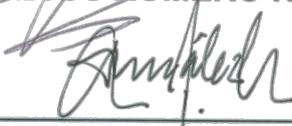
ASESOR:

  
DR. JUAN CIBRIAN TOVAR

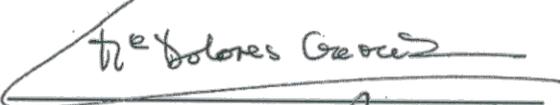
ASESOR:

  
DR. JÉSUS ROMERO NÁPOLES

ASESOR:

  
DR. FELIX GONZALEZ COSSIO

ASESOR:

  
DRA. MARIA DOLORES GARCÍA GARCÍA

ASESOR:

  
DR. SERGIO IBÁÑEZ BERNAL ✓

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, agosto de 2009

## SUCESIÓN DE ENTOMOFAUNA CADAVERICA UTILIZANDO COMO BIOMODELO

### CERDO BLANCO (*Sus scrofa* L.)

Leonardo Roberto Flores Pérez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2009.

La entomología forense es la disciplina que estudia a los insectos y otros artrópodos que acuden a los cadáveres y que aportan información útil en investigaciones policiales y judiciales, siendo la contribución más importante la estimación del intervalo *postmortem*, el cual se basa en la tasa de desarrollo de determinada especie de insecto (sobre todo díptero) y en los patrones de sucesión de insectos sarcosaprófagos en un cuerpo en descomposición. Al existir objeciones éticas y morales al uso de cadáveres humanos como modelos de estudios para el conocimiento de dichos insectos, se hace inevitable el empleo de animales que permitan determinar la composición de insectos; siendo el cerdo doméstico, el animal que presenta más semejanzas en el proceso de putrefacción con respecto a lo que sucede en humanos. Con el objetivo de estudiar los mencionados patrones de sucesión en distintas épocas del año y su relación con los procesos de descomposición cadavérica, de agosto a octubre de 2005 y de enero a noviembre de 2006, se expuso a la intemperie el cadáver de dos cerdos, uno en cada periodo. Se reconocieron cinco estados de descomposición (fresco, hinchado, descomposición activa, descomposición avanzada y restos secos) cuya duración en días fue mayor en el segundo cadáver. Se colectaron 8,922 ejemplares (entre larvas y adultos), distribuidos en 4 órdenes, 14 familias, 33 géneros y 22 especies. Mediante un análisis multivariado de correspondencias (Chi-cuadrada  $P < 0.0001$ ,  $\alpha = 0.05$ ) se establecieron las relaciones que guardan las especies sarcosaprófagas con los estados de descomposición; con base en esa información se construyeron matrices de ocurrencia en donde se encontró que los dípteros *Lucilia eximia*, *Calliphora latifrons*, *Chrysomya rufifacies*, *Cochliomyia macellaria*, *Hydrotea hougui*, *Ophyra aenescens*, *Piophilha casei* y *Fannia canicularis* pueden ser utilizados como indicadores en casos forenses, al igual que los coleópteros *Dermestes maculatus*, *Tanatophilus truncatus*, *Omosita* sp., *Trox* sp., *Hister californicus*, *Saprinus lugenes*, *Geonysaprinus* sp., *Xerosaprinus* sp. y el Himenóptero *Labidus coecus*. En el presente trabajo, se resalta la importancia de *L. eximia*, ya que esta especie tuvo un papel determinante en la descomposición cadavérica en el primer sujeto experimental, ya que fue la primera en arribar y la que se mantuvo durante los periodos de descomposición fresco, hinchado y avanzada en un numero considerable respecto a las demás especies. Este trabajo resulta ser el primer reporte de un estudio de sucesión de entomofauna cadavérica en el Estado de México usando como biomodelo *Sus scrofa*, lo que pretende fomentar los trabajos relacionados con la entomología forense y su uso en la procuración de justicia en la entidad.

**PALABRAS-CLAVE.** Entomología forense, intervalo *postmortem*, sucesión de insectos, dípteros, coleópteros.

# SUCCESSION OF NECROPHAGOUS INSECTS USING THE DOMESTIC PIG (*Sus scrofa* L.) AS A BIOMODEL

Leonardo Roberto Flores Perez, Ph.D.

Colegio de Postgraduados, 2009

Forensic entomology is the discipline that studies insects and other arthropods which converge on corpses, and supply useful information in police and judicial investigations. The most important information supplied is an estimation of the *postmortem* interval, which is based on the development rate of a determined insect species (especially dipterous insects), and on the succession patterns of sarcosaprophagous insects in a decomposing body. There being ethical and moral objections to the use of human corpses as study models to know the behavior of the mentioned insects, the need rises to find an animal on which to study that will allow to determine insect composition. The domestic pig is the best suited for this purpose since it shows the greatest likeness in the decomposing process to the human body. In order to study the mentioned succession patterns during different times of the year and their relationship with the processes of corpse decomposition, the carcasses of two domestic pigs were left in the open air, one from August to October, 2005, and the other from January to November, 2006. Five stages of decomposition were established (fresh, bloated, active decomposition, advanced decomposition, and dry remains) whose duration in days was longer in the second carcass. We collected 8,922 animals (larvae and adults), made up of 4 orders, 14 families, 33 genera, and 22 species. Through a multivariate correspondence analysis (Chi-square  $P < 0.0001$ ,  $\alpha = 0.05$ ) the relationships between the sarcosaprophagous species and the stages of decomposition were established. Based on this information, occurrence matrixes were built where the dipterous *Lucilia eximia*, *Calliphora latifrons*, *Chrysomya rufifacies*, *Cochliomyia macellaria*, *Hydroteia hougui*, *Ophyra aenescens*, *Piophilina casei*, and *Fannia canicularis* were found to be useful as indicators in forensic cases, as well as the coleopterans *Dermestes maculatus*, *Tanatophilus truncatus*, *Omosita* sp., *Trox* sp., *Hister californicus*, *Saprinus lugenes*, *Geonysaprinus* sp., *Xerosaprinus* sp., and the hymenoptera *Labidus coecus*. The importance of *L. eximia* is highlighted in this work since this species played a determining role in the decomposition of the carcass of the first experimental subject. It was the first one to arrive at the carcass, and the one which remained during the fresh, bloated, and advanced stages of decomposition in a considerable number with regard to the other species. This work is the first of its kind to report a study of the succession of sarcosaprophagous fauna in the State of Mexico using *Sus scrofa* as a biomodel, and it aims to encourage other works related with forensic entomology and its use for legal purposes in the state.

**KEY-WORDS:** Forensic entomology, *postmortem* interval, insect succession, coleopterans

## La mosca portuguesa

Cuando, puestas las manos en lo alto del pupitre, he lanzado sobre lo que allí veía la mirada que debía ser de cansancio lleno de mundos muertos, la primera cosa que he visto ha sido un moscardón (¡aquel vago zumbido que no era de la oficina!) posado encima del tintero. Lo he contemplado desde el fondo del abismo, anónimo y despierto. Tenía tonos verdes de azul oscuro y tenía un lustre repulsivo que no era feo. ¡Una vida! ¿Quién sabe para que fuerzas superiores, dioses o demonios de la verdad a cuya sombra erramos, no será sino la mosca lustrosa que se para en un momento entre ellos? ¿Observación fácil? ¿Observación ya hecha? ¿Filosofía sin pensamiento? Tal vez, pero yo pensé: sentí. Fue carnalmente, directamente, con un horror profundo como hice la comparación risible. *Fui mosca cuando me comparé con la mosca. Me sentí mosca cuando supuse que me lo sentí. Y me sentí un alma a la mosca, me dormí mosca, me sentí rematadamente mosca. Y el horror mayor es que al mismo tiempo me sentí yo.* Sin querer, alcé los ojos al techo, no fuese a caer sobre mí una regla superior, para aplastarme lo mismo que yo podría aplastar a aquella mosca. Afortunadamente cuando baje los ojos, la mosca, sin que se oyese un ruido, había desaparecido. La oficina involuntaria se había quedado otra vez sin filosofía.

*Del libro "la letra e", de Augusto Monterroso.*

## **AGRADECIMIENTOS**

AL Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado el financiamiento para llevar a cabo mis estudios de posgrado.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) del Estado de México por el otorgamiento de la beca tesis de posgrado hacía el final de mi trabajo de tesis.

Al Colegio de Postgraduados por la formación académica a través del Posgrado en Fitosanidad.

Al Dr. Hussein Sánchez Arroyo, por haberme aceptado como su pupilo a pesar de que comenzábamos de cero este trabajo, y sobre todo por el apoyo sin ningún tipo de restricción para incursionar en el mundo de la entomología forense; cursos, talleres, congresos y demás eventos que olieran a entomología forense. Gracias Doc.

Al Dr. Juan Cibrian Tovar por el espacio proporcionado en el laboratorio de ecología química y por haber permitido que el laboratorio se inundara de gusanos, moscas y malos olores.

Al Dr. Jesús Romero Nápoles por sus siempre sabios consejos en los momentos de mayor histeria y por la identificación de coleópteros.

Al Dr. Félix González Cossio por la facilidad que tiene para enseñar estadística multivariada, porque a pesar de que no poseo el gen para las cuestiones matemáticas y estadísticas, logré entender el significado de los análisis multivariados.

Al Dr. Sergio Ibáñez Bernal por su tiempo en el Instituto Nacional de Ecología (INECOL) y por aquellas sabias palabras que me dijo la primera vez que hablé con el del proyecto: “no sabes en lo que te estas metiendo”, y si, no sabía, pero lo volvería a hacer.

A la Dra. María Dolores García García de la Universidad de Murcia en España, por la ayuda brindada durante todo el proyecto de investigación; sus observaciones, alientos y regaños enriquecieron sustancialmente el presente trabajo. Vaya pues, un enorme abrazo de agradecimiento a la bella España, porque a pesar de la distancia hay un gran aprecio y un enorme respeto.

Al Dr. Néstor Bautista porque siempre me ha considerado miembro honorario del área de entomología agrícola y porque sigue pensando que soy un caso especial para un análisis Freudiano.

A Gloria Calyecac (Dra. H. pa los cuates) por su amistad, y porque en su momento, ha estado conmigo en las buenas en las malas y en las peores.

A Verónica Romero, meu bombom, por su amistad y su siempre amable disposición en el ámbito laboral, y claro por aquellas noches... en las que salíamos en bola a sacudir el esqueleto en el Furia, que tiempos aquéllos.

A Cindy Espinoza (Cindilukis) y Juliana Osorio (josorio) por su amistad y apoyo incondicional en las labores cotidianas en el laboratorio y en la colecta de material entomológico de mis cerditos; a Cindy por ser mi pareja de baile aquel 15 de septiembre y a July por esa sonrisa eterna e imborrable.

A mis amigos, miembros del tres veces heroico laboratorio de ecología química, Sir. Julio, Carlos Acatitla y el Doc Cristóbal, los quisiera como a hermanos, pero la verdad no tengo hermanos tan feos.

Al personal administrativo del IFIT que también se le estima y se le aprecia, sobre todo a Gude y Clau, por su ayuda y disposición en todo momento.

Y a todos aquellos que por alguna extraña razón se me ha olvidado mencionar; no es falta de cariño, es falta de complejo B.

## DEDICATORIA

A mi hijo Roberto Carlos, por su amor, su paciencia, su fortaleza, su enorme nobleza y por el tiempo robado durante la realización del presente trabajo. ¡Axé Molengo!

*Quando dejas tus zapatos  
pegaditos a los míos, no sé bien,  
no entiendo bien si estoy  
construyéndote un futuro  
o curándome un pasado  
pero sé que este cuento no acabó,  
no terminó...*

A mis padres Víctor Flores y Rufina Pérez, sus raíces, mi cimiento.

A mis hermanos, Jesús, Francisca, Pedro, Blas, Benjamin y Lilia, pero muy en especial a mi hermana Eva, quien por azares del destino, se ha convertido en una verdadera madre para Roberto Carlos.

Y claro está, a un servidor, Leonardo Roberto Flores Pérez.

*Patéticos seres humanos,  
vanos de vida,  
pertenece a los gusanos condecorar heridas.*

## CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	5
<b>CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
1.1 Definición de entomología forense.....	8
1.2 Historia de la entomología forense.....	9
1.3 Procesos y fases de descomposición cadavérica.....	10
1.3.1 Descomposición cadavérica.....	11
1.3.1.1 Fenómenos cadavéricos o abióticos.....	11
1.3.1.2 Fenómenos de transformación, signos reductivos.....	13
1.3.2. Estados de descomposición empleados por la entomología forense.....	15
1.3.3 Estados de descomposición e insectos asociados.....	16
1.4 Insectos de importancia forense.....	17
1.4.1. Categorías de insectos asociados a cadáveres.....	17
1.4.2 Órdenes de importancia forense.....	18
1.4.3 Especies de importancia forense.....	19
1.5 Factores a considerar en el cálculo del intervalo <i>postmortem</i> .....	20
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	24
<b>CAPITULO II. SUCESIÓN DE INSECTOS SARCOSAPRÓFAGOS ASOCIADOS A LA DESCOMPOSICIÓN CADAVERIVA DE <i>Sus scrofa</i> EN DOS ESTACIONES DEL AÑO, EN TEXCOCO, México.</b>	
2.1 RESUMEN.....	31
2.2 ABSTRACT.....	32
2.3 INTRODUCCIÓN.....	33
2.4 MATERIAL y MÉTODOS.....	35
2.4.1 Zona de estudio.....	35
2.4.2 Establecimiento del experimento.....	35
2.4.3. Diseño de la jaula.....	36
2.4.4 Colecta de especímenes.....	37
2.4.5 Análisis estadístico.....	41
2.5 RESULTADOS Y ANALISIS.....	41
2.5.1 Entomofauna cadavérica.....	43
2.5.2 Estados de descomposición.....	43
2.5.3 Análisis de correspondencias.....	44
2.5.4 Sucesión de insectos y estados de descomposición.....	49
2.5.4.1 Fresco.....	49
2.5.4.2 Hinchado.....	51
2.5.4.3 Descomposición activa.....	54
2.5.4.4 Descomposición avanzada.....	55
2.5.4.5 Restos secos.....	58
2.6 LITERATURA CITADA.....	66

**CAPITULO III PAPEL DE LOS PRINCIPALES DíPTEROS NECRÓFAGOS EN LA DESCOMPOSICIÓN CADAVERICA DE *Sus Scrofa* EN TEXCOCO, MÉXICO.**

3.1 RESUMEN.....	73
3.2 ABSTRACT.....	74
3.3 INTRODUCCIÓN.....	75
2.4 MATERIAL y MÉTODOS.....	76
3.4.1 Zona de estudio.....	76
3.4.2 Establecimiento del experimento.....	77
3.4.3 Colecta de especímenes.....	78
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	80
3.6 LITERATURA CITADA.....	88
CONCLUSIONES FINALES.....	92

**INDICE DE FIGURAS**

**CAPITULO II**

Figura 1	Estructura metálica original diseñada para proteger al cerdo.....	36
Figura 2	Jaula adaptada para la protección del cuerpo de animales carroñeros y adaptada para la captura de insectos sarcosaprófagos.....	37
Figura 3	Colecta de entomofauna cadavérica.....	40
Figura 4	Promedios de temperatura y humedad relativa, registrados por la estación meteorológica de Montecillo de agosto a octubre de 2005....	42
Figura 5	Promedios de temperatura y humedad relativa, registrados por la estación meteorológica de Montecillo de enero a noviembre de 2006..	43
Figura 6	Gráficos del análisis de correspondencias de entre especies y estados de descomposición.....	47
Figura 7	Periodo de duración de los estados de descomposición cadavérica de cerdo ( <i>S. scrofa</i> ), expuesto de agosto a octubre de 2005 y de enero a noviembre de 2006.....	50
Figura 8	Estados de descomposición de <i>Sus scrofa</i> expuesto de agosto a octubre de 2005.....	56
Figura 9	Estados de descomposición de <i>Sus scrofa</i> expuesto de enero a noviembre de 2006.....	57
Figura 10	Actividad de insectos sarcosaprofagos en cadáver de <i>Sus scrofa</i> expuesto de agosto a octubre de 2005.....	59
Figura 11	Actividad de insectos sarcosaprofagos en cadáver de <i>Sus scrofa</i> expuesto de enero a noviembre de 2006.....	60

### CAPITULO III

Figura 1	Jaula diseñada para el estudio de sucesión de fauna cadavérica. En cuyo interior se colocó un cerdo de 12 kg de peso.....	77
Figura 2	Colecta, cría y preservación de ejemplares de <i>L. eximia</i> .....	79
Figura 3	Promedios de temperatura y humedad relativa, registrados por la estación meteorológica de Montecillo de agosto a octubre de 2005....	80
Figura 4	Fluctuación de individuos de <i>L. eximia</i> durante las distintas fases de descomposición de <i>S. scrofa</i> , expuesto en los meses de agosto a octubre de 2005. Texcoco, Estado de México.....	81
Figura 5	Fluctuación de larvas LIII de <i>L. eximia</i> , <i>C. rufifacies</i> y <i>C. macellaria</i> durante las distintas fases de descomposición de <i>S. scrofa</i> , expuesto en los meses de agosto a octubre de 2005. Texcoco, Estado de México.....	83
Figura 6.	Fluctuación de adultos de <i>L. eximia</i> , <i>C. rufifacies</i> y <i>C. macellaria</i> durante las distintas fases de descomposición de <i>S. scrofa</i> , expuesto en los meses de agosto a octubre de 2005. Texcoco, Estado de México.....	85

### INDICE DE CUADROS

#### CAPITULO II

Cuadro 1	Entomofauna sarcosaprófaga colectada durante los estudios de sucesión en <i>Sus scrofa</i> , en Texcoco, Estado de México.....	46
Cuadro 2	Especies asociadas a los distintos estados de descomposición de <i>Sus scrofa</i> , según análisis de correspondencias.....	48
Cuadro 3	Matriz de ocurrencia de insectos asociados a la descomposición cadavérica de <i>S. scrofa</i> en Texcoco, Estado de México, agosto – octubre de 2005.....	52
Cuadro 4	Matriz de ocurrencia de insectos asociados a la descomposición cadavérica de <i>S. scrofa</i> en Texcoco, Estado de México, enero – noviembre de 2006.....	53

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El uso de artrópodos, principalmente insectos, como prueba en investigaciones criminales data del siglo XII en China, pero es en los últimos 30 años que las evidencias entomológicas se ha venido usando de forma constante en el campo médico legal (Benecke 2001, Goff 2004, Schoenly *et al.* 2006). Hasta entonces, la principal aplicación de las pruebas entomológicas era la determinación de la data de la muerte o intervalo *postmortem* (IPM), en casos de cadáveres en avanzado estado de descomposición. Sin embargo, el estudio de la entomofauna cadavérica ha ampliado notablemente su campo de acción; actualmente, se reconoce que los insectos y otros artrópodos pueden aportar más información en el campo médico legal como el traslado de un cadáver tras la muerte, características del lugar de los hechos en un crimen, abuso de niños y ancianos, además de constituir muestras alternativas para los análisis toxicológicos, así como fuente para el análisis de DNA humano (Lord *et al.* 1998).

Es usual que los insectos estén entre los primeros y más importantes invertebrados que colonizan un cadáver tanto animal como humano. (Catts & Goff 1992, Amendt *et al.* 2000, Carvalho *et al.* 2004). De esta forma, la entomología médico criminal utiliza la información que provee determinado insecto o grupo de insectos para el cálculo del IPM; si la muerte es reciente el dato a considerar es el grado de desarrollo de las especies colonizadoras del cadáver (Goff 1993, Wells & Lamotte 2001); pero si el cuerpo es encontrado en estado avanzado de putrefacción, el método más común es el análisis de los patrones de sucesión de la entomofauna sarcosaprófaga, dado que los insectos siguen una secuencia de arribo predecible a un cadáver (Payne 1965). Estos métodos deben estar basados en información obtenida de estudios previos con modelos animales semejantes en lo que respecta a los procesos de descomposición (Schoenly *et al.* 1996, Schoenly *et al.* 2006). Cualquiera que fuese el método para calcular el IPM, se requiere del conocimiento del ciclo de vida de las especies en cuestión, de su relación con los restos y de los restos con el hábitat en que ha sido descubierto (Goff *et al.* 2004).

Aunque la descomposición de un cadáver representa un micro ecosistema dinámico que atrae a determinado grupo taxonómico según el estado en descomposición, el

patrón de arribo es de cierta forma predecible (Rodríguez & Bass 1983, Anderson 2001, Magaña 2001). Los primeros en colonizar un cadáver son generalmente los dípteros de la familia Calliphoridae y Sarcophagidae (Watson & Carlton 2003), seguidos por moscas de las familias Muscidae, Fannidae, Piophilidae, Phoridae entre otras (Schoenly *et al.* 2006). Posteriormente arriban al cuerpo, depredadores de larvas como coleópteros de la familia Silphidae, Staphylinidae e Histeridae, a la vez que llegan necrófagos como los de la familia Dermestidae que colonizan al cadáver en los últimos estados de descomposición (Rodríguez & Bass 1983, Watson and Carlton 2003).

Las especies presentes en un cadáver, en cualquier hábitat, serán tanto especies de amplia distribución geográfica como especies exclusivas de ese hábitat, pudiendo serlo de un área geográfica o de un hábitat particular dentro de una misma zona geográfica (Goff *et al.* 2004). Ya se mencionó que el cálculo del intervalo *postmortem* se puede realizar teniendo en cuenta que ciertas especies se asocian con estados concretos de descomposición, sin embargo, al estudiar dichas especies, suelen aparecer individuos poco conocidos o poco conspicuos por lo que en ocasiones se desestima su valor potencial. Tratar el conjunto de la fauna, en la práctica, no es fácil, porque es muy variable según la estación de año, la latitud, y muchos otros factores. Incluso en una misma localidad, la fauna puede cambiar completamente de un año a otro por causa de reforestación, deforestación, urbanización, entre otros motivos. Las especies cosmopolitas, por otro lado, pueden presentar preferencia por unos hábitats y eludir otros, a pesar de su distribución universal. Por ello, resulta fundamental contar con una base de datos lo más amplia posible que se refiera al ámbito biogeográfico concreto en que se desarrolle un caso forense (García *et al.* 2004).

En México, son pocos los estudios que se ha realizado sobre entomofauna cadavérica, es a partir de 2004 que se empiezan a publicar trabajos en los congresos de entomología, ejemplo de ellos son los trabajos de Martínez *et al.* (2007), Vázquez *et al.* (2007), Villamil *et al.* (2007), Flores *et al.* (2008), Nava *et al.* (2008), pero no es hasta 2006 que la evidencia entomológica se empieza a tomar en cuenta como prueba legal en juicios, sobre todo en la capital de la república Mexicana. Por lo anterior, el estudio de la comunidad sarcosaprófaga tiene relevancia, tanto en el aspecto de su estructura como en la sucesión de especies a lo largo del proceso de descomposición de un

cadáver. Esto, que constituye objeto de estudio de la entomología forense; resulta una especialidad poco desarrollada en México y que, sin embargo, puede aportar pruebas cruciales en la resolución de investigaciones criminales.

Con base en lo anterior, y bajo el postulado de que aun cuando los factores ambientales (temperatura y humedad relativa) pueden modificar los fenómenos cadavéricos, con la sucesión y la composición de la entomofauna cadavérica, se pueden construir gráficas de sucesión para que sirvan como base en el cálculo del IPM, por lo que en el presente trabajo se desarrollaron los siguientes objetivos:

- Estudiar la sucesión estacional de la entomofauna cadavérica y su aplicación al cálculo del intervalo *postmortem*, utilizando como biomodelo cerdo blanco (*Sus scrofa* L.) en el estado de México.
- Comparar la sucesión de la entomofauna cadavérica y su relación con los procesos de descomposición, en cerdos expuestos en diferentes estaciones del año.
- Con base en un análisis estadístico multivariado (análisis de correspondencias) y la construcción de matrices de ocurrencia de las especies de insectos colectados durante los estudios de sucesión, determinar qué especies pueden ser utilizadas como indicadoras en el estudio del intervalo *postmortem*.

Para poder plantear una metodología similar a otros estudios de entomofauna cadavérica, y debido a la escasa investigación en México sobre entomología forense, se requirió de hacer una búsqueda bibliográfica al respecto (Capítulo I), la cual abarcaría aspectos teóricos tanto de entomología forense como de medicina legal, y que permite tener una visión amplia de lo que se ha hecho al respecto en otros países y de los procesos de descomposición cadavérica que acompañan a un cuerpo sin vida durante su putrefacción. Posteriormente, y con base en lo anterior, se desarrolló el protocolo de investigación en el cual se expuso a la intemperie el cadáver de dos cerdos, en intervalos de tiempo diferentes, para el estudio de insectos sarcosaprófagos y su relación con los procesos de descomposición cadavérica (Capítulo II), para lo cual se realizó un análisis estadístico multivariado de correspondencias. Con esta base, se construyeron matrices de ocurrencia en donde al final se proponen las especies que pueden ser utilizadas como indicadoras para el cálculo del IPM. Finalmente, en el

capítulo III, se resalta la importancia de los dípteros *Lucilia eximia*, *Chrysomya ruficaes* y *Cochliomyia macellaria*, ya que en términos de la entomología médico criminal, son de las especies de mayor ocurrencia en casos forenses (Gião *et al.* 2006, Nava *et al.* 2008, Nelder *et al.* 2009).

## LITERATURA CITADA

- Amendt, J., R. Krettek, C. Niess, R. Zehner & H. Bratzke. 2000.** Forensic Entomology in Germany. *Forensic Sci. Int.* 113:309-314.
- Anderson, G. S. 2001.** Insect succession on carrion and its relationship to determining time of death. *In: J. H. Byrd and J. L. Castner [eds.], Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations.* CRC Press, Boca Raton. pp. 143-175.
- Benecke, M. 2001.** A brief history of forensic entomology. *Forensic Sci. Int.* 120: 2-14.
- Catts, P. & M.L. Goff. 1992.** Forensic entomology in criminal investigations. *Annual Review of Entomology.* 37: 253-272.
- Carvalho, L., P. Thyssen, L. Goff & A. Linhares, 2004.** Observations on the succession patterns of necrophagous insects on a pig carcass in an urban area of southeastern Brazil. *Aggrawal's Internet Journal of Forensic Medicine and Toxicology.* 5: 33-39.
- Flores, P. L., H. Sánchez, S. Ibáñez & M. D. García. 2008.** Insectos sarcosaprófagos asociados a la descomposición cadavérica de *Sus scrofa* en Texcoco, México. *Entomología Mexicana.* 7:768-774.
- García, M. D., M.I Arnaldos, E. R. Lozano & A. Luna. 2004.** La entomología forense en España. *In: Calabuig, J.A. & Villanueva C. E. Medicina Legal y Toxicología.* Sexta edición. Barcelona, España. 1395 p.
- Gião, J. Z. & W. A. C. Godoy. 2006.** Seasonal population dynamics in *Lucilia eximia* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae). *Neotrop. Entomol.* 35: 753-756.
- Goff, M. L. 1993.** Estimation of *postmortem* interval using arthropod development and successional patterns. *Forensic Sci. Rev.* 5: 81-94.
- Goff M. L., García, M. D., M.I Arnaldos, E. R. Lozano & A. Luna 2004.** Entomología cadavérica: fundamentos y aplicación. Referencia a la entomología española. *In Calabuig, J.A. & Villanueva C. E. Medicina Legal y Toxicología.* Sexta edición. Barcelona, España. 253-262.
- Lord W.D., J. A. Dizinno, M. R. Wilson, B. Budowle, D. Taplin & T. Meinking. 1998.** Isolation, amplification, and sequencing of human mitochondrial DNA obtained

- from human crab louse, *Pthirus pubis* (L.). blood meals. J. Forensic. Sci. 43:1097-1100.
- Magaña, C. 2001.** La entomología forense y su aplicación a la medicina legal: Data de la muerte. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA). 28:49-57.
- Martínez, R. H., R. J. Escoto & F. Tafoya. 2007.** Sucesión de insectos necrófagos en *Sus scrofa*, durante el periodo estacional de primavera en la ciudad de Aguascalientes. Entomología Mexicana. 6: 880-884.
- Nava H. M., A. Basurto, H. Molina, J. Luy, S. Gutiérrez, N. Galindo. 2008.** Determinación de ADN humano en larvas de dípteros colectadas en distintos tejidos. Entomología Mexicana. 6: 798-802.
- Nelder P. M., J. W. McCreadie, & C. S. Major. 2009.** Blow Flies Visiting Decaying Alligators: Is Succession Synchronous or Asynchronous? Psyche, Article ID 575362, 7 pages. doi:10.1155/2009/575362
- Payne, J. 1965.** A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. Ecology 46: 592-602.
- Rodriguez, W.C. and W.M. Bass. 1983.** Insect activity and its relation to decay rates of human cadavers in East Tennessee. J. Forensic Sci. 28: 423-432.
- Schoenly, K. G., M. L. Goff, J. F. Wells & W. D. Lord. 1996.** Quantifying statistical uncertainty in sucesional-based entomological estimates of the postmortem interval in Death scene investigations: A simulation study. Ame Entomologist. 106-112.
- Schoenly, K. G., N. H. Haskell, D. K. Mills, C. Bieme-Ndi & K. Larsen & Y. Lee. 2006.** Using Pig Carcasses as Model Corpses. The American Biology Teacher. 68:402-409.
- Vázquez, S. R., V. D. Stephano, H. C. Marín, C. A. Rodríguez, M. J. Flores & Díaz, T. P. 2007.** Dípteros necrófagos del estado de Nuevo León, México. Entomología Mexicana. Vol. 6: 885-888.
- Villamil, R. E., N. Galindo. & J. L. Navarrete. 2007.** Caracterización de la coleopterofauna asociada a cadáveres de *Mus musculus* L. en la reserva ecológica del pedregal. Entomología Mexicana. Vol. 6: 885-888.

**Watson, E. J. & C. E. Carlton. 2003.** Spring succession of necrophagous insects on wildlife carcasses in Louisiana. *J. Med. Entomol.* 40: 338-347.

**Wells & Lamotte, 2001.** Estimating the postmortem interval. *In:* J. H. Byrd and J. L. Castner [eds.], *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. CRC Press, Boca Raton. pp. 263-285

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.1 Definición de entomología forense

Diversos autores como Catts & Goff (1992), Anderson (1997), Catts & Haskell (1997) y Hall (2001) coinciden en definir a la entomología forense como aquella que se encarga del estudio de los insectos asociados a cadáveres, disciplina en donde la ciencia de los artrópodos interactúa con el sistema de procuración de justicia. Ésta suele ser subdividida en tres áreas: urbana, la cual trata procedimientos legales que involucran insectos y animales relacionados que afectan las construcciones y el entorno del hombre; de productos almacenados, se refiere a los procedimientos que incluyen insectos que infestan comida, como cereales y otros productos de cocina; y médico legal o médico forense, conocida comúnmente como entomología médico criminal, debido a su énfasis en la utilidad de artrópodos como evidencia en la resolución de crímenes (Byrd & Castner 2001).

La entomología médico criminal también puede tratar casos de muerte súbita (como anafilaxis por picaduras de abeja) o causas de accidentes de tráfico (falta de atención al conducir durante esfuerzos frenéticos por evadir una avispa dentro de un automóvil por ejemplo). Otros campos en los que se ha involucrado la entomología forense son los relacionados con los análisis toxicológicos en larvas para la detección de psicotrópicos y en la tipificación de ADN en las mismas (Boeck *et al.* 2002, Zehner *et al.* 2004, Nava *et al.* 2008).

Cuando se encuentran restos humanos, las preguntas típicas planteadas a la entomología médico criminal involucran la estimación del tiempo de muerte ó intervalo *postmortem* (IPM) y con menos frecuencia, causa y lugar donde ocurrió la muerte. Históricamente, la determinación del IPM se ha estimado a través de la observación y medición de las condiciones en las que se encuentran los restos, parámetros como la temperatura, flacidez muscular, *rigor mortis*, livideces, tono de piel, entre otros (Smith 1986, Nelson 1999, Bass 2001, Byrd & Castner 2001). Cuando alguna de estas características no se puede medir, dadas las condiciones del cadáver, la evidencia entomológica juega un papel importante, tanto en estados tempranos de

descomposición como en estados tardíos (Nuorteva 1977, Smith 1986, Goff *et al.* 1988, Kashyap & Pillay 1989, Greenberg 1991).

De cualquier forma, la entomología forense está invariablemente unida con los campos científicos más amplios de entomología médica, antropología, taxonomía y patología forense (Campobasso & Introna 2001; Benecke 1998; Catts & Haskell 1997).

## **1.2 Historia de la entomología forense**

El primer documento que detalla un caso de entomología forense data del siglo trece en China, el libro titulado “Hsi yüan chi lu”, traducido al inglés por McKingth en 1981 con el nombre de The “Washing Away of Wrongs” o el “lavado de males” en español. EL autor, Sung Tz’u, describe un caso en el que un hombre fue asesinado por un asaltante utilizando una hoz, y para dar con el asesino, Sung Tz’u, que en ese entonces era el encargado de procurar justicia en la localidad, ordenó a todos los hombres que poseían una hoz, colocarlas en fila frente a él, en pocos instantes, en una de ellas se comenzaron a posar moscas, presumiblemente porque ésta contenía rastros de sangre producto del asesinato; el dueño de la hoz confesó el crimen a raíz de la evidencia entomológica (McKnight 1981).

La fascinación por estudiar y observar los efectos de los insectos en un cuerpo sin vida no ha sido privativa de biólogos, médicos y expertos legistas, ya que escultores, pintores y poetas han observado de cerca la descomposición de un cuerpo humano, señalando, en particular, los efectos que provoca la alimentación de las larvas de insectos. Obras de arte de la Edad Media describen con exactitud el patrón de reducción de masa corporal, en particular los principios de esqueletización del cráneo y la reducción de los órganos internos, con gran parte de la piel intacta (Benecke 2001).

En 1855, el Dr. Bergeret d’Arbois estudió la sucesión de insectos en un cadáver para calcular, aunque de forma incorrecta, el IPM; este es el primer caso documentado donde se describe dicho cálculo (Benecke 2001). A mediados de 1880, JP Mégnin, también en Francia, publicó “La Faune des Cadavres: Application de Entomologie a la Medicine Legale”. En este documento, Mégnin describe la secuencia de descomposición cadavérica y asocia los estados de descomposición con las distintas oleadas de insectos que arriban al cadáver (Haskell *et al.* 1997, Benecke 1998). Los

ocho estados de descomposición descritos por Mégnin fueron seguidos por Leclercq (1969) y Easton & Smith (1970). La ecología y el comportamiento general de las moscas de importancia forense fueron tratados extensamente por Greenberg (1973) y Putman (1983); la sucesión de fauna se estudió en varias regiones en cadáveres no humanos, desde lagartos hasta cerdos, generando información de la estructura de la comunidad, orden de colonización, estacionalidad y preferencias de oviposición de dípteros.

Este interés temprano en los insectos y en la descomposición cadavérica dio lugar a estudios sobre la sucesión de insectos en cadáveres humanos en Quebec, Canadá, en 1897 por Johnston Wyatt y Geoffrey Villeneuve (Anderson 2001, Benecke 2001). Al mismo tiempo, en los Estados Unidos, Murray Mottert, realizó un muestreo sistemático de la fauna de insectos de 150 cadáveres exhumados en Washington, DC (Haskell *et al.* 1997, Benecke 2001).

La entomología médico criminal entró en una fase de rápido crecimiento y desarrollo a partir de las reseñas de Leclercq (1978) y Nuorteva (1977), y se convirtió en una disciplina exacta referida a la teoría y práctica forenses. Los precursores han sabido integrar entomología y ciencia forense, y los criminólogos han rescatado muchos detalles hasta obtener conclusiones útiles y una visión holística del tema (Vásquez, 2000).

### **1.3 Procesos y fases de descomposición cadavérica**

La descomposición de un cuerpo se caracteriza por la destrucción de tejidos mediante procesos de autólisis y descomposición microbiana. Después de estos procesos suceden periodos con duración variable de degradación de materia orgánica. En el periodo de descomposición inicial, el cadáver luce fresco. Durante el periodo enfisematoso o de putrefacción, el cadáver se hincha por gases producidos durante la fermentación de sustancias orgánicas de los tejidos corporales. Durante el periodo de descomposición activa, la carne toma una consistencia cremosa. Con el periodo de putrefacción avanzada, el cadáver se seca externamente; y finalmente, en el periodo de reducción esquelética, lo que resta del cadáver queda seco (Magaña 2001; Moura *et al.* 1997; Méndes, 1996).

### **1.3.1 Descomposición cadavérica**

La sucesión de fauna cadavérica está vinculada a los cambios naturales que se originan en un organismo después de la muerte. En medicina forense, los procesos que ocurren en un cuerpo sin vida están divididos en fenómenos cadavéricos, o “fenómenos abióticos”, y fenómenos de transformación, que pueden ser destructores o conservadores (Campobasso & Introna, 2001; Vásquez, 2000; Calabuig & Villanueva 2004).

#### **1.3.1.1 Fenómenos cadavéricos o abióticos**

Son los cambios que ocurren en el cuerpo sin vida a partir del momento en que se extinguen los procesos bioquímicos vitales para después ser sometido a la acción de la influencia ambiental. Los cambios se dividen en enfriamiento (*algor mortis*), deshidratación, livideces (*livor mortis*) e hipostasis, rigidez (*rigor mortis*) y espasmo cadavérico (Campobasso & Introna, 2001; Vásquez 2000; Calabuig & Villanueva 2004).

**Rigidez cadavérica:** es el endurecimiento y retracción del sistema muscular; estado de dureza, de retracción y de tiesura que sobreviene en los músculos después de la muerte. Se debe a la degradación del ATP en ADP y AMP. La acidificación de los músculos, combinada a su deshidratación, hace aparecer la rigidez cadavérica, resultado del endurecimiento y contractura que afectan sucesivamente a todos los músculos, lisos o estriados, siguiendo una progresión descendente: primero los de la mandíbula inferior, después los de la nuca, los de la cara, tronco, miembros torácicos, para terminar en los miembros pélvicos.

La rigidez cadavérica se extiende también a la musculatura del corazón, píloro, vesículas seminales (eyaculación *post mortem*), el útero (expulsión del feto), de la vejiga, pupila (contracción), de los pelos (piel anserina). Los miembros superiores se disponen a semiflexión, frecuentemente aplicados sobre el tórax; los miembros inferiores en extensión, lo mismo que la cabeza; las mandíbulas se aprietan (Simonin 1980).

Se inicia después de la muerte, entre 2 a 4 horas, cuando el ATP disminuye a un 85 por ciento dentro de la sarcomera; es completa entre las 8 a 12 horas posteriores al fallecimiento, alcanzando su máxima intensidad a las 24 horas. Desaparece entre las 36 a 48 horas. Esto sucede en un clima templado. Hay factores que alteran este proceso como el frío, que lo acelera y lo prolonga; el calor acorta el inicio y disminuye el tiempo en que se presenta, también influyen: la causa de muerte, el desarrollo muscular, el cansancio antes de morir, hemorragias intensas (Calabuig & Villanueva 2004).

**Livideces cadavéricas:** es una mancha violácea que se presenta porque se deposita la sangre en las partes declives, dependiendo de la posición en la que se encuentra el cadáver; se debe a la falta de circulación, y por la acción que ejerce la gravedad sobre la sangre, ésta se dirige hacia las partes declives.

Las livideces se empiezan a manifestar como unas manchas pequeñas, de color violáceo, que poco a poco confluyen hasta observarse en toda la superficie que se encuentra en declive, a excepción de las zonas donde alguna parte del cuerpo está en contacto con alguna superficie. Este proceso se inicia entre las 2 a 4 horas después del fallecimiento, para las 8 a 12 horas ya se encuentran establecidas en toda la superficie, pero aún desaparecen a la presión; entre las 12 a 15 horas alcanzan su máxima intensidad y no desaparecen a la presión (livideces fijas). La fijación de las livideces está ligada a la coagulación de la sangre en los capilares, o bien a la coloración de los tejidos por la hemoglobina que sale de los glóbulos rojos y exudado con el suero (Simonin 1980).

Cuando el cadáver es movido antes de las primeras 12 horas, las primeras livideces desaparecen y se forman nuevas manchas; entre las 12 a 24 horas posteriores a la muerte, si se cambia de posición el cadáver, aparecen nuevas livideces, pero no desaparecen las anteriores; Si se mueve el cuerpo después de las 24 horas, no desaparecen las primeras livideces, ni se forman nuevas manchas. Los factores que pueden modificar la presencia de las livideces son: causa de muerte, hemorragias intensas, grado de desnutrición, edad (Vargas 1999).

**Enfriamiento cadavérico:** Este fenómeno ocurre de manera gradual, disminuyendo la temperatura de modo progresivo hasta que se iguala con la temperatura del medio

ambiente. La disminución progresiva se presenta porque la muerte celular no se presenta al mismo tiempo, sino que unas células mueren antes y otras después.

La curva de dispersión térmica menciona un primer periodo de tres a cuatro horas, donde disminuye medio grado celsius por hora; el segundo periodo se presenta entre las 6 a las 10 horas donde disminuye un grado celsius por hora; el tercer periodo disminuye de tres cuartos a medio grado celsius por hora hasta que se nivela con la temperatura del medio ambiente; el enfriamiento cadavérico está condicionado por varios factores como son: la causa de la muerte, la edad, el estado nutricional, el peso, y los factores ambientales (Calabuig & Villanueva 2004).

**Deshidratación cadavérica:** se debe a la pérdida de agua del cuerpo por evaporación, sus principales manifestaciones se observan en el ojo; con relación a este fenómeno, el Signo de Stenon Louis se manifiesta por hundimiento del globo ocular, pérdida de la transparencia de la córnea, que se torna opaca, formación de arrugas en la córnea, depósito de polvo en la conjuntiva lo que recibe el nombre de tela glerosa. Este conjunto de fenómenos se observa en el ojo abierto aproximadamente a los 45 minutos después del fallecimiento; en el ojo cerrado se observa a las 24 horas aproximadamente después de la muerte. Otro signo es el de Sommer, que se manifiesta como una mancha negra en la esclerótica, es de forma triangular, con la base dirigida hacia la comisura del ojo. Esta mancha negra se debe a la transparencia de la esclerótica que deja visible el pigmento de la coroides. La capa córnea se apergamina, se forma una placa amarillenta, seca, dura, espesa con consistencia de pergamino (Vargas 1999). Otra manifestación se presenta en las mucosas, sobre todo en los labios de los recién nacidos donde se observa una franja pardo rojiza o pardo negruzco (Calabuig & Villanueva 2004).

### **1.3.1.2 Fenómenos de transformación, signos reductivos.**

**Autolisis:** es la disolución de los tejidos producida por enzimas proteolíticas que se encuentran en los lisosomas, que al empezar la muerte celular, se liberan las enzimas al destruirse la membrana lisosómica.

**Putrefacción cadavérica:** es la descomposición de la materia orgánica del cadáver; es el proceso de fermentación pútrida producida por las bacterias que se encuentran en el intestino, y que después de la muerte se propagan por la sangre. Las bacterias responsables se desarrollan en la materia orgánica, produciendo enzimas que actúan selectivamente sobre proteínas, grasas y carbohidratos, dando lugar a modificaciones del cadáver que conducen a su destrucción (Calabuig & Villanueva 2004). La putrefacción se manifiesta, en climas templados, entre los 17°C a 24°C en cuatro periodos de la siguiente manera:

**Periodo cromático:** se aprecia una mancha verde abdominal de color verde, en la piel de la fosa ilíaca derecha, debido a que los clostridios y coliformes descomponen la hemoglobina en compuestos azufrados de color verde, que tiñen la piel. Este periodo se manifiesta entre las 24 a 36 horas del fallecimiento (Simonin 1980). En los fetos las bacterias penetran por los orificios naturales, principalmente por las vías respiratorias, por lo que la mancha verde se observa en cuello y parte superior de tórax. En cuerpos que presentan lesiones supuradas o neoplásicas, la mancha verde aparece alrededor de las lesiones (Calabuig & Villanueva 2004).

**Periodo enfisematoso:** Se presenta por la producción de gran cantidad de gases derivados del metabolismo propio de las bacterias, que abomban y deforman el cadáver. La infiltración gaseosa invade el tejido celular subcutáneo, se hincha la cabeza, los párpados se hacen prominentes, los genitales adquieren volúmenes importantes, el abdomen se distiende, la red venosa se hace muy aparente adquiriendo una coloración negruzca o verdusca de la piel. Este fenómeno se puede observar a las 48 horas, completándose en un término aproximado de siete días (Simonin 1980).

**Periodo colicuativo:** en esta etapa el tejido blando se licua, el cadáver adopta un aspecto acaramelado entre 2 a 4 semanas; los órganos se reblandecen y se licuan, durando entre 8 a 10 meses. La próstata y el útero son los órganos más resistentes a esta fase (Calabuig & Villanueva 2004).

**Periodo de reducción esquelética:** en término medio de 2 a 3 años pudiendo ser hasta 5 años, todas las partes blandas desaparecen a través de la licuefacción, los elementos más resistentes suelen ser los del tejido conectivo como cartílago, tendones,

ligamentos. Puede el esqueleto avanzar hasta la pulverización en un tiempo de 50 años, inhumado; si el cadáver se encuentra a la intemperie la pulverización puede presentarse en 5 años (Knight 1999).

### **1.3.2. Estados de descomposición empleados por la entomología forense**

Mégnin, en 1894, distinguió ocho oleadas de artrópodos que sucesivamente invadían el cadáver en un período de tres años. Bornemissza (1957), con cerdos pigmeos de Guinea muertos en Australia, realizó el trabajo más importante sobre la comunidad carroñera, en el cual reconoció cinco etapas de la descomposición cadavérica. Payne (1965), en su trabajo con cadáveres de cerdo en los Estados Unidos, reconoció seis etapas de descomposición: fresco, hinchado, activo, avanzado, seco y remanentes. Para cada etapa definió la comunidad de insectos asociados y analizó el porcentaje de abundancia de las especies atraídas para las distintas etapas. Rodríguez & Bass (1983), al utilizar los criterios propuestos por Reed (1958), definieron cuatro fases de descomposición: fresco, hinchado, descompuesto y seco. Lord & Burger (1984), al trabajar con cadáveres de focas en las costas de Nueva Inglaterra, reconocieron cinco etapas de descomposición. Anderson & VanLaerhoven (1996), en su trabajo con cerdos, reconocieron cinco fases: fresco, hinchado, descomposición activa, descomposición avanzada y restos secos. Moura *et al.* (1997) en su trabajo con ratas precisaron cinco etapas de descomposición: fresco, hinchado, descompuesto, seco y adipocira. Komar & Beattie (1998) siguieron las cinco fases propuestas por Anderson y VanLaerhoven (1996) en su estudio. Olaya (2001), al estudiar cánidos, identificó cuatro fases: fresco, hinchado, putrefacto y seco.

Como se puede apreciar, un rasgo común en la mayoría de los estudios, ha sido el intento de dividir procesos de descomposición en una serie de etapas discretas; sin embargo, la descomposición es un proceso continuo y en la naturaleza no se producen combinaciones discretas de parámetros físicos y asociaciones de artrópodos. El valor de esas etapas, como señalaron Schoenly & Reid (1987), es el de aportar puntos de referencia que permitan explicar alguno de los hechos asociados con la descomposición y sobre todo, poderlo exponer ante un tribunal o jurado.

Con independencia de la localidad, hay ciertos patrones que resultan comunes, si no a todos, sí a la mayoría de los estudios sobre descomposición cadavérica. Las faunas implicadas tienden a ser regionales, excepto las especies de amplia distribución de dípteros y coleópteros, pero las familias implicadas son bastante estables.

En la actualidad, con base en lo descrito por Early & Goff (1986), la ciencia forense reconoce y acepta cinco fases o estados de descomposición. Éstos corresponden al estado fresco o cromático, hinchado o enfisematoso, descomposición activa o colicuativa, descomposición avanzada y restos secos o esqueletización (Magaña 2001; Wolff *et al.*, 2001; Calabuig & Villanueva 2004). Este patrón generalizado puede ser aplicado fácilmente en la mayoría de los estudios de entomología forense y que se superponen bastante a las fases de la putrefacción descrita por los patólogos forenses.

### **1.3.3 Estados de descomposición e insectos asociados**

**Estado fresco.** Los primeros insectos en llegar son las moscas de la familia Calliphoridae y Sarcophagidae. Las hembras adultas inspeccionan el cadáver, se alimentan con frecuencia de él y, según las especies, depositan huevos o larvas alrededor de las aberturas naturales. Éstas serán, en principio, las asociadas con la cabeza (ojos, nariz, boca y orejas) y región anogenital (Goff *et al.* 2004).

**Estado hinchado.** En este estado, la temperatura interna se eleva por el efecto combinado de los procesos de descomposición bacteriana y la metabólica de las larvas de dípteros. Los califóridos son atraídos al cuerpo durante este estado. Según se va hinchando el cuerpo, los fluidos salen por las aberturas naturales y se precipitan al suelo. Estos fluidos, junto con otros productos derivados de la actividad metabólica de larvas de dípteros, provocan una alcalinización del suelo subyacente al cadáver, y la fauna edáfica normal desaparece (Goff *et al.* 2004)

**Descomposición activa.** En este estado, las larvas de dípteros son los insectos predominantes, y forman grandes masas alimentándose. Mientras que algunas formas depredadoras como los escarabajos, avispas y hormigas, estaban presentes en el estado hinchado, al final del estado de descomposición activa, se observan tanto necrófagos como depredadores en gran número. Hacia el final de este estado, la mayoría de los Calliphoridae y Sarcophagidae han completado su desarrollo y abandonan el cuerpo

para pupar; en esta etapa, los restos suelen sufrir una repentina pérdida de humedad. Las larvas de dípteros habrían eliminado la mayoría de los tejidos blandos del cuerpo al final de este estadio (Goff *et al.* 2004).

**Descomposición avanzada.** Conforme los restos se van reduciendo a piel, cartílago y hueso, los dípteros dejan de ser las especies predominantes. A lo largo de este estadio, diversos coleópteros resultan ser los más predominantes.

**Restos secos.** Este estado se alcanza cuando sólo quedan pelo y huesos. No aparecen insectos claramente asociados y se producen una vuelta gradual de la fauna edáfica normal en el suelo subyacente. No existe un momento final definido para esta fase, y las variaciones en la fauna edáfica pueden detectarse meses e incluso años después de la muerte, en función de las condiciones locales (Goff, 1993).

#### **1.4 Insectos de importancia forense**

Desde que Bergeret hizo la primera determinación del momento de la muerte de un individuo basándose en el desarrollo de larvas y pupas (Goff, 1993; Méndes, 1996), el análisis de la entomofauna como evidencia criminal ha adquirido cada vez mayor reconocimiento. Así, los insectos son los primeros organismos en llegar a un cuerpo en descomposición (Catts & Goff, 1992). Según Carvalho *et al.* (2004), esto ocurre en determinada secuencia, produciéndose una sucesión de especies. Siguiendo este patrón predecible, el cual varía con el lugar y la época del año, y teniendo en cuenta el tiempo de desarrollo y los estadios larvales de los insectos, se puede determinar con bastante precisión el IPM (Turchetto *et al.*, 2001) y la posible causa de muerte. El entomólogo que entiende estos patrones puede proveer al médico forense y a entidades judiciales información sumamente útil para dilucidar posibles casos criminales.

##### **1.4.1. Categorías de insectos asociados a cadáveres**

Los insectos presentes en un cadáver, en cualquier hábitat, serán tanto especies exclusivas de ese hábitat como especies de amplia distribución geográfica. Los elementos exclusivos pueden serlo, bien de un área geográfica o de un hábitat particular dentro de un área geográfica. Al estimar el intervalo *post mortem*, tanto uno como otros pueden aportar información esencial (Goff *et al.* 2004).

Entre los insectos que tienen relación directa con el cadáver, se reconocen habitualmente cuatro categorías (Goff 1993):

**Especies necrófagas.** Son los insectos que se alimentan del cuerpo. Incluyen muchos de los dípteros y coleópteros. Las especies de este grupo pueden ser las más significativas para estimar el intervalo *post mortem* en los primeros estadios de la descomposición.

**Especies parásitas y depredadoras de los necrófagos.** Según Smith (1986), éste es el segundo grupo más significativo de los insectos asociados a cadáveres, e incluye himenópteros (parásitos de larvas y puparios de dípteros), y coleópteros que son necrófagos en los primeros estados de su desarrollo, se vuelven depredadores en los últimos estadios de su desarrollo (Goodbrod & Goff, 1990).

**Especies omnívoras.** En esta categoría se incluyen insectos como las hormigas, avispas y algunos escarabajos, que se alimentan tanto del cadáver, como de los artrópodos asociados a él. Según Early & Goff (1986), cuando las poblaciones de estas especies son muy numerosas pueden provocar retraso en la tasa de descomposición del cuerpo, ya que disminuye la población de necrófagos.

**Especies accesorias.** Esta categoría incluye organismos que utilizan el cadáver como una extensión de su propio hábitat natural, como es el caso de los colémbolos, arañas, crustáceos, etc. También pueden incluirse aquí los ácaros de las familias Acaridae, Lardoglyphidae & Winterschmidtidae, que se alimentan de los hongos y mohos que crecen sobre el cadáver (Goff *et al.* 1988).

#### **1.4.2 Órdenes de importancia forense.**

**Diptera.** Este es uno de los órdenes más grandes de insectos. Muchos dípteros, están asociados a materia orgánica (animal o vegetal) en descomposición, otros son depredadores o parásitos de insectos. Los dípteros de las familias Calliphoridae, Muscidae y Sarcophagidae son los más comunes en la descomposición de un cadáver, tanto en etapa larval como en etapa adulta, siendo así las familias más útiles en la evidencia forense. Hay muchas otras familias asociadas a la descomposición o a remanentes de ésta y la importancia que tienen para determinar el intervalo *postmortem* varía de un caso a otro; algunas de estas familias son Fannidae,

Phoridae, Sepsidae, Piophilidae, Sphaeroceridae, Drosophilidae, Syrphidae (Goff & Catts, 1997).

**Coleoptera.** Este orden contiene muchos grupos de importancia forense y según Payne & King (1970) los coleópteros son el grupo más rico en especies en un cuerpo en descomposición. Sin embargo, debido a las diferencias en el papel que juegan las diferentes especies en la descomposición, no hay un tiempo característico de aparición. Los depredadores de las familias Staphylinidae y Carabidae arriban al cuerpo desde las primeras etapas de descomposición y perduran hasta las etapas finales. Los depredadores de la familia Histeridae permanecen durante las primeras etapas de descomposición, alimentándose de larvas. Los coleópteros de la familia Silphidae llegan durante la fase de descomposición activa y perduran hasta la fase seca, mientras que las familias Dermestidae y Cleridae llegan en la etapa de restos secos; Kulshertha & Satpathy (2001) mencionan que estas dos últimas familias son las más comunes en restos humanos y que proveen evidencia confiable para estimar el IPM. Por otro lado, algunas especies de la familia Trogidae han sido reportadas como necrófagos-saprófagos facultativos muy eficientes en la remoción de materia orgánica (Rosano & Deloya 2002). Los primeros estudios sobre los coleópteros asociados a la descomposición de los cerdos fueron realizados por Payne (1965).

**Hymenoptera.** Los miembros de este orden juegan un papel importante en la descomposición de cadáveres. Payne & Mason (1971), por ejemplo, colectaron 82 especies de himenópteros asociados al cadáver de un cerdo. Varias especies de hormigas son depredadores de huevos y larvas, retardando así los procesos de descomposición (Early & Goff, 1986); Martínez *et al.* (2001) en un estudio de la fauna sarcosaprófaga, reportan a la familia Formicidae como de importancia en este tipo de comunidades. Los miembros de las familias Ichneumonidae, Braconidae y Chalcidoidea son parasitoides de larvas y pupas de dípteros, coleópteros y otros insectos, influenciando así la descomposición del cadáver (Goff & Catts, 1997, Turcheto 2004).

### 1.4.3 Especies de importancia forense

Los trabajos sobre fauna cadavérica alrededor del mundo reportan especies de insectos, que en algunos casos, dependen de la zona biogeográfica estudiada, pero en

otros, se trata de especies que tienen una amplia distribución y que se pueden encontrar en la mayoría de los continentes. Byrd & Castner (2001) mencionan algunas de las especies más comunes en casos forenses en Norteamérica, como los dípteros *Phaencia* (=Lucilia) *sericata*, *Lucilia illustris*, *L. cuprina*, *Phormia regina*, *Calliphora vicina*, *C. vomitoria*, *Chrysomya megacephala*, *C. rufifacies*, *Cochliomyia macellaria*, *Fannia canicularis*, *Sarcophaga haemorrhoidalis*, *Piophilina casei*, *Hermetia illucens*, *Megaselia scalaris*, entre otros. En cuanto a coleópteros, los más comunes son *Nicrophorus* sp., *Tanatophilus* sp., *Dermestes ater*, *D. caninus*, *D. maculatus*, *Creophilus maxillosus*, *Platydracus* sp, *Hister* spp, *Saprinus* sp, *Necrobia rufipes*, *N. violacea*, *Trox* sp, *Omosita* sp., etc.

En México se han realizado algunos estudios de entomofauna cadavérica (Martinez *et al.* 2007, Vazquez *et al.* 2007, Villamil *et al.* 2007, Flores *et al.* 2008, Valdés *et al.* 2008), en donde se reportan tanto las especies mencionadas con anterioridad, como algunas especies poco comunes en casos forenses; dípteros del género *Sarcodexia* sp, *Bercaea* sp, *Belleria* sp, *Cynomya* sp, *Hydrotaea* sp y coleópteros como *Cryptarcha* sp, *Euspilotes*, *Onthophagus* sp, son ejemplo de ellos. Este tipo de fauna es de gran importancia, ya que suele tratarse de fauna regional; cuyo desconocimiento, puede resultar preocupante a la hora de poner en práctica a la entomología forense (García *et al.* 2004).

### **1.5 Factores a considerar en el cálculo del intervalo *postmortem***

Cuando los insectos son usados como indicadores en el cálculo del IPM, usualmente se emplean dos métodos para dicho cálculo; en la primera, se usa la presencia o ausencia de determinadas especies como un indicador del tiempo de muerte, basado en los patrones de sucesión. La segunda está basada en el tiempo de desarrollo de los insectos, sobre todo larvas, encontrados en el cadáver. Estos dos métodos pueden ser usados de forma complementaria; aunque para el segundo se requiere del conocimiento preciso de los estados inmaduros de desarrollo de las especies involucradas (Higley & Haskell, 2001).

Independientemente del método a utilizar, si se pretende hacer un cálculo a la aproximación del IPM usando evidencias entomológicas, existen numerosas variables

que pueden alterar el establecimiento del IPM, las cuales deben tomarse en cuenta a la hora de desarrollar un método de investigación con miras a extrapolar los datos obtenidos a una situación forense particular. Las variables más importantes a tener en cuenta son:

**Temperatura.** De todos los factores ambientales, la temperatura es uno de los más importantes, dado el carácter exotermo de los insectos. Grassberger & Reiter (2001) reportan que la oviposición en dípteros es significativamente baja a temperaturas menores de 10 °C. Esto influye directamente en el proceso de descomposición cadavérica haciéndolo más lento en los meses del año en que las temperaturas son inferiores a 10 °C. Además la velocidad de desarrollo en larvas disminuye debido a las bajas temperaturas, convirtiéndolo en otro factor que afecta el proceso de descomposición. Otro punto a considerar es la tolerancia de algunas especies al frío, por ejemplo, *Protophormia terranova* es una especie abundante en zonas árticas y es más tolerante a climas fríos que otras especies de califóridos (Byrd & Castner 2001).

**Masa larval.** Otro factor que debe considerarse es la masa larval, ésta puede causar un incremento de temperatura debido a la actividad propia de alimentación de las larvas. Experimentos de laboratorio han permitido reportar que dentro de una masa activa de larvas LII y LIII se produce un aumento de 1 - 1.3 °C en la temperatura del aire circundante (Grassberger & Reiter 2002). Este aumento de temperatura puede dar lugar a un aumento en la velocidad de desarrollo y mejora el efecto de las condiciones climáticas de frío y, por tanto, pueden tener un efecto perjudicial sobre la exactitud de los cálculos IPM si no se toma en consideración (Catts & Goff 1992, Turner & Howard 1992, Tantawi *et al.* 1996).

**Comportamiento nocturno.** Existe la posibilidad de que la muerte se haya producido durante la noche, esto tiene importantes repercusiones sobre el comportamiento de los insectos. De manera general, se cree que las moscas asociadas a cadáveres son inactivos por la noche y no se espera que ovipositen durante este periodo. Sin embargo, Greenberg (1990) experimento con cebos colocados en arbustos durante la noche, lo cual puso de manifiesto que existía oviposición nocturna; y por tanto, hay actividad nocturna de moscas. Otros experimentos han demostrado que la oviposición

se reduce significativamente en aproximadamente un 33% cuando esta se efectúa durante la noche (Singh & Bharti 2001).

**Drogas y otras sustancias tóxicas.** Cuando se encuentra un cuerpo en avanzado estado de descomposición existe un problema, ya que las muestras tomadas para análisis toxicológicos, tales como sangre, orina y órganos internos, no están presentes (Goff 2000). Sin embargo, los insectos pueden ser usados para el análisis de toxinas y sustancias de drogas. Esta área de la entomología forense es conocida como entomotoxicología. Cuando las larvas se alimentan de tejidos de un cadáver que murió por sobredosis de algún tipo de droga o toxina, ésta es metabolizada e incorporada al tejido de la larva; si estas a su vez son comidas por coleópteros depredadores. Dichas sustancias son incorporadas al depredador por bioacumulación. En diversos estudios, se ha tratado de recuperar un gran número de sustancias químicas tóxicas con éxito, algunas sustancias que se han encontrado en tejido de larvas son cocaína, triazolam, oxazepam, alimemazina, clorimipramina, y fenobarbital (Kintz *et al.* 1990), metanfetamina (Goff *et al.* 1992) amitriptilina y coproxamol (Wilson *et al.* 1993). Esto aparte de ser una herramienta valiosa para la entomología forense, puede alterar el patrón de crecimiento larval, lo que influye directamente con el cálculo del IPM.

**Método de preservación.** Cuando se estudia la biología y el desarrollo larval en laboratorio se hacen curvas de crecimiento en las cuales se describen los cambios de tamaño (largo) del cuerpo en relación a su edad. Generalmente cuando una larva es colectada en la escena del crimen ésta es sacrificada y preservada en algún tipo de liquido, etanol al 70% por ejemplo. Pero el tipo de fluido y el método de preservación pueden influenciar en el tamaño final de la larva que se va a analizar y comparar con datos ya graficados. Estas diferencias puedan causar un error al momento de cálculo del IPM. En ocasiones la larva no se sacrifica *in situ*, sino que se refrigera para su traslado al laboratorio donde se va a analizar (Myskowiak & Doums 2002).

El estudio de un ecosistema cadavérico, que aparenta ser simple, debido a que es un recurso limitado y cuyos procesos pueden ser en cierto grado predecibles, dista mucho de serlo. Todo lo contrario, la fauna sarcosaprófaga no siempre es la misma, cambia en función de la localidad geográfica, de la estación anual, del ambiente y de muchas

otras variables. De esta forma, no se pueda hablar de que exista una sola entomofauna cadavérica, sino muchas. Los recursos disponibles para los insectos asociados al cadáver, cambian debido a fenómenos físicos y químicos, tanto internos como externos, los propios sarcosaprófagos son vitales en dichos procesos de deterioro, más allá del simple agotamiento del recurso. Del mismo modo que el cadáver es un recurso para los necrófagos, éstos son el recurso de aquel para completar su ciclo de degradación. Todo, además, ocurre como un proceso perfectamente definido, aunque las variantes e imprevistos puedan multiplicar hasta el infinito las variaciones posibles del mismo. Existe una sucesión de organismos que desarrollan su papel como actores experimentados, cumpliendo plazos, cubriendo etapas, respetando 'jerarquías', momentos de entrada y salida en escena precisos, etc. Es esta última característica la que permite utilizar a las oleadas de organismos sarcosaprófagos como indicios a partir de los cuales determinar circunstancias de trascendencia forense; por ejemplo, la fecha de la muerte. Si las sucesiones insectos siguen una pauta, la presencia de algunos de éstos bien elegidos puede ayudar a determinar el tiempo transcurrido desde que se produjo la muerte. Esto, de nueva cuenta, puede sonar simple, pero lo sería de no ser porque las condiciones atmosféricas incorporan ruido en forma de retardos y aceleraciones en el proceso; o porque la acción de otros actores –grandes necrófagos, bacterias, hongos, hombres y máquinas...– puede producir distorsiones. O porque la realidad raramente repite sus experimentos en condiciones de partida idénticas: ropas, enterramientos, inmersiones, sustancias ingeridas por la víctima y algunos cientos más de causas pueden producir auténticos efectos mariposa, perturbando los cálculos del entomólogo forense (Castillo 2002).

## LITERATURA CITADA

- Anderson, G. 1997.** The use of insects to determinate time of decapitation: A case-study from British Columbia. *Journal of Forensic Sciences*. 42 (5): 947-950.
- Anderson, G. S. 2001.** Insect succession on carrion and its relationship to determining time of death. In J. H. Byrd and J. L. Castner [eds.], *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. CRC Press, Boca Raton. pp. 143-175.
- Anderson, G. and S. VanLaerhoven. 1996.** Initial studies on insect succession on carrion in Southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Sciences*. 41 (4): 617-625.
- Bass, W. M. 2001.** Preface. In J. H. Byrd and J. L. Castner [eds.], *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. CRC Press. pp. ix.
- Benecke, M. 1998.** Six forensic entomology cases: description and commentary. *Journal of Forensic Sciences*. 43 (4): 797-805.
- Benecke, M. 2001.** A brief history of forensic entomology. *Forensic Sci. Int.* 120: 2-14.
- Boeck, G., M. Wood, & N. SAmyn. 2006.** Recent Applications of LC–MS in Forensic Science. *LCGC Europe*. 2-8.
- 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: 1-12.
- Byrd, J. & J. Castner. 2001.** (eds) *Forensic Entomology: the utility of arthropod in legal investigations*. CRC Press. USA. 418p.
- Calabuig, J.A. & Villanueva C. E. 2004.** *Medicina Legal y Toxicología*. Sexta edición. Barcelona, España. 1395 p.
- Campobasso, C. and F. Introna. 2001.** The forensic entomologist in the context of the forensicpathologist's role. *Forensic Science International*. 120: 132-139.
- Castillo, M. M. 2002.** Estudio de la entomofauna asociada a cadáveres en el Alto Aragón (España). *Sociedad Entmológica Aragonense. Monografías S. E. M.* Vol 6. 94p.

- Carvalho, L., P. Thyssen, L. Goff & A. Linhares, 2004.** Observations on the succession patterns of necrophagous insects on a pig carcass in an urban area of southeastern Brazil. *Aggrawal's Internet Journal of Forensic Medicine and Toxicology*. 5: 33-39.
- Catts, P. and M.L. Goff. 1992.** Forensic entomology in criminal investigations. *Annual Review of Entomology*. 37: 253-272.
- Catts, P. and N. Haskell. 1997.** *Entomology & Death a Procedural Guide*. Joyce's Print Shop, Inc. Clemson, SC USA. 182 p.
- Easton, A.M. and K.G. Smith. 1970.** The entomology of the cadaver. *Medicine, Science and Law*. 208-215 pp.
- Early, M. & L. Goff. 1986.** Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu Hawaiian Islands. *Journal Medical Entomology*. 23: 520-531.
- Flores, P. L., H. Sánchez, S. Ibáñez, M. D. García. 2008.** Insectos sarcosapofagos asociados a la descomposición cadavérica de *Sus scrofa* en Texcoco, México. *Entomología Mexicana*. 7:768-774.
- García, M. D., M. Arnaldos, E. Lozano, A. Luna. 2004.** La entomología forense en España. *In: Calabuig, J.A. & Villanueva C. E. Medicina Legal y Toxicología*. Sexta edición. Barcelona, España. 1395 p.
- Goodbrod, J. R., and M. L. Goff. 1990.** Effects of larval population density on rates of development and interactions between two species of *Chrysomya* (Diptera:Calliphoridae) in laboratory culture. *J. Med. Entomol.* 27: 338-343.
- Goff, M. L. 1993.** Festín de pruebas de insectos al servicio forense. Informe científico patología forense 4. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. *in Memorias del Taller de la Academia de Ciencias Forenses, Reunión Anual de la AAFS*. Boston, Massachusetts. 28-34 pp.
- Goff M. L. 2000.** *A Fly For The Prosecution: How Insect Evidence Helps Solve Crimes*. Harvard University Press, Cambridge. 2nd ed. p. 1-225.
- Goff M.L, Brown WA and Omori AI. 1992.** Preliminary Observations of the Effect of Methamphetamine in Decomposing Tissues on the Development Rate of *Parasarcophaga ruficornis* (Diptera: Sarcophagidae) And Implications of This

- Effect on the Estimations of Post Mortem Intervals. *Journal of Forensic Sciences*. 37 (3): 867-872.
- Goff, L. y E. Catts. 1997.** Arthropods Basics Structure and Biology (Ch. 3), 38-71 *In:* Catts, E., Haskell, H. 1997. ed. *Entomology - Death: A Procedural Guide*: Joyce's Print Shop, Inc., Clemson, South Carolina. 182 pp.
- Goff M. L., García M.D. Arnaldos S. M. Lozano R. E. 2004.** Entomología cadavérica: fundamentos y aplicación. Referencia a la entomología española. *In* Calabuig, J.A. & Villanueva C. E. *Medicina Legal y Toxicología*. Sexta edición. Barcelona, España. 253-262.
- Goff, M. L., A. I. Omori, and K. Gunatilake. 1988.** Estimation of postmortem interval by arthropod succession. *Am. J. Foren. Med. Pathol.* 9: 220-225.
- Grassberger, M. & C. Reiter. 2001.** Effect of temperature on *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) development with special reference to the isomegalen – and isomorphen diagram. *Forensic Sci. Int.* 120: 32-36.
- Greenberg, B. 1973.** Flies and Disease. Vol. I and II. Princeton Univ. Press. Princeton. 447 p.
- Greenberg B. 1990.** Nocturnal oviposition behavior of blow flies (Diptera: Calliphoridae). *J. Med. Entomol.* 27: 807-810.
- Greenberg, B. 1991.** Flies as forensic indicators. *J. Med. Entomol.* 28: 565-577.
- Hall, R. D. 2001.** Introduction: perceptions and status of forensic entomology. *In* J. H. Byrd and J. L. Castner [eds.], *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. CRC Press, Boca Raton. pp. 1-15.
- Haskell, N. H., R. D. Hall, V. J. Cervenka, and M. A. Clark. 1997.** On the body: insect's life stage presence and their postmortem artifacts. *In* W. D. Haglund and M. H. Sorg [eds.], *Forensic Taphonomy*. CRC Press, Boca Raton. pp. 415-448.
- Higley, L. G. & H. Haskell. 2001.** Insect development and forensic entomology. *In:* Byrd, J. & J. Castner. (eds) *Forensic Entomology: the utility of arthropod in legal investigations*. CRC Press. USA. 418p.
- Kashyap, V. K., and V. V. Pillay. 1989.** Efficacy of entomological method in estimation of postmortem interval: A comparative analysis. *Forensic Sci. Int.* 40: 245-250.

- Kintz P, Tracqui A, Ludes B, Waller J, Bonkhabza A, Mangin P, Lugnier AA and Chaumont AJ. 1990.** Fly Larvae and Their Relevance in Forensic Toxicology. American Journal of Forensic Medicine and Pathology. 11 (1): 63-65.
- Knight B. 1999.** Medicina Forense de Simpson. 2ª ed en Español de la 11ª en inglés, México, manual Moderno.
- Komar, D and O. Beattie. 1998.** Postmortem insect activity may mimic perimortem sexual assault clothing patterns. Journal of Forensic Sciences. 43 (4): 792-796.
- Kulshrestha P. & Satpathy D. K. 2001.** Use of beetles in forensic entomology. Forensic Sci Int. 120: 15-17.
- Leclerq, M. 1969.** Entomological Parasitology-The relations between Entomology and the Medical Sciences. Médecine Légale et de Toxicologie Medicale. Pergamon Press. Oxford, UK. 108: 1-100.
- Leclerq, M. 1978.** Entomologie et Médecine Légale. Datation de la mort; Colletion de Médecine Légale et de Toxicologie Medicale. París. 108:100.
- Lord W.D. and JF. Burger. 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: 1261-1268.
- Magaña, C. 2001.** La entomología forense y su aplicación a la medicina legal: Data de la muerte. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonense (SEA). 28:49-57.
- Martínez, R. H., R. J. Escoto & F. Tafoya. 2007.** Sucesión de insectos necrófagos en Sus scrofa, durante el periodo estacional de primavera en la ciudad de Aguascalientes. Entomología Mexicana. 6: 880-884.
- Martinez M. D., Arnaldos M. I., Romera E. & García M. D. 2001.** Los Formicidae (Hymenoptera) de una comunidad sarcosaprófaga en un ecosistema mediterráneo. Anales de Biología. 24: 33-44.
- McKnight, B. E. 1981.** The Washing Away of Wrongs: Forensic Medicine in Thirteenth-Century China. The University of Michigan Center for Chinese Studies, Ann Arbor. 181 pp.

- Mêndes, A. 1996.** Fenomenología cadavérica. Brasil: Facultades Integradas Riopretense. 114 pp.
- Moura, A., J. Carvalho y E. Monteiro. 1997.** A preliminar analysis of insects of medico - legal importance in Curitiba, state of Paraná. Memorias Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro 92: 269-274.
- Myskowiak JB and Doums C. 2002.** Effects of Refrigeration on the Biometry and Development of *Protophormia terranova* (Robineau-Desvoidy) (Diptera: Calliphoridae) and its Consequences in Estimating Post-Mortem Interval in Forensic Investigations. Forensic Science International, 2002; 125: 254-261.
- Nava H. M., A. Basurto, H. Molina, J. Luy, S. Gutiérrez, N. Galindo. 2008.** Determinación de ADN humano en larvas de dípteros colectadas en distintos tejidos. Entomología Mexicana. 6.
- Nelson, E. L. 1999.** Estimation of short-term postmortem interval utilizing core body temperature: a new algorithm. Forensic Sci. Int. 109: 31-38.
- Nuerteva, P. 1977.** Sarcosaphrophagous insects as forensic indicators. In C. G. Tedeschi, W. G. Eckert and L.G. Tedeshi [eds.], Forensic Medicine: A Study in Trauma and Environmental Hazards. W. B. Saunders and Company, Toronto. pp. 1072-1095.
- Olaya, L., A. 2001.** Entomofauna sucesional en el cadáver de un cánido en condiciones de campo en la universidad del valle (Cali-Colombia). Cuadernos de Medicina Forense. 23: 5-14.
- Payne, J. 1965.** A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. Ecology 46: 592-602.
- Payne, J. & E. King. 1970.** Coleoptera associated with pig carrion. Entomologist's Monthly Magazine. 105:224-232.
- Payne, J. & W. Mason. 1971.** Hymenoptera associated with pig carrion. Proc. Entomological Society Washington, 73:132-141.
- Putman, R. J. 1983.** Carrion and Dung: The Decomposition of Animal Wastes. Edward Arnold, London. UK. 1-62 pp.

- Reed, J., H. B. 1958.** A study of dog carcass communities in Tennessee, with special reference to the insects. *Am. Midl. Nat.* 59: 213-245.
- Rodriguez, W.C. and W.M. Bass. 1983.** Insect activity and its relation to decay rates of human cadavers in East Tennessee. *J. Forensic Sci.* 28: 423-432.
- Rosano H. M. C. & Deloya C. 2002.** Interacción entre trogidos (Coleoptera: Trogidae) y tortugas marinas (Reptilia: Cheloniidae) en el pacifico mexicano. *Acta Zool. Mex.* (n.s.) 87 29-46.
- Schoenly, K. & W. Reid. 1997.** Dynamcis of heterotrophic succession in carrion-arthropod assemblages: discrete series or a continuum of change? *Oecology.* 73:192-202.
- Simonin, C. 1980.** *Medicina Legal Judicial.* Editorial JIMS, Barcelona, España, 2da. Ed. 719-809 p.
- Singh D and Bharti M. 2001.** Further Observations on the Nocturnal Oviposition Behaviour of Blow Flies (Diptera: Calliphoridae). *Forensic Science International;* 120: 124-126.
- Smith, K. G. V. 1986.** *A Manual of Forensic Entomology.* British Museum of Natural History, London. 207 pp.
- Tantawi T. I., El Kady E. M, Greenberg B. and ElGhaffar H. A. 1996.** Arthropod Succession on Exposed Rabbit Carrion in Alexandria, Egypt. *Journal of Medical Entomology;* 33 (4): 566-580.
- Turner BD and Howard T. 1992.** Metabolic Heat Generation in Dipteran Larval Aggregations: A Consideration for Forensic Entomology. *Medical and Veterinary Entomology;* 6: 179-181.
- Turchetto, M., S. Lafisca & G. Costantini. 2001.** Postmortem interval (PMI) determined by study sarcophagus biocenoses: three cases from the province of Venice (Italy). *Forensic Science International.* 120: 28-31.
- Turchetto, M. 2004.** Fly parasitoids. In *Forensic entomology, special issue.* Anil Aggawl's Internet Journal of Forensic Medicine and Toxicology. 5: 12-18.

- Valdés, P. M., F. Sánchez, S. Rodríguez, G. Anderson. 2008.** Artrópodos de importancia forense sobre carroña de cerdo en el semidesierto de Coahuila, México. *Entomología Mexicana*. 7:692-697.
- Vargas A. E. 1999.** Medicina Legal. Editorial Trillas. México, Costa Rica. 2ª edición.
- Vasquez, H. 2000.** Autopsias Médico-Legales. Ediciones Depalma. Buenos Aires, Argentina. 256 p.
- Vázquez, S. R., V. D. Stephano, H. C. Marín, C. A. Rodríguez, M. J. Flores & Díaz, T. P. 2007.** Dípteros necrófagos del estado de Nuevo León, México. *Entomología Mexicana*. Vol. 6: 885-888.
- Villamil, R. E., N. Galindo. & J. L. Navarrete. 2007.** Caracterización de la coleopterofauna asociada a cadáveres de *Mus musculus* L. en la reserva ecológica del pedregal. *Entomología Mexicana*. Vol. 6: 885-888.
- Wilson Z, Hubbard S and Pounder DJ. 1993.** Drug Analysis in Fly Larvae. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology*.14 (2): 118-120.
- Wolff, M., A. Uribe, A. Ortiz & P. Duque. 2001.** A preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. *Forensic Science International*. 120: 53-59.
- Zehner R, Amendt J. & Krettek R. 2004.** STR typing of human DNA from fly larvae fed on decomposing bodies. *J Forensic Sci*. (2):337-40.

## CAPÍTULO II

### SUCESIÓN DE INSECTOS SARCOSAPRÓFAGOS ASOCIADOS A LA DESCOMPOSICIÓN CADAVERIVA DE *Sus scrofa* EN DOS ESTACIONES DEL AÑO, EN TEXCOCO, México.

#### 2.1 RESUMEN

De agosto a octubre de 2005 y de enero a noviembre de 2006, se expuso a la intemperie el cadáver de dos cerdos, uno en cada periodo de tiempo, para el estudio de insectos sarcosaprófagos y su relación con los procesos de descomposición cadavérica. Se reconocieron cinco estados de descomposición (fresco, hinchado, descomposición activa y avanzada y restos secos); se colectaron 8,922 ejemplares (entre larvas y adultos), distribuidos en 4 órdenes, 14 familias, 33 géneros y 22 especies; mediante un análisis multivariado de correspondencia (Chi-cuadrada  $P < 0.0001$ ,  $\alpha = 0.05$ ) se establecieron las relaciones que guardan las especies sarcosaprófagas con los estados de descomposición. Con base en esa información se construyeron matrices de ocurrencia en donde se encontró que los dípteros *Lucilia eximia*, *Calliphora latifrons*, *Chrysomya rufifacies*, *Cochliomyia macellaria*, *Hydrotea hougui*, *Ophyra aenescens*, *Piophilina casei* y *Fannia canicularis* pueden ser utilizados como indicadores en casos forenses, al igual que los coleópteros *Dermestes maculatus*, *Tanatophilus truncatus*, *Omosita* sp., *Trox* sp., *Hister californicus*, *Saprinus lugenes*, *Geonysaprinus* sp, *Xerosaprinus* sp. y el Himenóptero *Labidus coecus*. Este es el primer reporte de un estudio de sucesión de entomofauna cadavérica en el Estado de México usando como biomodelo a *Sus scrofa*.

**PALABRAS-CLAVE:** Entomología forense, dípteros, coleópteros, sucesión.

# SUCCESSION OF SARCOSAPROPHAGOUS INSECTS RELATED WITH THE CARCASS DECOMPOSITION OF *Sus scrofa* IN TWO SEASONS OF THE YEAR IN TEXCOCO, MEXICO.

## 2.2 ABSTRACT

The carcasses of two pigs were left in the open air, one from August to October, 2005, and the other from January to November, 2006 to study the sarcosaprophagous insects and their relationship with the process of carcass decomposition. Five stages of decomposition we established: fresh, bloated, active and advanced decomposition, and dry remains. 8,922 animals were collected (larvae and adults), distributed in 4 orders, 14 families, 33 genera, and 22 species. Through a multivariate correspondence analysis (Chi-square  $P < 0.0001$ ,  $\alpha = 0.05$ ) the relationships between the sarcosaprophagous species and the stages of decomposition were established. Based on this information, occurrence matrixes were built where the dipterous *Lucilia eximia*, *Calliphora latifrons*, *Chrysomya rufifacies*, *Cochliomyia macellaria*, *Hydrotea hougui*, *Ophyra aenescens*, *Piophilina casei*, and *Fannia canicularis* were found to be useful as indicators in forensic cases, as well as the coleopterans *Dermestes maculatus*, *Tanatophilus truncatus*, *Omosita* sp., *Trox* sp., *Hister californicus*, *Saprinus lugenes*, *Geonysaprinus* sp., *Xerosaprinus* sp., and the hymenopter *Labidus coecus*. This work is the report a study of the succession of sarcosaprophagous fauna in the State of Mexico using *Sus scrofa* as a biomodel.

**KEY-WORDS:** Forensic entomology, dipterous, coleopterans, succession.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

La entomología forense o médico legal es el estudio de los artrópodos asociados con cadáveres. Se utiliza, entre otros propósitos, para estimar el tiempo transcurrido desde la muerte o intervalo *postmortem* (IPM) y la identificación de los posibles traslados del cuerpo, así como las características de las zonas de procedencia (Anderson & VanLaerhoven 1996, Anderson 1997).

Los episodios entomológicos *postmortem*, de modo resumido, inician con los dípteros, a continuación suelen aparecer los coleópteros y durante un tiempo convivirán en nichos diferentes coleópteros y dípteros, por ultimo convivirán, también en nichos diferentes, coleópteros, ácaros y lepidópteros (Centeno & Maldonado, 2002). La propia secuencia de colonización y las especies implicadas variarán en función de múltiples parámetros, entre los que destacan la región biogeográfica, la época del año y las características ambientales particulares del hábitat en que se encuentre el cadáver, por lo que se hacen imprescindibles los estudios de tipo regional sobre la comunidad faunística sarcosaprófaga (García *et al.* 2004).

La determinación del tiempo de muerte es importante en las investigaciones de homicidios y otras muertes intempestivas, ya que puede ayudar a identificar al criminal y a la víctima para descartar sospechosos (Catts & Goff, 1992). Existen dos métodos para determinar el tiempo transcurrido desde la muerte usando la evidencia de los artrópodos, el primero utiliza la edad y tasa de desarrollo de larvas; el segundo método utiliza la sucesión de artrópodos en la descomposición del cuerpo. Ambos métodos se pueden utilizar por separado o conjuntamente siempre dependiendo del tipo de restos que se están estudiando. Por lo general, en las primeras fases de la descomposición las estimaciones se basan en el estudio del crecimiento de una o dos especies de insectos, particularmente dípteros, mientras que en las fases más avanzadas se utiliza la composición y grado de crecimiento de la comunidad de artrópodos encontrada en el cuerpo y se compara con patrones conocidos de sucesión de fauna para el hábitat y condiciones más próximas (Anderson & VanLaerhoven, 1996; Magaña 2001).

Los patrones de sucesión de fauna cadavérica han sido estudiados en múltiples regiones del mundo, para lo cual, se han usado diversos modelos animales, entre los cuales están pollos (Martínez *et al.* 2002), gatos (Early & Goff, 1986), perros (Olaya, 1999; Jiron & Cartin, 1981), ratones (Moura & De Carvalho, 1997; Putman, 1978), zorros y sapos (Cornaby, 1974), tortugas (Abell *et al.*, 1982), conejos (Denno & Cothran, 1976), elefantes (Coe, 1978), impalas (Braack, 1981) y humanos (Rodríguez & Bass, 1983). Sin embargo, los cadáveres muy pequeños (sapos, ratones, conejos, etc.) o muy grandes (elefantes, caballos, entre otros), se caracterizan por una descomposición rápida o prolongada, respectivamente; así que el tipo de cadáver y el tamaño puede tener un efecto en la tasa de descomposición y en la sucesión de insectos.

Sin embargo, el modelo clásico para el estudio de los fenómenos de descomposición cadavérica y la entomofauna relacionada con éstos, es el cerdo blanco (*Sus scrofa*) desnudo; ya que éste es adecuado para este tipo de estudio porque se asemeja al ser humano en cantidad de vello, tamaño del torso, fauna intestinal, hábitos alimenticios y procesos de descomposición (Komar & Beattie, 1998; Anderson & VanLaerhoven, 1996; Shean *et al.*, 1993; Goff, 1988); además, gran número de investigaciones han empleado al cerdo como modelo (Komar & Beattie, 1998; Anderson & VanLaerhoven, 1996, Tabor *et al* 2004, Pérez *et al.* 2005, Martínez *et al.* 2007).

No obstante la relevancia que tiene la entomología forense, en México son contados los estudios que se han realizado al respecto, Martínez *et al.* (2007), Vázquez *et al.* (2007), Villamil *et al.* (2007), Flores *et al.* (2008), Nava *et al* (2008), entre otros. Si a esto le agregamos la gran diversidad que tiene México, tanto a nivel de climas y regiones biogeográficas como de diversidad biológica, el estudio de la comunidad sarcosaprófaga tiene gran relevancia, tanto en el aspecto de su estructura como en la sucesión de especies a lo largo del proceso de descomposición de un cadáver, en zonas o localidades en donde no se han realizado dichos estudios, como en el caso del Estado de México.

En este trabajo se describen los patrones de sucesión de entomofauna cadavérica y su relación con los fenómenos de descomposición en dos cerdos expuestos a la intemperie en épocas distintas del año, en el municipio de Texcoco, Estado de México.

## **2.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.4.1 Zona de estudio**

La parte experimental se realizó en el campus Montecillo del Colegio de Posgraduados, en Texcoco, Estado de México; en la zona predominan árboles de los géneros *Casuarina* sp, *Eucalyptus* sp, y *Cupressus* sp, y se localiza a una distancia de 15 m de los campos agrícolas experimentales. El clima del municipio es templado semiseco, con una temperatura media anual de 15.9°C, con heladas poco frecuentes y una precipitación pluvial media anual de 686.0 mm. Sus vientos dominantes son del sur, y está ubicado en las coordenadas 98° 39' 28" O y 19° 23' 40" N. El uso de suelo de la zona es mayormente agrícola, aunque el Colegio está rodeado por zonas urbanizadas.

### **2.4.2 Establecimiento del experimento**

Se emplearon como modelo dos ejemplares de cerdo blanco (*Sus scrofa* L.) de 12 kg de peso, obtenidos de las granjas experimentales de la Universidad Autónoma Chapingo. Cada uno de los animales se expuso a la colonización de insectos en distintas épocas del año, para esto, se sacrificaron mediante asfixia con CO<sub>2</sub>; transcurrido cinco minutos, se colocaron en posición lateral dentro de una jaula diseñada para tal efecto. Así, la colecta de insectos asociados a los cadáveres, se concluyó cuando estos llegaron a restos secos, por tanto, la duración de cada uno de los experimentos estuvo en función de la velocidad con la que ocurrieron los procesos de descomposición, lo cual está determinado en gran parte por las condiciones climáticas de las épocas del año y de la entomofauna local. De esta forma, se pretendió contrastar dos épocas dominantes en el municipio, la de lluvias y la de frío.

### 2.4.3. Diseño de la jaula

La jaula era una estructura metálica (Fig. 1) a la cual, se le hicieron algunas adaptaciones para que, además de proteger a los cerdos de animales carroñeros, sirviera como un dispositivo para captura de insectos; la jaula contaba con las siguientes características: 150 x 100 x 50 cm, una puerta plegable en el frente, dos cubiertas, una de alambre con tejido hexagonal de una pulgada de abertura para proveer soporte y otra de tela de alambre tipo mosquitero, a la cual se le hicieron 28 orificios, 14 de los cuales se dejaron abiertos para permitir la entrada de insectos, mientras que a los 14 restantes se les adaptó frascos de plástico de 400 mL para la captura; en la parte superior de la jaula se adaptó otra trampa con un envase de plástico de 5 L de capacidad (Fig. 2); finalmente, la jaula fue fijada al suelo por medio de unas salientes de 30 cm que tenía en la base, para evitar que ésta fuera desplazada. La jaula se diseñó tomando como base el modelo de la trampa de Schoenly, utilizada para estudios ecológicos de artrópodos carroñeros (Schoenly *et al.* 1991), cuya eficacia en los estudios de fauna sarcosaprófaga ha sido recientemente demostrada (Ordóñez *et al.* 2008).

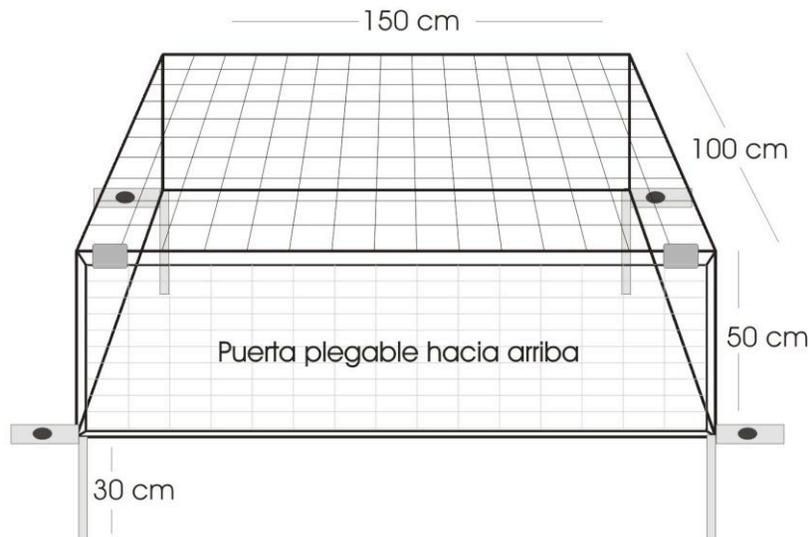


Figura 1. Estructura metálica original diseñada para proteger al cerdo.

#### 2.4.4 Colecta de especímenes

Aun cuando no hay una metodología bien establecida para la colecta de entomofauna cadavérica, diversos autores (Bharti & Singh. 2003, Tabor. *et al.* 2004, Tabor *et al.* 2005, y Eberhart. & Elliot 2008) coinciden en que la colecta de material se debe de ir espaciando al paso del tiempo, entre otras razones, porque un animal muerto es un ecosistema bastante complejo, cuyo proceso de descomposición ocurre a una velocidad no necesariamente uniforme, por tanto, el tiempo que dura la colecta de material y los intervalos de tiempo que se establecen para capturar, dependen de la velocidad con que se descompone el cadáver.

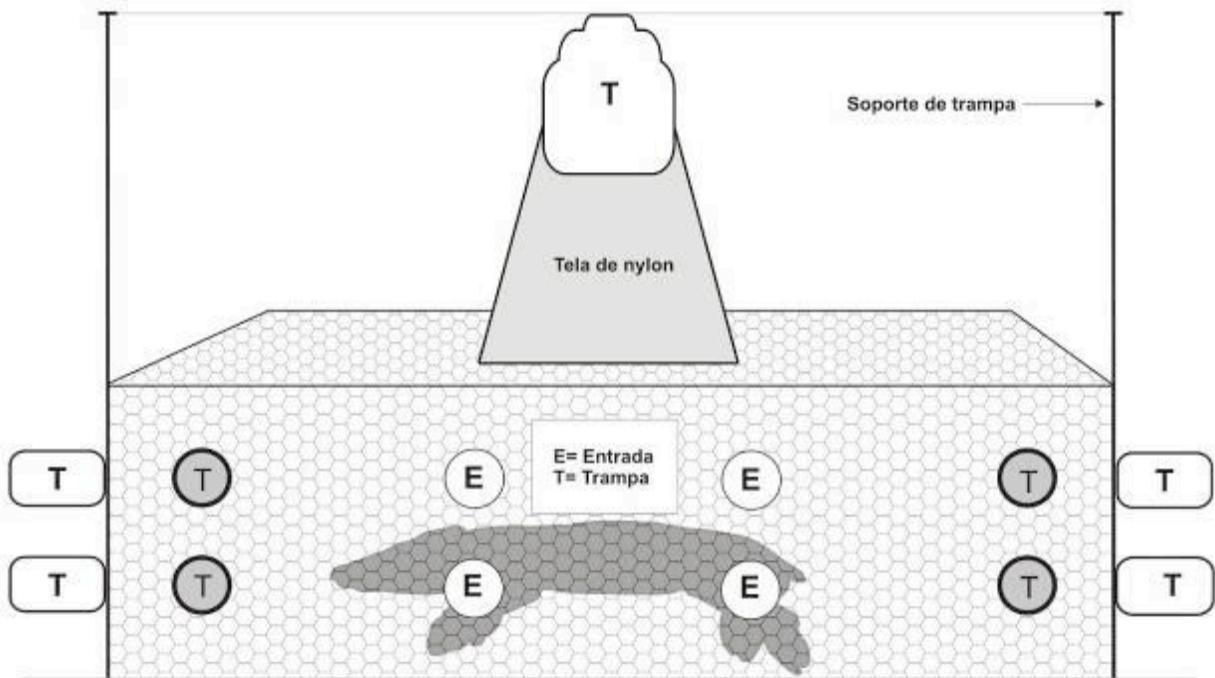


Figura 2. Jaula adaptada para la protección del cuerpo de animales carroñeros y adaptada para la captura de insectos sarcosaprófagos.

**Cerdo A.** Los muestreos se realizaron del 2 de agosto al 31 de octubre de 2005, *i. e.* por un periodo de tres meses, con capturas dos veces al día entre las 13:00-15:00 y las 16:00-18:00 horas los primeros 32 días, para continuar con capturas cada vez más espaciadas hasta alcanzar una captura cada tres días, ya que la actividad de insectos disminuyó en las últimas fases de descomposición.

**Cerdo B.** Los muestreos del segundo cerdo se realizaron del 9 de enero al 16 de noviembre de 2006 por un periodo de 11 meses. En el primer mes, las capturas se realizaron dos veces al día entre las 13:00-15:00 y las 16:00-18:00; posteriormente éstas se espaciaron hasta alcanzar una captura una vez al mes a consecuencia de la disminución tanto de la actividad de insectos como de la presencia de restos cadavéricos.

La colecta e identificación de los ejemplares se centró solamente en dípteros y coleópteros de interés forense (Fig. 3), ya que son considerados los grupos más importantes y los que en general, se usan para el cálculo del intervalo *postmortem* (Goff 1993); no obstante, se capturaron otros ordenes cuya presencia en cadáveres tienen cierta relevancia (Byrd & Castner 2001). Para la identificación taxonómica del material colectado, se emplearon los trabajos de Cole (1969), Greenberg & Szyska (1984) McAlpine *et al.* (1987), Liu & Greenberg (1989), Hölldobler & Willson (1990), Stehr (1991), Triplehorn & Johnson (2005) y Whitworth (2006), Arnett *et al.* (2002).

En ambos casos, los adultos eran colectados para posteriormente preservarlos en etanol al 70% (Fig. 3 e); en el caso de los dípteros, la mayoría de los adultos fueron obtenidos de las trampas adaptadas en la jaula (Fig. 3 a); algunos otros eran adultos recién emergidos, los cuales eran colectados con pinzas entomológicas del N° 5; los coleópteros (Fig. 3 f) e himenópteros se colectaron con pinzas entomológicas, aunque algunos quedaban atrapados en las trampas. Las larvas, tanto de dípteros como de coleópteros, se colectaron con ayuda de pinzas entomológicas y cucharas de plástico, obteniendo los individuos de los sitios donde se agrupaban para alimentarse y anotando la zona del cuerpo considerando la cabeza, tórax-abdomen, ano y extremidades por separado (Fig. 3 c y d); las larvas obtenidas fueron colocadas en recipientes de 25 ml y fijadas en etanol al 70% previo sacrificio en agua a 90 °C por dos

minutos. Las larvas de dípteros en estado postalimentario se colectaron del suelo con una pala de jardinería a un rango de profundidad de 5 a 20 cm y a un radio de 2 m del cuerpo en descomposición, para colocarlas en frascos de 500 y 250 mL junto con el sustrato de donde se recogieron, para permitir la pupación y la obtención de adultos. También se recogieron masas de huevos de aproximadamente 100 individuos encontrados en la boca, cabeza y tórax del cerdo, para criarlos hasta la fase adulta y facilitar la identificación de las especie; las larvas fueron alimentadas con hígado de pollo dentro de frascos de 100 mL de capacidad, usando como sustrato polvo de diatomea. En los días de colecta, se observaron los fenómenos de descomposición y sus características, con el fin de asociar cada uno de los estados de desarrollo del insecto con las fases de descomposición del cadáver. Los datos de temperatura, humedad relativa y precipitación fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el campus donde se realizó el estudio.

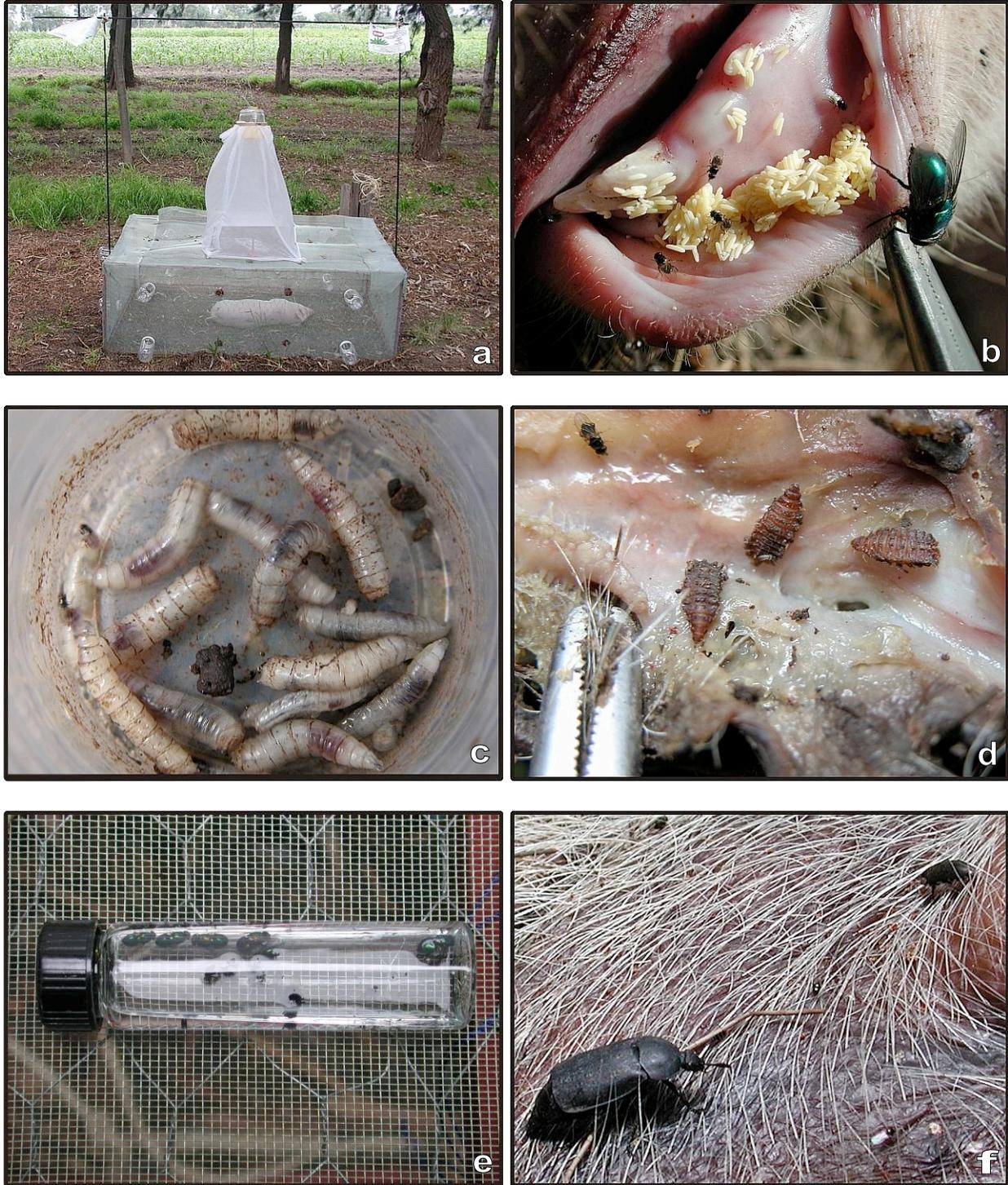


Figura 3. Colecta de entomofauna cadavérica. a) Cerdo colocado dentro de trampa. b) Colecta de huevos de díptero en hocico. c) Larvas de *Calliphora latifrons* colectadas alimentándose de la zona de la cabeza. d) Larvas de *Fannia scalaris* en una de las extremidades del cadáver. e) Adultos de *Lucilia eximia* fijados en etanol f) Adultos de *Tanatophilus truncatus* y *Dermestes maculatus*, posteriormente colectados y fijados en etanol al 70%.

#### **2.4.5 Análisis estadístico**

Para establecer las asociaciones entre los procesos de descomposición cadavérica y especies de insectos, se realizó un análisis de correspondencias (AC); técnica descriptiva de análisis estadístico multivariada. Las asociaciones se establecen mediante el análisis de los datos contenidos en una tabla de contingencia, la Chi-cuadrada proporciona una medida estandarizada de las asociaciones entre las filas y columnas de la tabla de contingencia; el AC transforma estas medidas de asociación en distancias métricas y crea dimensiones ortogonales en las que las categorías se pueden proyectar para establecer la mejor asociación, basadas en las distancias Chi-cuadrada (Hair *et al.* 1998). El objetivo del AC es producir un ordenamiento simultáneo de objetos (en este caso especies) y variables (estados de descomposición), para que éstos, en un plano de dos dimensiones, queden en la mejor posición, lo que revelará al final, su mutua correspondencia o grado de asociación (Podani 1994, Hair *et al.* 1998).

### **2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se registraron los parámetros físicos de temperatura, humedad relativa y precipitación de dos periodos de tiempo de acuerdo al lapso de exposición de los sujetos experimentales; el primero del 2 de agosto al 31 de octubre de 2005, el segundo del 9 de enero al 15 de octubre de 2006 (Fig. 4 y 5). Durante el primer periodo, la temperatura promedio fue de 16.7 °C, registrándose un valor diario máximo de 27 °C y uno mínimo de 0 °C en el mes de octubre; la humedad relativa (HR) osciló entre el 60% y 70%, con una máxima de 97% a finales de agosto. La precipitación acumulada fue de 217.9 mm, obteniendo la máxima en el mes de agosto con 111 mm. Para el segundo periodo, la temperatura mínima del primer mes fluctuó entre los 1.5 y los 6 °C, y las máximas entre 23 y 26 °C. La HR osciló entre el 47 y 52%. Durante los tres primeros meses sólo se registraron 22.8 mm de precipitación hasta finales de marzo. Este periodo se caracterizó por presentar temperaturas, HR y precipitación bajas los primeros meses de exposición del cuerpo.

La precipitación, la temperatura y la humedad relativa influyen considerablemente en la duración de los estados de descomposición, así como en la abundancia, la diversidad y la composición de la fauna de insectos. En el primer cerdo, la precipitación fue un factor importante ya que hubo 40 días de lluvia repartidos en los tres meses, lo que mantuvo una hidratación constante en el tejido del cadáver y, aunado a las temperaturas y HR antes mencionadas, crearon un ambiente propicio para el desarrollo de bacterias, hongos y larvas de insectos (Grassberger & Reiter 2001), lo que a la postre, favoreció el proceso de putrefacción. En el segundo cerdo, las temperaturas bajas del primer mes favorecieron la ausencia de insectos, lo que sumado a la escasa precipitación y HR baja, provocó la deshidratación y conservación del cuerpo en un estado de momificación incipiente. Lo anterior refuerza el hecho de que no siempre la putrefacción acaba destruyendo al cadáver en un plazo relativamente corto de tiempo, ya que en circunstancias como las anteriores, el proceso de putrefacción se detiene una vez ya iniciado y el cadáver se conserva de forma más o menos permanente (Castilla 2004).

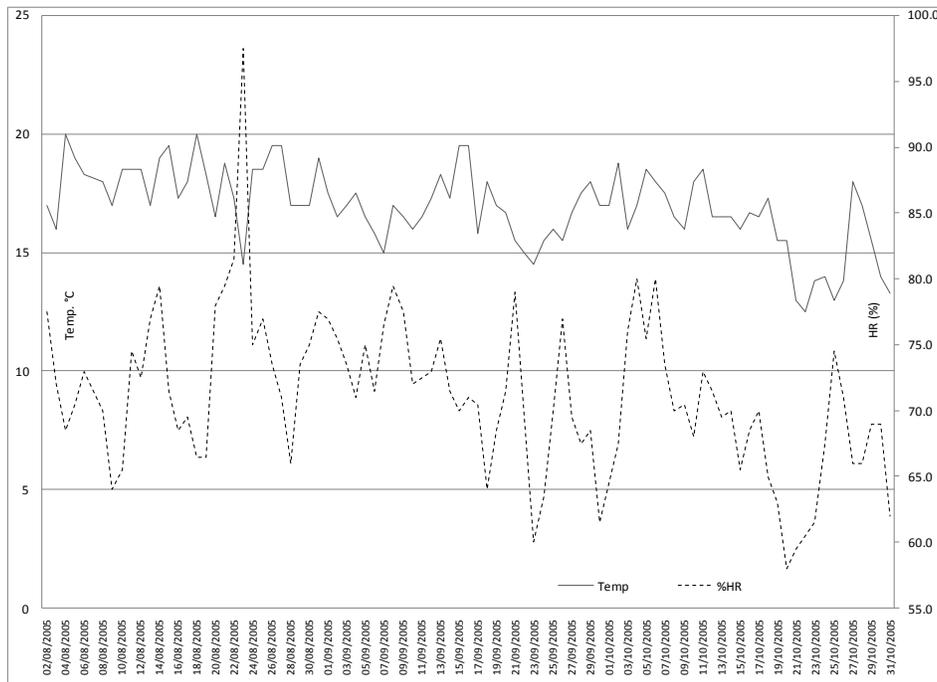


Figura 4. Promedios de temperatura y humedad relativa, registrados por la estación meteorológica de Montecillo de agosto a octubre de 2005.

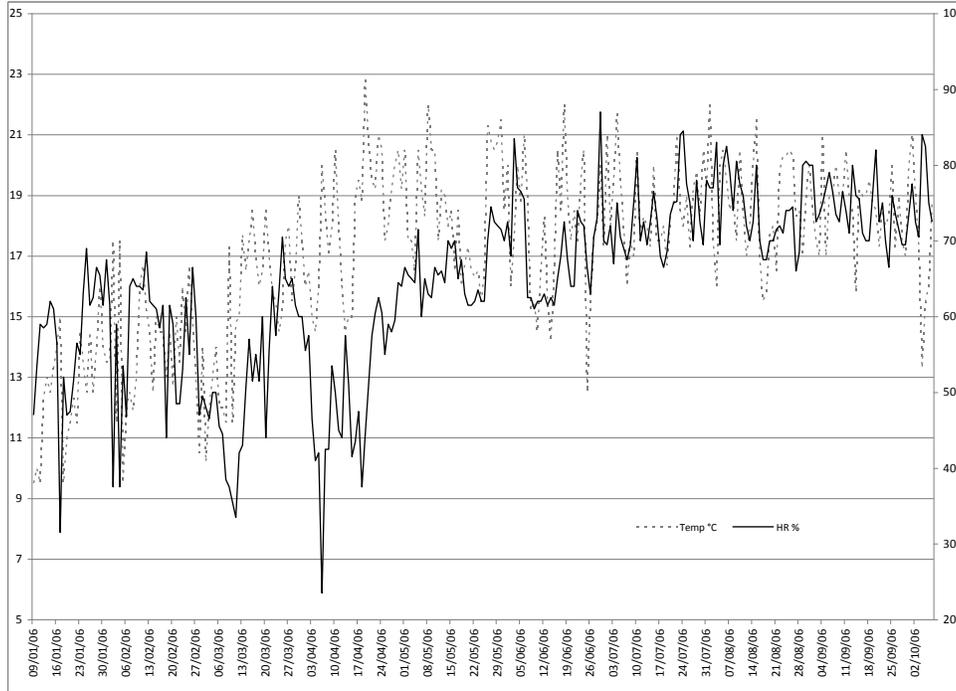


Figura 5. Promedios de temperatura y humedad relativa, registrados por la estación meteorológica de Montecillo de enero a noviembre de 2006.

### 2.5.1 Entomofauna cadavérica

En total, se colectaron 8,922 ejemplares (entre larvas y adultos), distribuidos en 4 órdenes, 17 familias, 33 géneros y 22 especies (Cuadro 1). De ellos 7,682 (86.1%) fueron dípteros, 1,173 (13.1%) coleópteros, 53 (%0.59) himenópteros, y 14 (%0.15) lepidópteros. Dentro de los dípteros, las familias Calliphoridae (61%) y Chloropidae (21%.8) fueron las predominantes, el resto (17%) corresponde a las familias Muscidae, Fannidae, Sepsidae, Piophilidae y Anthomyiidae. En cuanto a coleópteros, las familias Nitidulidae (59%), Staphylinidae (12.19) e Histeridae (17.99%) fueron las más numerosas.

### 2.5.2 Estados de descomposición

Con base en los cambios físicos del cadáver, se identificaron cinco estados de descomposición; fresco, hinchado, descomposición activa, descomposición avanzada, y restos secos (Figuras 8 y 9). Respecto a la clasificación de dichos estados, diversos

autores como Centeno & Maldonado (2002), Bharti & Shing (2003), Pérez *et al.* (2005) y Martínez *et al.*, (2006), equiparan los estados de descomposición con los usados en medicina forense (cromático, enfisematoso, colicuativo o de licuefacción, reducción esquelética), que sin ser los mismo, los conceptos usados en medicina forense (*rigor mortis*, lividez, enfisematoso o hinchado, etc) se pueden aplicar a los empleados por los entomólogos forense, lo cual facilita el reconocimiento de estos procesos. Aun cuando los estados de descomposición fueron los mismos en cada cerdo, la duración y fenómenos cadavéricos variaron respecto el uno del otro.

### **2.5.3 Análisis de correspondencias**

Toda vez que se contaba con la identificación de los individuos colectados y el reconocimiento de los estados de descomposición, se realizó el análisis de correspondencias, en el cual, se detectó una asociación significativa (Chi-cuadrada  $P < 0.0001$ ,  $\alpha = 0.05$ ) entre las especies y géneros colectados y los estados de descomposición cadavérica de cada uno de los cerdos expuestos. De acuerdo a las gráficas de correspondencias (Fig. 6), se formaron varios grupos de asociación; en el cerdo A, las especies se agruparon entre los estados de descomposición hinchado, descomposición activa, descomposición avanzada y restos secos; aun cuando en el estado fresco se colectaron ejemplares, el análisis no encontró asociación con ninguna especie. En el cerdo B, sólo se asoció una especie al estado fresco, el resto se agruparon en cuatro estados de descomposición, hinchado, descomposición activa y avanzada y restos secos. En ambos casos, la mayor parte de asociaciones se repartieron entre los últimos tres estados de descomposición. Con base en los grupos formados, se construyó un cuadro donde se muestra qué especie está mejor representada para cada proceso de descomposición (Cuadro 2). Un punto a considerar en este caso, y en relación a la asociación especie-estado de descomposición, es que no todas las especies estuvieron presentes en los dos cadáveres, ya que la fauna sarcosaprófaga se ve afectada de manera notable por la época del año (Sharonowski 2008) y cada grupo de insectos posee patrones de estacionalidad particulares (Centeno & Maldonado 2002), esto provoca que las asociaciones antes mencionadas muestren un patrón distinto; no obstante, el análisis de correspondencia, confirma el

hecho de que los primeros estados de descomposición generalmente están asociados a dípteros, mientras que los últimos a coleópteros (Martínez *et al.* 2007, Sharonowski 2008). Que el análisis haya creado grupos de individuos asociados a los distintos estados de descomposición no significa que cualquiera de las especies no haya estado presente durante los demás procesos; lo relevante del análisis es que muestra qué especie o grupo de especies está mejor representada en tiempo y espacio en relación a determinado estado de descomposición y época del año, lo que permite construir tablas de sucesión basadas en este tipo de análisis; esto lo convierte en una herramienta valiosa para al cálculo del intervalo *postmortem*, lo que a final de cuentas es el objetivo principal de un estudio de sucesión de entomofauna cadavérica (Byrd & Castner 2001).

Cuadro 1. Entomofauna sarcosaprófaga colectada durante los estudios de sucesión en *Sus scrofa*, en Texcoco, Estado de México.

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Géneros y especies</b>
Diptera	Calliphoridae	<i>Lucilia eximia</i>
		<i>Lucilia sericata</i>
		<i>Lucilia cuprina</i>
		<i>Chrysomya rufifacies</i>
		<i>Cochliomyia macellaria</i>
		<i>Calliphora coloradensis</i>
		<i>Calliphora latifrons</i>
		<i>Calliphora vomitoria</i>
		<i>Phormia regina</i>
		<i>Pollenia griseotomentosa</i>
	Muscidae	<i>Hydrotaea hougui</i>
		<i>Neomuscina</i> sp
		<i>Morellia</i> sp
		<i>Musca</i> sp
		<i>Brontaea normata</i>
		<i>Ophyra aenescens</i>
		<i>Fannia</i> sp
Fannidae		
Fannidae		
Sarcophagidae	<i>Oxisarcodexia</i> sp	
	<i>Ravinia</i> sp	
Chloropidae	<i>Liohippelates</i> sp	
Sepsidae	<i>Phaleosepsis</i> sp	
Piophilidae	<i>Phiopila casei</i>	
Anthomyiidae		
Coleoptera	Dermestidae	<i>Dermestes maculatus</i>
	Histeridae	<i>Geoniysaprinus</i> sp
		<i>Hister californicus</i>
		<i>Saprinus lugens</i>
		<i>Xerosprinus</i> sp
		<i>Trox</i> sp
	Trogidae	
	Stafilinidae	<i>Creophilus maxillosus</i>
		<i>Philonthus</i> sp
		<i>Aleochoa</i> sp
	Silfidae	<i>Tanatophilus truncatus</i>
		<i>Oxelitrum</i> sp
	Nitidulidae	<i>Omosita</i> sp1
		<i>Omosita</i> sp1
	Cleridae	<i>Necrobia rufipes</i>
		<i>Necrobia ruficollis</i>
	Hymenoptera	Formicidae
Lepidoptera	Tineidae	

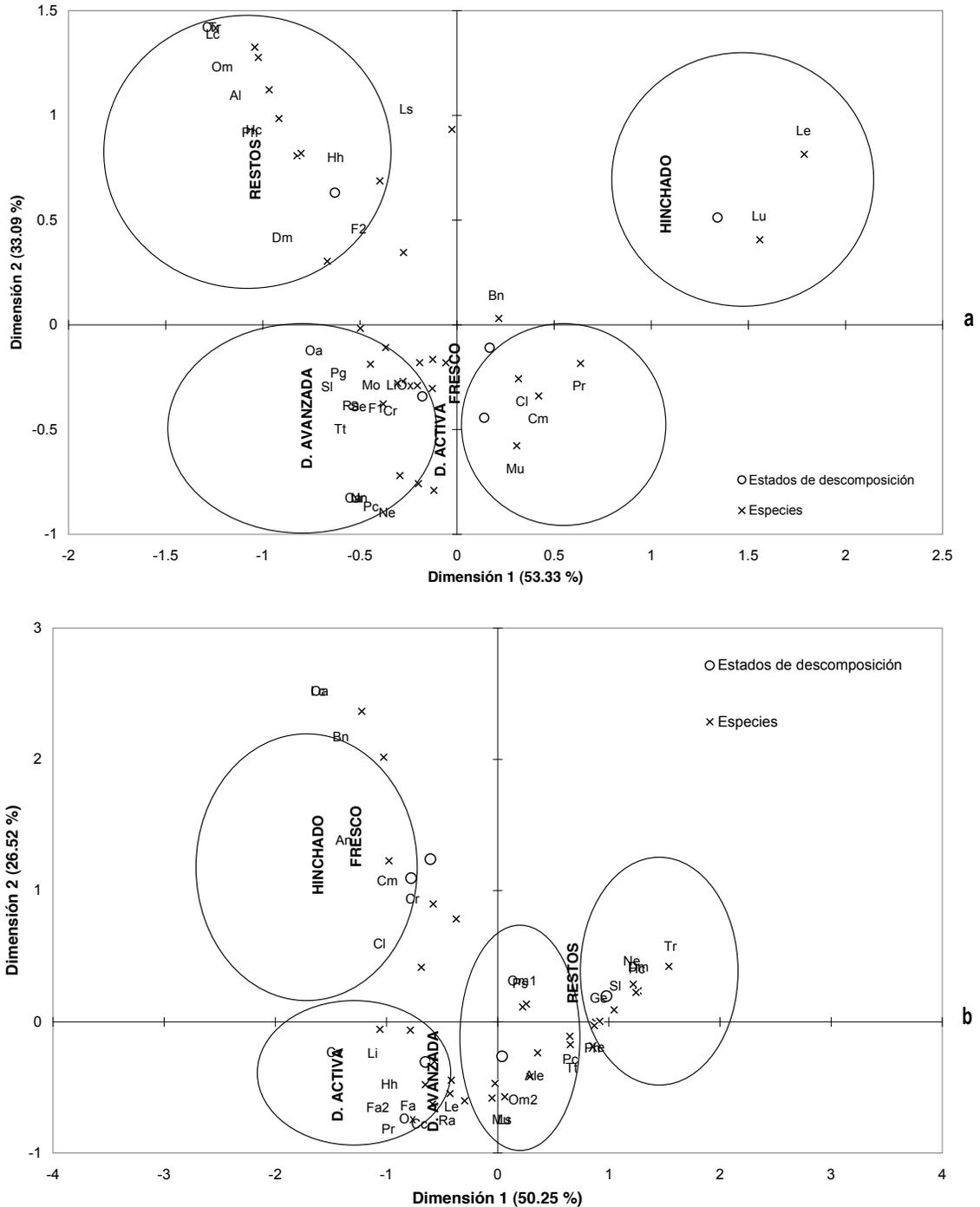


Figura 6. Gráficos del análisis de correspondencias de entre especies y estados de descomposición, a) correspondencias primer cerdo. b) correspondencias segundo cerdo.

+ = Estados de descomposición, o = especies. Abreviatura de género/especie. Li=*Liohippaelates*; Cr=*Chrysomya ruffifacies*; Cm=*Cochliomyia macellaria*; Le=*Lucilia eximia*; Bn=*Brontaea normata*; Mu=*Musca*; F1=*Fannia*; F2=*Fannidae*; Se=*Phaleosepsis*; Ox=*Oxisarcodexia*; Oa=*Ophyra aenescens*; Pr=*Phormia regina*; Ls=*Lucilia sericata*; Mo=*Morellia*; Ra=*Ravinia*; Hh=*Hydrotaea hougui*; Pc=*Phiopila casei*; Cl=*Calliphora latifrons*; Lu=*Lucilia cuprina*; Ne=*Neomuscina* An=*Antomidae*; Pg=*Pollenia griseotomentyosa*; Om=*Omosita*; Om2=*Omosita2*; Ph=*Philonthus mediano*; Sl=*Saprinus lugens*; Tt=*Tanatophilus truncatus*; Hc=*Hister californicus*; Al=*Aleochora peque*; Tr=*Trox*; Nr=*Necrobia rufipes*; Dm=*Dermestes maculatus*; Ca=*Creophilus maxillosus*; Ox=*Oxelitrum*; Un=*Necrobia ruficollis*; Lc=*Labidus coecus*.

Cuadro 2. Especies asociadas a los distintos estados de descomposición de *Sus scrofa*, según análisis de correspondencias.

Orden	Familia	Géneros y especies	Cerdo A					Cerdo B					
			FR	HN	DA	DV	RS	FR	HN	DA	DV	RS	
Diptera	Calliphoridae	<i>Lucilia eximia</i>	x								x		
		<i>L. sericata</i>										x	
		<i>L. cuprina</i>	x										
		<i>Chrysomya rufifacies</i>				x				x			
		<i>Cochliomyia macellaria</i>			x								
		<i>Calliphora latifrons</i>			x						x		
		<i>C. vomitoria</i>									x		
		<i>C. coloradensis</i>										x	
		<i>Phormia regina</i>			x						x		
		<i>Pollenia griseotomentyosa</i>					x						
	Muscidae	<i>Hydrotaea hougui</i>								x		x	
		<i>Neomuscina sp</i>					x						
		<i>Morellia sp</i>			x								
		<i>Musca domestica</i>			x							x	
		<i>Brontaea normata</i>			x					x			
		<i>Ophyra aenescens</i>					x			x			
		Fannidae	<i>Fannia sp</i>				x					x	
									x				
	Sarcophagidae	<i>Oxisarcodexia sp</i>				x						x	
		<i>Ravinia sp</i>				x						x	
<i>Liohippelates sp</i>					x					x			
<i>Phaeosepsis sp</i>					x						x		
<i>Phiopila casei</i>					x						x		
Coleoptara	Anthomyiidae									x			
	Histeridae	<i>Dermestes maculatus</i>								x		x	
		<i>Saprinus lugens</i>							x			x	
		<i>Hister californicus</i>								x		x	
		<i>Geonyisaprinus sp</i>										x	
		<i>Xerosaprinus sp</i>										x	
	Trigidae	<i>Trox sp</i>							x			x	
	Stafilinidae	<i>Creophilus maxillosus</i>							x			x	
	Silphidae	<i>Philonthus sp</i>								x		x	
		<i>Aleochoa sp</i>									x		
	Stafilinidae	<i>Tanatophilus truncatus</i>								x		x	
		<i>Oxelitrum sp</i>									x		
	Nitidulidae	<i>Omosita sp</i>								x		x	
		<i>Omosita sp2</i>										x	
	Cleridae	<i>Necrobia rufipes</i>								x		x	
		<i>Necrobia ruficollis</i>								x			
	Hymenoptera	Formicidae	<i>Labidus coecus</i>							x		x	
	Lipidoptera	Tineidae											x

<sup>1</sup>Fresco, <sup>2</sup>hinchado, <sup>3</sup>descomposición activa, <sup>4</sup>descomposición avanzada, <sup>5</sup>restos secos

## 2.5.4 Sucesión de insectos y estados de descomposición

Como se mencionó en un principio, la mayor parte del material colectado en los cadáveres, corresponde a dípteros y coleópteros, no obstante, no todos los géneros y especies colectados poseen la misma categoría ecológica (necrófagos, depredadores, parasitoides, saprófagos, omnívoros e incidentales) (Smith 1986, Magaña 2001). De esta forma, se construyeron matrices de ocurrencia (cuadros 3 y 4), donde se ubica a cada organismo (huevo, larva, adulto, pupa) con su respectiva categoría taxonómica, ecológica y el estado de descomposición en el que estuvieron presentes; lo que da una idea de cómo se fueron sucediendo los insectos a través de los procesos de descomposición.

En relación a los estados de descomposición, éstos se presentaron con mayor rapidez en el cuerpo expuesto durante los meses de agosto a octubre de 2005, en donde, a partir del tercer estado, los días de duración de dichas fases, fueron evidentemente más cortas en relación al cerdo expuesto de enero a noviembre de 2006 (Figura 7).

### 2.5.4.1 Fresco

Comenzó desde la muerte hasta el momento que el cuerpo ya estaba hinchado; este periodo fue más prolongado en el segundo cerdo. No se detectaron olores, el color de la piel en contacto con el suelo empezó a tomar una coloración más rojiza (Fig. 8 a); las livideces en el segundo cerdo fueron más marcadas y el cuerpo aún no presentaba *rigor mortis* (Fig. 9 a); se notó la salida de mucosidades por la nariz, pabellones auriculares y el ano taponado con excremento; desde esta etapa, el segundo cerdo comenzó a deshidratarse, lo que provocó que se desecaran las mucosas del hocico, incluyendo la lengua.

Las oviposturas de los primeros dípteros comenzaron en esta etapa; en el primer cerdo, 20 minutos después haber colocado el cuerpo en la jaula, individuos de *Lucilia eximia* comenzaron a ovipositar en el hocico (Fig. 10 a), y demás orificios naturales, para posteriormente abarcar otras zonas del cuerpo como el cráneo y pliegues de las extremidades. En el segundo cerdo, las oviposturas de *Calliphora latifrons* comenzaron a partir del tercer día (Fig. 11 a), principalmente en las narinas, los ojos y el fondo del

hocico. Previo al estado hinchado, se detectó la presencia de larvas de primer y segundo estados de *C. latifrons* que salían de los ojos y orificios nasales del cerdo. Durante este periodo la actividad de insectos fue mayor en el primer cerdo; estuvieron presentes dípteros como *Brontaea normata*, *Liohippeletes* sp., *Oxisarcodexia* sp. y *Phaleosepsis* sp. Cabe hacer notar que en el segundo cerdo se colectaron ejemplares de *Omosita* sp., coleópteros necrófagos, situación poco común durante este proceso de descomposición.

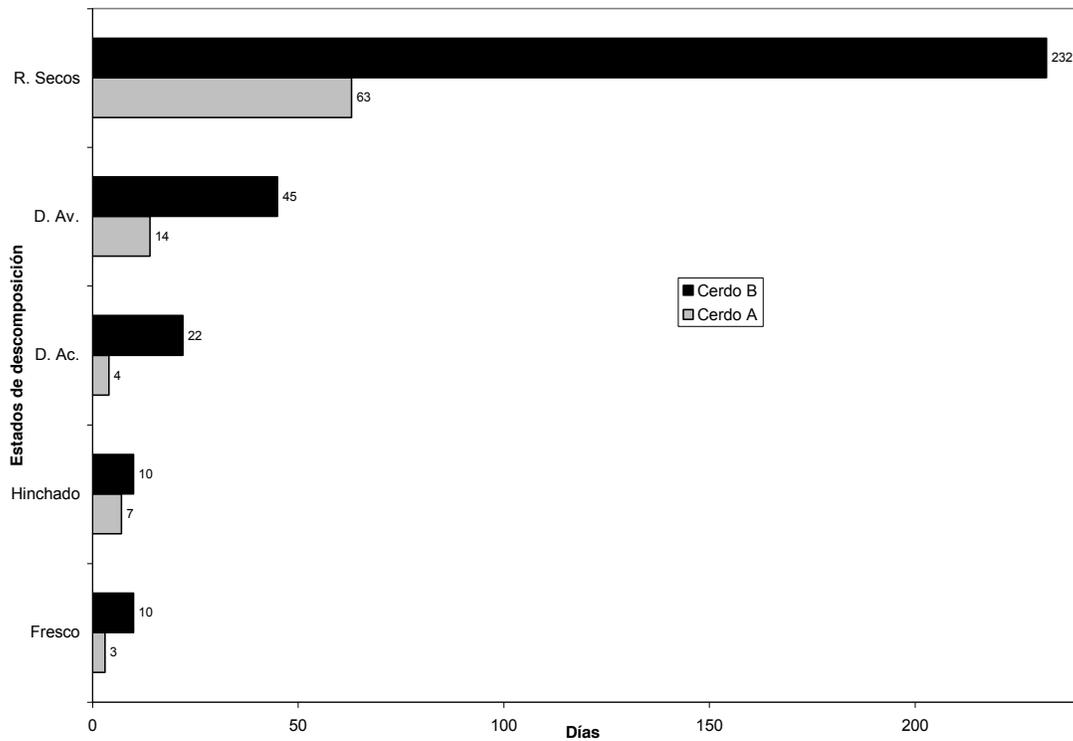


Figura 7. Periodo de duración de los estados de descomposición cadavérica de cerdo (*S. scrofa*), expuesto de agosto a octubre de 2005 y de enero a noviembre de 2006.

#### 2.5.4.2 Hinchado

Este estado fue más prolongado en el segundo cuerpo expuesto. En este periodo se hace más evidente el proceso de putrefacción; se caracterizó por el incremento de temperatura en el cuerpo debido a la actividad bacteriana de la zona intestinal; inflamación del abdomen (Fig. 8 b); proyección del ano; salida de fluidos por boca, nariz y ano, rigidez de extremidades, coloración verde - azulosa de la parte superior del cuerpo y coloración violeta en el área en contacto con el suelo; la piel sufre de presión interna y estiramiento de la misma. En el primer cerdo A, el estado hinchado llegó a tal grado que provocó la salida de vísceras de la zona abdominal y excrementos por la zona anal. En el segundo cerdo B, nunca hubo protusión de vísceras; el cuerpo de éste se caracterizó por la presencia de una red venosa póstuma, principalmente en el tórax y zona abdominal (Fig. 9 b).

En este periodo, se incrementa la actividad de dípteros; en el primer cerdo, los eventos de ovipostura que comenzaron en el estado fresco, alcanzaron su máximo en este estado, llegando a cubrir el 20% en el día seis, ocupando principalmente hocico, cráneo, pliegue de las orejas, ingles y superficies corporales en contacto con el suelo; esto reflejó un aumento en la actividad de larvas LI-LIII hacia el final de este periodo (Fig. 10 b). En el primer cerdo, *L. eximia* fue el díptero más evidente, sin embargo, adultos de *C. rufifacies* y *C. macellaria* comenzaban a caer en las trampas; *L. sericata*, *L. cuprina*, *H. hougui*, *Oxisarcodexia* sp., *Fannia* sp., *Liohippeletes* sp., *B. normata* y *Musca domestica*, fueron parte de la colecta durante este estado. En el cerdo B, la actividad de dípteros fue menos evidente; sin embargo, se logró coleccionar ejemplares de la familia Anthomyiidae, *C. rufifacies*, *Calliphora vomitoria*, *P. regina*, *B. normata*, y *Fannia* sp. A diferencia del primer cerdo, las oviposturas solo ocurrieron en el hocico, narinas, ojos y orejas; el resto del cuerpo solo era sobrevolado por algunos dípteros pero sin actividad de oviposición. La hormiga *Labidus coecus* (Fig. 11 b) arribó al cuerpo a mediados de este periodo, y se le vio depredando larvas de *C. latifrons*; otros depredadores como *Philontus* sp. y *Creophilus maxillosus* fueron capturados durante este estado. *Omosita* sp. continuó su actividad necrófaga sobre todo en los pliegues de la orejas.





### 2.5.4.3 Descomposición activa

Este estado duró 18 días más en el segundo cerdo expuesto, éste se caracterizó por el constante olor a podrido, el cual disminuyó con el paso de los días, la piel se desprendía con facilidad y el cuerpo fue perdiendo el aspecto hinchado que tenía en la fase anterior. A partir de este punto, los procesos de descomposición de ambos cuerpos se desfasaron por completo; en el cerdo A se apreció una disminución de masa corporal, tejidos licuados, y desnudez del cráneo (Fig. 8 c). En el cerdo B, los cambios eran poco evidentes; disminución leve de masa corporal, red venosa póstuma marcada, salida de líquido (producto de la descomposición bacteriana) por orificios naturales, desprendimiento de epidermis y descomposición de tejido en las zonas corporales pegadas al suelo; el tórax, zona abdominal y extremidades, parecían intactas (Fig. 9 c).

En el primer cerdo aumentó la actividad larval de *L. eximia*, *C. albiceps* y *C. macellaria*; éstas penetraron el cuerpo por las áreas de la boca, nariz, orejas y ano; se formaron masas cuya temperatura siempre fue mayor ( 2 a 5 °C) a la temperatura ambiente; hacia el final de este estado, las larvas de *L. eximia* comenzaron a migrar del cuerpo para continuar su ciclo de vida a pupa (Fig. 10 c); de la totalidad de larvas colectadas, las de *L. eximia* correspondieron al 80% del total de todas las especies colectadas en el cerdo, por lo que esta especie mostró mayor actividad de alimentación y degradación de los restos durante las fases hinchado y descomposición activa; los dípteros *P. griseotomentosa*, *O. aenescens*, *Morellia* sp., *Ravinnia* sp., *Phaleosepsis* sp. y, *P. casei* , también tuvieron actividad. Durante este periodo aparecieron los primeros depredadores de larvas como *Philonthus* sp., *S. lugens* e *H. californicus*; *T. truncatus* fue el primer coleóptero necrófago en arribar al cuerpo. En el segundo cerdo, las masas larvales de *C. latifrons* eran menos evidentes (Fig. 11 c), su temperatura nunca estuvo por arriba de la ambiente y sólo salían ocasionalmente por la nariz, hocico y ojos; durante este periodo, la actividad de dípteros fue marcada por la presencia de *H. hougui*, *Fannia* sp., *Oxisarcodexia* sp. y *Ravinia* sp.; *Piophilila casei* inició su arribo a

finales del estado. Los depredadores *Xerosaprinus* sp, *Aleocheora* sp. iniciaron actividad en este periodo junto con el necrófago *Necrobia rufipes*.

#### **2.5.4.4 Descomposición avanzada**

En el primer cerdo, este estado se caracterizó por la reducción del olor pútrido, los órganos internos fueron consumidos, la cabeza se desprendió del resto del cuerpo, y parte del esqueleto quedó expuesto; al final, la masa corporal se redujo en un 80% (Fig. 8 d y e).

Mientras la actividad de las larvas de *C. rufifacies* y *C. macellaria* aumentaba en el cuerpo (Fig. 10 c), la migración de larvas de *L. eximia* que inició en el estado anterior, se extendió desde la base del cuerpo hasta en un radio de dispersión de 190 cm y a una profundidad de 5 a 20 cm; la mayor concentración de larvas se dio en el rango de los 5 a 30 cm, lo que concuerda con algunos estudios de dispersión larval donde se menciona que la mayor cantidad de individuos se concentra en los primeros centímetros de donde originalmente se alimentaban las larvas y disminuye conforme se alejan del punto de alimentación (Gomes & Zuben 2004, Roux *et al.* 2006). Fue durante este proceso que se dio la mayor coexistencia entre dípteros y coleópteros; aparte de las especies antes mencionadas, los dípteros *P. regina*, *L. sericata*, *C. latifrons*, presentaron actividad; a los necrófagos *Omosita* sp, *T. truncatus* (Fig. 10 e), *D. maculatus*, *N. rufipes* y *N. ruficollis* se les vio alimentándose de los restos del cuerpo; la actividad de depredadores aumentó con la presencia de *L. coecus*, *Aleochora* sp y *Creophilus maxillosus*.

En el segundo cerdo, el proceso se caracterizó por la deshidratación progresiva del cuerpo (Fig. 9 d), lo que provocó desprendimiento de la epidermis en algunas partes del tórax y abdomen (Fig. 9 e), consistencia dura y oscurecimiento de la piel y disminución de masa corporal; la mayor parte de la piel se conservó en un estado de momificación incipiente; sólo la zona pegada al suelo presentaba evidencias de descomposición.



Figura 8. Estados de descomposición de *Sus scrofa* expuesto de agosto a octubre de 2005. a) Fresco, día 1. b) Hinchado, día 8. c) Descomposición activa, día 12. d) Descomposición avanzada, día 15. e) Descomposición avanzada, acercamiento día 22. f) Restos secos, día 38.



Figura 9. Estados de descomposición de *Sus scrofa* expuesto de enero a noviembre de 2006. a) Fresco, día 1. b) Hinchado con red venosa póstuma, día 20. c) Descomposición activa, día 40. d) Descomposición avanzada, día 56. e) Descomposición avanzada, desprendimiento de epidermis; día 66. f) Restos secos, día 281.

A diferencia del primer cerdo, la migración de larvas de *L. latifrons* no fue tan marcada y se dio en un número menor, el radio de dispersión no pasó más allá de 30 cm. No obstante, se incrementó la actividad de insectos hacia el final de esta fase; se colectaron adultos de *L. eximia* y *L. sericata*, de los que no se tenía registro en los estados anteriores; al igual que los necrófagos *Dermestes maculatus*, *Omosita* sp2 y *T. truncatus*, y los depredadores *Saprinus lugens*(Fig. 11 d), *Geoniysaprinus* sp e *Hister californicus*.

#### **2.5.4.5 Restos secos**

Al inicio de este estado, el primer cerdo conservaba aproximadamente una quinta parte de la masa corporal en el área del tórax y las patas (Fig. 8 f); y en un periodo de 63 días, éstos fueron consumidos junto con el tejido fibroso, ligamentos y cartílago, lo que provocó la separación de las extremidades y la mayor parte de huesos que, en un principio, permanecían unidos. Al final del experimento, sólo quedaron trozos de piel aislada del tórax, pezuñas y huesos esparcidos.

Los necrófagos característicos de esta etapa fueron *P. casei*, *Fannia* sp., *O. aenescens*, *L. sericata* y *Omosita* sp (Fig. 10 f), que en estado larval, acabaron prácticamente con los restos de tejido blando que quedaba del cuerpo. Durante este estado, arribó *Trox* sp, el último de los coleópteros necrófagos. Al inicio de esta etapa, se detectó la presencia de adultos de *L. eximia* que emergían del suelo, lo que da una idea aproximada del ciclo de vida de esta, que se estima entre 25 y 30 días.

En el segundo cuerpo, este proceso fue considerablemente más prolongado que en el primero. La deshidratación que comenzó en los estados anteriores, continuó por 232 días. Los órganos internos fueron consumidos paulatinamente, la piel se tornó dura y tomó un color que fue de pardo a oscuro; el cuerpo entero disminuyó de volumen y al final sólo quedaron expuestos algunos huesos de la parte superior del tórax, un 35% de la piel fue consumida, la cabeza no sufrió desnudez y nunca se separó del resto del cuerpo (Fig. 9 f); los restos de piel que quedaron pegadas al suelo, fueron colonizados por hongos.



Figura 10. Actividad de insectos sarcosaprofagos en cadáver de *Sus scrofa* expuesto de agosto a octubre de 2005. a) actividad de oviposición de *L. eximia*, día 3. b) Larvas LI-LIII de *L. eximia*, día 8. c) Migración de larvas de *L. eximia*, día 14. d) Larvas de *Chrisomya rufifacies* y *Cochlyomyia macellaria* en el tórax del cadáver de *S. scrofa*, día 15. e) *T. truncatus* colectado dentro del cráneo de *S. scrofa*, día 17. f) *Omosita* sp sobre restos secos, día 44.



Figura 11. Actividad de insectos sarcosaprofagos en cadáver de *Sus scrofa* expuesto de enero a noviembre de 2006. a) Primeros huevos de *Calliphora latifrons* colectados en hocico, día 3. b) *Labidus coecus* depredando larva de *C. latifrons*, día 16. c) Masa de larvas de *C. latifrons* en el costado del cadáver, día 26. d) Adulto de *Saprinus lugens* colectado el día 65. e) Adultos y pupa de *Piophila casei*, día 116. f) Actividad de larvas de *Dermestes maculatus*, día 201.

En esta etapa, los coleópteros necrófagos fueron los más característicos, se colectaron tanto adultos como larvas de *D. maculatus* (Fig. 11 f), *T. truncatus* y *Omosita* sp.; al igual que los dípteros necrófagos *H. hougui*, *P. casei* (Fig. 11 e) y *Fannia* sp. Hacia el final del proceso, se detectó la presencia de larvas de lepidópteros de la familia Tineidae; familia que se caracteriza por tener hábitos saprófagos.

Es un hecho, sin dejar de lado que el fenómeno de putrefacción inicia gracias a un proceso de fermentación pútrida de origen bacteriano (Calabuig & Villanueva. 2004), que la velocidad con la que se desarrollan los fenómenos tardíos de descomposición cadavérica están estrechamente ligados con las condiciones biogeoclimáticas y la presencia de determinado grupo de insectos (Centeno & Maldonado 2002, Tabor *et al.* 2004, Pérez *et al.* 2005). Bajo esta perspectiva, los sujetos experimentales estuvieron sometidos tanto a distintas condiciones ambientales como a diferentes grupos de insectos, lo que derivó en diferencias marcadas, en tiempo y fenología, según el proceso de descomposición en el que se encontraban. De esta forma, el primer cerdo siguió el patrón “normal” de descomposición cadavérica según se reporta en diversos trabajos (De Jong & Chadwick 1999, Lannacone 2003, García *et al.* 2004, Pérez *et al.* 2005, Sharanowsky 2008). No obstante, en el segundo cuerpo la marcha normal de la putrefacción se vió modificada; esta alteración está generalmente ligada a la humedad, temperatura y aireación ya que estos factores tienen un punto óptimo como condiciones de la putrefacción, por encima y por debajo del cual se modifica su marcha e incluso aparecen fenómenos conservadores del cadáver (Calabuig & Villanueva 2004). En este caso, las temperaturas bajas (1.5 - 6 °C) y los valores de humedad relativa menores a 50% los tres primeros meses, favorecieron la conservación del cadáver en una especie de estado momificado; por otro lado, estas mismas condiciones ambientales pudieron ser condicionantes en el retraso de la actividad de oviposición de dípteros (Higley & Haskell 2001), lo que también contribuyó en la demora del proceso de descomposición del cadáver. Aun así, la actividad de insectos fue constante (aunque en ocasiones poco perceptible) sobre todo en los días en que el cuerpo era rehidratado por lluvias esporádicas y las condiciones de temperatura y humedad eran óptimas para el desarrollo de insectos.

Es usual que en la mayoría los estudios de entomofauna cadavérica, se intente dividir los procesos de descomposición en una serie de etapas discretas, sin embargo, la descomposición es un proceso continuo y en la naturaleza no se producen combinaciones discretas de parámetros físicos y asociaciones de artrópodos (Goff *et al.* 2004); de hecho, en ocasiones estos procesos se traslapan, lo que complica el reconocimiento de los fenómenos cadavéricos, dejando a criterio del investigador la diferenciación entre las distintas etapas de descomposición (García *et al.*, 2004). De esta forma, el valor de esas etapas, como señalaron Schoenly & Reid (1987), es el de aportar puntos de referencia que permitan explicar alguno de los hechos asociados con la descomposición y sobre todo, poderlo exponer ante un tribunal o jurado.

De acuerdo a las matrices de ocurrencia, la sucesión de insectos en los cuerpos en descomposición siguió el patrón descrito por diversos autores (Centeno & Maldonado 2002, Watson & Carlton 2003, Liria 2006) en cuanto a las familias que colonizan el cadáver y las que se van sucediendo a lo largo de los procesos de descomposición.

Lo relevante del presente estudio, son las especies que fueron arribando al cadáver y que pueden ser usadas como indicadores en la aproximación al cálculo del intervalo *postmortem* en un caso con condiciones similares en la entidad. Así, en el primer cerdo, *L. eximia* tuvo un papel preponderante durante las primeras tres fases de descomposición del cadáver; la actividad de ovipostura comenzó a los 20 minutos de exponer el cuerpo; en los primeros cinco días prácticamente sólo se colectaron adultos de *L. eximia*; se podría decir que sólo las hembras de esta especie fueron las que ovipositaron sobre el cadáver en ese tiempo, lo que explica el aumento progresivo de las larvas en las fases hinchado y descomposición activa. El éxito de esta especie, mediante el predominio tanto en estado adulto como en el larval del cadáver en cuestión, se puede explicar debido a que las poblaciones de *L. eximia* son más estables que las de otros califóridos, entre otras cosas por su alta fecundidad (Gião & Godoy 2006); no obstante que las poblaciones de *L. eximia* quedan sometidas a fuertes presiones de depredación y competencia por parte de otras especies como las del género *Chrysomya* (Azeredo-Espin & Madeira 1996; Moretti & Thyssen 2004).

*C. rufifacies* y *C. macellaria*, prácticamente llegaron al cadáver al mismo tiempo, pero la primera siempre superó en número a la segunda, manteniéndose ésta hasta el final de la descomposición activa; este comportamiento se puede explicar por lo reportado por Wells & Greenberg (1992), Wells & Kurahashi (1997) y Faria & Godoy (2001), en el sentido de que cuando estas dos especies coinciden en espacio y tiempo, las larvas de *C. rufifacies* causan una sustancial mortandad sobre las larvas de *C. macellaria*. Por otro lado, *P. casei*, *O. aenescens*, y *F. scalaris* estuvieron presentes en las últimas fases de descomposición, lo que las convierte en importantes indicadores forenses ya que a los estados inmaduros de estos géneros, diversos autores las ubican generalmente siempre en los últimos estados de descomposición (Wolff 2001, Pérez *et al.* 2005, Martínez *et al.* 2007).

La actividad de los depredadores, Histeridae, Staphylinidae y Formicidae, fue mayor que la de los necrófagos, en parte por la rápida reducción de la biomasa del cuerpo debido a la gran cantidad de larvas, actividad que redujo los restos en un 80% al final de la descomposición avanzada; esto dejó poco alimento a los necrófagos, que a excepción de *Omosita* sp. y *T. truncatus*, tuvieron actividad constante durante los últimos estados de descomposición. Según Smith (1986) y Arnaldos Sanabria (2000), los depredadores son el segundo grupo de artrópodos que siguen a los necrófagos en importancia, por tanto estos también pueden ser usados como indicadores forenses; para este caso en particular, *S. lugens*, *H. californicus*, *Philontus* sp y *L. coecus* son los más representativos.

*C. latifrons* fue la especie colonizadora en el segundo cuerpo, se podría decir que bajo las condiciones ambientales descritas con anterioridad, esta especie es la única que se podría utilizar como indicadora forense en los primeros estados de descomposición; aun cuando hubo actividad de otras especies del mismo género como *C. vomitoria* y *C. coloradensis*, ésta fue mucho menor que la de la primera especie. Se dice que las especies del género *Lucilia* (= *Phaenicia*) y *Calliphora* se encuentran entre los dípteros dominantes y primeros colonizadoras de cadáveres (Smeeton *et al.* 1984). En este caso, la presencia de *C. latifrons* se puede explicar por la dominancia de este género

en épocas frías del año (Arnaldos *et al.* 2001) y por la capacidad de ovipositar en condiciones de temperatura menores a 10 °C; esto hace a las especies del género mejor adaptadas que las de *Lucilia*, cuyos umbrales mínimos de oviposición están entre los 10-12 °C (Faucherre *et al.* 1999). Por otro lado, al igual que en el cerdo A, *P. casei* y *F. scalaris* estuvieron presentes en los últimos estados de descomposición, a los que se sumó *H. hougui*; de esta forma, como lo mencionan otros trabajos (Wolff 2001, García *et al.* 2004) los estados inmaduros de estas especies se podrían usar como indicadores en un caso forense.

La velocidad con la que disminuyó la biomasa del cerdo B, favoreció la presencia de insectos necrófagos y depredadores en las primeras etapas de descomposición; en este caso, los indicadores, por su número y presencia constante a lo largo de la sucesión, serían los depredadores *S. lugens*, *Geoniysaprinus* sp, *Xerosaprinus* sp, *Hister californicus*, *Philontus* sp., *Aleochoere* sp. y *L. coecus*; y los necrófagos *D. maculatus*, *T truncatus*, *Trox* sp. y *Omosita* sp. Son de señalar dos casos en particular, la presencia de larvas de *D. maculatus* y *T. truncatus*; Kulshrestha & Satpathy (2001), Wolff (2001) y Lannacone (2003), reportan estados inmaduros de derméstidos cuando los procesos de descomposición son prolongados, lo que coincide con lo reportado en el presente trabajo; así mismo, Watson & Carlton (2005), hacen hincapié en la importancia que tienen las larvas de sílfidos para ser usadas como indicadores forenses. Otro caso es el de *Omosita* sp., cuya presencia se reporta generalmente en los dos últimos estados de descomposición (Byrd & Castner 2001, Sharonowsky 2008), en este estudio, *Omosita* sp. arribó al cadáver desde el estado hinchado; una causa probable de este comportamiento es que el cuerpo fue colocado en el mismo sitio en donde estuvo el cerdo A, aun cuando el terreno se dejó reposar dos meses antes de colocar el cadáver. Es probable que en el terreno se encontraran individuos en estado de hibernación (conducta característica de algunos coleópteros en invierno) y que fueran atraídos por la presencia del cadáver. Este dato habría que darle particular interés en futuros estudios, ya que podría tratarse de información forense importante; como por ejemplo que la presencia de nitidulidos en el estado hinchado o enfisematoso de un cuerpo, nos podría indicar que ya hubo un cadáver en ese lugar anteriormente.

Goff *et al.* (2004) mencionan que con independencia de la localidad, hay ciertos patrones que resultan comunes en la mayoría de los estudios de descomposición cadavérica y que las faunas implicadas tienden a ser regionales, excepto las faunas de amplia distribución de dípteros y coleópteros, pero las familias implicadas son bastante estables, situación que se pudo comprobar en este trabajo. Entre otros, Goff (1993) menciona que la duración de cada etapa de la descomposición y las especies exactas que se hallan presentes, varían según el lugar y la época del año; incluso variaciones menores en la localización de un cadáver pueden provocar diferencias significativas en los rangos de descomposición y en las poblaciones de insectos encontradas sobre y dentro del cuerpo. Lo anterior refleja la importancia de realizar estudios de sucesión en distintas zonas y épocas del año, ya sea en una misma localidad, municipio o estado.

De esta forma, en el presente trabajo, se dio cuenta de los cinco estados de descomposición cadavérica reconocidos por la entomología forense en dos cadáveres de *S. scrofa*, y de los insectos sarcosoprofagos asociada a estos, dicha asociación se estableció mediante un análisis de correspondencias, el cual corroboró lo reportado por diversos autores respecto al arribo de la entomofauna asociada a un cadáver; siendo evidente la llegada de diversas especies de dípteros en las primeras etapas de descomposición, para después dar paso a los coleópteros en las últimas fases de degradación, esto aun cuando los procesos de descomposición tuvieron una duración diferente, y las especies de insectos variaron en algunos estados de descomposición. Estos datos resultan ser los primeros conocidos sobre las etapas de la descomposición de cadáveres animales y la composición de la comunidad sarcosaprófaga en el Estado de México en otoño e invierno, éstos servirán como origen de una base de datos de utilidad para la práctica forense en la zona de influencia.

En México hay mucho por hacer respecto a la entomología forense ya que, hasta la fecha, no existen muchos estudios al respecto. Para ello, resultan necesarios el concurso y la colaboración de la Procuración de Justicia, médicos forenses y peritos en investigación criminal sin los que el entomólogo forense no puede desarrollar su labor pericial.

## LITERATURA CITADA

- Abell, D. H., S. S. Wasti & G. C. Hartmann. 1982.** Saprothagous arthropod fauna associated with turtle carrion. *Applied Entomology and Zoology*. 17:301-307.
- Anderson, G. & S. VanLaerhoven. 1996.** Initial studies on insect succession on carrion in Southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Sciences*. 41 (4): 617-625.
- Anderson, G. 1997.** The use of insects to determinate time of decapitation: A case-study from British Columbia. *Journal of Forensic Sciences*. 42 (5): 947-950.
- Arnaldos MI, E. Romera, M. D. García & A. Luna. 2001.** Initial Study on Sarcosaprophagous Diptera (Insecta) succession on carrion in southeastern Iberian Peninsula. *Int. J. Legal Med*. 114:156-162.
- Arnaldos Sanabria MI. 2000.** Estudio de la fauna sarcosaprófaga de la región de Murcia. Su aplicación a la Medicina Legal. Tesis Doctoral. Departamento de Biología Animal. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. 260 pp.
- Arnett Jr. R.H., M.C. Thomas, P.E. Skelley y J.H. Frank (eds.) (2002).** American Beetles. Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea. Volume 2. CRC. 861 p.
- Azeredo-Espin, A. M. L. & N. G. Madeira. 1996.** Primary myiasis in dog caused by *Phaenicia eximia* (Diptera: Calliphoridae) and preliminary mitochondrial DNA analysis of the species in Brazil. *J. Med. Entomol*. 33: 839-843.
- Bharti, M., & Singh, D. 2003.** Insect faunal succession on decaying rabbit carcasses in Punjab, India. *J Forensic Sci*. 48 (5). 1133-1143.
- Braack, L .E. O.1981.** Visitation patterns of principal species of the insect complex at carcasses in the Kruger National Park. *Koedoe*. 24:33-49.
- Byrd, J. & J. Castner. 2001.** Forensic Entomology: the utility of arthropod in legal investigations. CRC Press. USA. 418 p.

- Calabuig, J.A. & C. E. Villanueva 2004.** Medicina Legal y Toxicología. Sexta edición. Barcelona, España. 1395 p.
- Castilla G. J. 2004.** Procesos conservadores del cadáver. *In:* Calabuig, J.A. & Villanueva C. E. Medicina Legal y Toxicología. Sexta edición. Barcelona, España. 1395p.
- Catts, P. & M.L. Goff. 1992.** Forensic entomology in criminal investigations. Annual Review of Entomology. 37: 253-272.
- Centeno, N., Maldonado, M. A. 2002.** Entomofauna cadavérica asociada a cuerpos encerrados. In Simposio de Entomología Forense. pp 434.
- Coe, M, 1978.** The decomposition of elephant carcasses in the Tsavo (East) National Park, Kenya. Journal of Arid Environments 1:71-86.
- Cole, F. R. 1969.** The Flies of Western North America. Schlinger. University of California Press, Berkeley. 694 p.
- Cornaby, B. W. 1974.** Carrion reduction by animals in contrasting tropical habitats. Biotropica. 6: 51-63.
- De Jong, G. D. & J. W. Chadwick. 1999.** Decomposition and arthropod succession on exposed rabbit carrion during summer at high altitudes in Colorado, USA. J. Med. Entomolo. 36(6): 833-845.
- Denno, R. F. & W. R. Cothran. 1976.** Competitive interaction and ecological strategies of sarcophagid and calliphorid flies inhabiting rabbit carrion. Annals of the Entomological Society of America. 69:109-113.
- Early, M and L. Goff. 1986.** Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu, Hawaiian Islands, USA. Journal of Medical Entomology. 23 (5): 520-531.
- Eberhardt, T. L. & D. A. Elliot. 2008.** A preliminary investigation of insect colonisation and succession on remains in New Zealand. Forensic Sci. Int. 176: 207-223.

- Faria, L. D. B., & W. A. C. Godoy. 2001.** Prey choice by facultative predator larvae of *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae). Mem. Inst. Oswaldo Cruz 96: 875–878.
- Fauchere J., D. Cherix and C. Wyss. 1999.** Behavior of *calliphora vicina* (Diptera, Calliphoridae) Under Extreme Conditions. Journal of Insect Behavior. 5: 687-690.
- Flores, P. L., H. Sánchez, S. Ibáñez, M. D. García. 2008.** Insectos sarcosaprofagos asociados a la descomposición cadavérica de *Sus scrofa* en Texcoco, México. Entomología Mexicana. 7:768-774.
- García, M. D., M. Arnaldos, E. Lozano, A. Luna. 2004.** La entomología forense en España. In: Calabuig, J.A. & Villanueva C. E. Medicina Legal y Toxicología. Sexta edición. Barcelona, España. 1395 p.
- Goff, M. L. 1993.** Festín de pruebas de insectos al servicio forense. Informe científico patología forense 4. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. In Memorias del Taller de la Academia de Ciencias Forenses, Reunión Anual de la AAFS. Boston, Massachusetts, 16 de febrero de 1993. 28-34 pp.
- Goff, M. L., A. I. Omori, & K. Gunatilake. 1988.** Estimation of postmortem interval by arthropod succession. Am. J. Foren. Med. Pathol. 9: 220-225.
- Goff M. L., M. D. García, M. Arnaldos & R. E. Lozano. 2004.** Entomología cadavérica: fundamentos y aplicación. Referencia a la entomología española. In Calabuig, J.A. & Villanueva C. E. Medicina Legal y Toxicología. Sexta edición. Barcelona, España. 253-262.
- Gião, J. Z. & W. A. C. Godoy. 2006.** Seasonal population dynamics in *Lucilia eximia* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae). Neotrop. Entomol. 35: 753-756.
- Gomes, L., & C. J. Zuben. 2004.** Dispersão larval radial pós-alimentar em *Lucilia cuprina* (Diptera, Calliphoridae): profundidade, peso e distância de enterramento para pupação. Lheringa, Sér. Zool. 94: 135-138.

- Grassberger, M. & C. Reiter. 2001.** Effect of temperature on *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) development with special reference to the isomegalen – and isomorphen diagram. *Forensic Sci. Int.* 120: 32-36.
- Greenberger, B & M. Szyska. 1984.** Immature stages and biology of fifteen species of Peruvian Calliphoridae (Diptera). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77:488-517.
- Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham & W. C. Black. 1998.** Multivariate data analysis, 5th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Higley, L. G. & H. Haskell. 2001.** Insect development and forensic entomology. *In:* Byrd, J. & J. Castner. (eds) *Forensic Entomology: the utility of arthropod in legal investigations.* CRC Press. USA. 418p.
- Hölldobler, B. & Willson E. O. 1990.** The ants. Harvard University Press. Cambridge, MA. 732p.
- Jiron, L. F. & V. M. Cartin. 1981.** Insect succession in the decomposition of a mammal in Costa Rica. *New York Entomological Society.* 89:158-165.
- Komar, D & O. Beattie. 1998.** Postmortem insect activity may mimic perimortem sexual assault clothing patterns. *Journal of Forensic Sciences.* 43 (4): 792-796.
- Kulshrestha P. & D. K. Satpathy. 2001.** Use of beetles in forensic entomology. *For. Sci. Int.* 120: 15-17.
- Lannacone, J. 2003.** Artropofauna de importancia forense en un cadáver de cerdo en el Callao, Perú. *Rev. Bras. Zool.* 20: 85-90.
- Liria S. J. 2006.** Insectos de importancia forense en cadáveres de ratas, Carabobo – Venezuela. *Rev. Per. Med. Exp. Salud Publica* 23: 33-37.
- Liu D. & B. Greenberg. 1989.** Inmature stages of some flies of forensic importante. *Ann. Entomol. Soc.* (1): 80-93
- Magaña, C. 2001.** La entomología forense y su aplicación a la medicina legal. Data de la muerte. *Aracnet 7-Bol. S.E.A.* 28: 49-57.

- McAlpine, J.F., Peterson, B.V., Shewell, G.E., Teskey, H.J., Vockeroth, J.R. & D.M. Wood (eds.) 1987.** Manual of Nearctic Diptera. Volume 2. Agriculture Canada Monograph 28.
- Martínez, E., Duque, P. & Wolff, M. 2007.** Succession pattern of carrion-feeding insects in Paramo, Colombia. *Forensic Science International*. Elsevier. Vol.162: 182-189.
- Martinez, M. D., Arnaldos M.I., Romera E. & García M. D. 2002.** Los formicidae (Hymenoptera) de una comunidad sarcosaprofaga em um ecosistema mediterrâneo. *Anales de Biología*. 24: 33-44.
- Moretti, T., C. & P. J. Thyssen. 2004.** Mífase primária em coelho doméstico *Oryctolagus cuniculus* (Lagomorpha: Leporidae) causada por *Lucilia eximia* (Diptera: Calliphoridae) no Brasil. *Arq. Inst. Biol.* 71: 619-621.
- Moura, M. & C. De Carvalho. 1997.** A preliminary analysis of insects of medico-legal importance in Curitiba, State of Paraná. In *Memorias del Instituto Oswaldo Cruz*. Rio de Janeiro. 92 (2): 269-274.
- Nava H. M., A. Basurto, H. Molina, J. Luy, S. Gutiérrez, N. Galindo. 2008.** Determinación de ADN humano en larvas de dípteros colectadas en distintos tejidos. *Entomología Mexicana*. 6.
- Olaya, L., A. 2001.** Entomofauna sucesional en el cadáver de un cánido en condiciones de campo en la universidad del valle (Cali-Colombia). *Cuadernos de Medicina Forense*. 23: 5-14.
- Ordóñez, A., M. D. García & G. Fagua. 2008.** Evaluation of the collection efficiency of the Schoenly trap for collecting adult sarcosaprophagous dipterans. *J. Med. Entomol.* 3: 522-532
- Pérez, S. P., Duque, P. & Wolff, M. 2005.** Successional behavior and occurrence matrix of carrion-associated arthropods in the urban area of Medellín, Colombia. *J Forensic Sci.* 50 (2): 1-7.

- Podani, J. 1994.** Multivariate data analysis in ecology and systematics. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.
- Putman, R. J. 1978.** Flow of energy and organic matter from a carcass during decomposition. *Oikos* 31: 58-68.
- Rodriguez, W.C. & W.M. Bass. 1983.** Insect activity and its relation to decay rates of human cadavers in East Tennessee. *J. Forensic Sci.* 28: 423-432.
- Roux, O., C. Gers, N. Telmon & L. Legal. 2006.** Circular dispersal of larvae in the necrophagous Diptera *Protophormia terraenovae*. *Ann. Soc. Entomol.* 42: 51-56.
- Schoenly, K., Griest, K. & Rhine, S. 1991.** An experimental field protocol for investigating the postmortem interval using multidisciplinary indicators. *Journal of Forensic Sciences. JFSCA.* 36 (5): 1395-1415.
- Schoenly, K. & W. Redi. 1987.** Dynamics of heterotrophic succession in carrion arthropod assemblages: Discrete series or a continuum of change? *Oecology.* 73:192-202.
- Sharanowsky, B. J., E. G. Walker & G. S. Anderson. 2008.** Insect succession and decomposition patterns on shaded and sunlit carrion in Saskatchewan in three different seasons. *Forensic Sci. Int.* 179: 219-240.
- Shean B.S., Messinger L., & M. Papworth. 1993.** Observations of differential decomposition on sun exposed v. Shaded Pig Carrion in Coastal Washington State. *J Forensic Sci.* 38: 938-949.
- Smith, K.G.V. 1986.** A Manual of Forensic Entomology. New York, Comstock. 205 p.
- Smeeton, W. M. I., T. D. Koelmeyer, B. A. Holloway & P. Singh 1984.** Insects associated with exposed human corpses in Auckland (New Zealand). *Med. Sci. Law,* 24:167-174.
- Stehr F. W. 1991.** Inmature insects. Vol 1 & 2. Kendall/Hunt Publishing Company. 975 p.

- Tabor, K. L., Brewster, C. C. & Fell, R. D. 2004.** Analysis of the successional patterns of insects on carrion in southwest Virginia. *J. Med. Entomol.* 41:785-795.
- Tabor, K. L., Brewster, C. C. & Fell, R. D. 2005.** Insect fauna visiting carrion in Southwest Virginia. *J. Med. Entomol.* 150:73-80.
- Triplehorn, C. A. & Johnson, N. F. 2005.** Borror and DeLong's Introduction to the Study. Thomson Cole USA. 864 p.
- Vázquez, S. R., V. D. Stephano, H. C. Marín, C. A. Rodríguez, M. J. Flores & Díaz, T. P. 2007.** Dípteros necrófagos del estado de Nuevo León, México. *Entomología Mexicana*. Vol. 6: 885-888.
- Villamil, R. E., N. Galindo. & J. L. Navarrete. 2007.** Caracterización de la coleopterofauna asociada a cadáveres de *Mus musculus* L. en la reserva ecológica del pedregal. *Entomología Mexicana*. Vol. 6: 885-888.
- Watson, E. J., & C. E. Carlton. 2003.** Spring succession of necrophious insects on wildlife carcasses in Louisiana. *J. Med. Entomol.* 40: 338-347.
- Watson E. J. & C. E. Carlton. 2005.** Succession of forensically significant Carrion Beetle larvae of large carcasses (Coleoptera: Silphidae). *Southeastern Naturalist*. 4: 335-346.
- Wells, J. D. & B. Greenberg. 1992.** Interaction between *Chrysomya rufifacies* and *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae): the possible consequences of an invasion. *Bulletin of Entomological Research* 82:133-137.
- Wells, J.D. & H. Kurahashi. 1997.** *Chrysomya megacephala* is more resistant to attack by *Ch. rufifacies* in a laboratory arena than is *Cochliomyia macellaria*. *Pan-Pacific Entomologist* 73:16-20.
- Whitworth, T. 2006.** Keys to the genera and species of blow flies (Diptera: Calliphoridae) of America North of México. *Proc. Entomol. Soc Wash* 108(3): 689-725.
- Wolff, M., A. Uribe, A. Ortiz & P. Duque. 2001.** A preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. *Forensic Science International*. 120: 53-59.

## **PAPEL DE LOS TRES PRINCIPALES DÍPTEROS NECRÓFAGOS EN LA DESCOMPOSICIÓN CADAVÉRICA DE *Sus Scrofa* EN TEXCOCO, MÉXICO.**

### **3.2 RESUMEN**

De agosto a octubre de 2005 se expuso a la intemperie el cadáver de un cerdo para el estudio de insectos sarcosaprófagos. Se encontró que la especie *L. eximia* (Wiedemann, 1819) fue la más abundante con un total de 2717 larvas y adultos colectados. Esta especie tuvo un papel determinante en la descomposición cadavérica de *Sus scrofa* en Texcoco, México, ya que fue la primera en arribar y la que se mantuvo durante los periodos de descomposición fresco, hinchado y avanzada. Se presentan gráficas de fluctuación tanto de adultos como de larvas durante los periodos en los que estuvo presente en el cadáver. También se reporta un himenóptero parasitoide (Ichneumonidae), asociado a las larvas de esta especie.

**PALABRAS-CLAVE.** Entomología forense, moscas verdes, sucesión, *Chrysomya rufifacies*, *Cochliomyia macellaria*.

## THE ROLE OF THREE IMPORTANT NECROPHAGOUS DIPTERA IN THE DECOMPOSITION OF *Sus scrofa* CORPSE IN TEXCOCO, MEXICO

### 3.1 ABSTRACT

From August to October 2005, the corpse of a pig was exposed at interperateness for the study of sarco-saprophagous insects. *Lucilia eximia* (Wiedemann) was the most abundant species, with a total of 2717 larvae and adults collected. This species had a determinant role in the corpse decomposition of *Sus scrofa* in Texcoco, Mexico, being the first in arriving and to be present during the fresh, swelled, and advanced decomposition periods. Abundance fluctuation of *L. eximia*'s larvae and adults during the periods in which was present in the corpse, are graphically presented. Additionally, a hymenopterans' parasitoid (Ichneumonidae), associated to the larvae of this species is here reported.

KEY-WORDS. Forensic entomology, green blowflies, succession, *Chrysomya rufifacies*, *Cochliomyia macellaria*.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

La entomología forense es el uso de los insectos y otros artrópodos como herramienta y evidencia en asuntos legales (Anderson 2001, Byrd & Castner 2001). Lord & Stevenson (1986) dividieron esta ciencia aplicada en tres áreas principales, siendo la entomología médico criminal la relacionada con el uso de insectos en la resolución de crímenes. Los insectos, al ser los primeros organismos macroscópicos en llegar a un cadáver, son de gran utilidad en las investigaciones criminales (Carvalho *et al.* 2000), debido a que las especies son atraídas por estados de descomposición específicos y permanecen en el cadáver por un periodo determinado de tiempo, lo que produce una sucesión de fauna en el cadáver. La colonización del cadáver depende de muchos factores, siendo determinante la región geográfica en la que los restos son encontrados, debido al tipo de suelo, a las condiciones meteorológicas y a los componentes del ecosistema (Byrd & Castner 2001). La velocidad con la que ocurren los procesos de descomposición varía con la temperatura, la precipitación pluvial, la humedad relativa atmosférica, el microclima, el grado de insolación, etc., en las diferentes estaciones del año. Por lo tanto, la recolección cuidadosa de datos en campo, aunado al conocimiento biológico de los insectos colectados, permite tanto la reconstrucción de los hechos a ser incluidos durante la investigación, como la estimación del intervalo *postmortem* (IPM) (Benecke 1998).

Según información publicada sobre insectos sarcosaprófagos, el orden dominante es Diptera, y en particular las familias Calliphoridae y Sarcophagidae (Byrd & Castner 2001, Arnaldos *et al.* 2004, Gruner *et al.* 2007). Varias especies de los géneros *Lucilia* Robineau-Desvoidy, *Chrysomya* Robineau-Desvoidy, *Cochliomyia* Townsend, *Cynomya* Robineau-Desvoidy, *Calliphora* Robineau-Desvoidy, *Phormia* Robineau-Desvoidy, *Phaenicia* Robineau-Desvoidy (Calliphoridae) y *Sarcophaga* Meigen *sensu lato* (Sarcophagidae), se han informado en México como colonizadoras de cadáveres, la mayoría invasoras durante los primeros estados de descomposición como lo demuestran algunos estudios realizados en el estado de Nuevo León y en el Distrito Federal (Molina *et al.* 2006, Quintero *et al.* 2006, Vázquez *et al.* 2007).

Como resultado de un estudio de sucesión de insectos necrófagos en *Sus scrofa* realizado en el estado de Aguascalientes, México, Martínez *et al.* (2007a) informaron que *Lucilia eximia* fue una de las especies principales en la colonización del cadáver. Además de su importancia médico veterinaria como causante de miasis secundaria en humanos y miasis primaria en animales (Moretti & Thyssen 2004), esta especie ha sido aprovechada en medicina forense como indicador para la estimación del IPM (Moura *et al.* 1997). *Lucilia eximia* ha sido registrada tanto en zonas rurales como urbanas, considerándose una especie sinantrópica importante junto con otras especies de califóridos (Stevens & Wall 1996). Esta especie se distribuye ampliamente en las regiones neártica y neotropical y se le ha visto alimentándose en animales en descomposición y en fruta podrida, siendo común en los basureros de zonas urbanas (Moretti & Thyssen 2004).

Como parte de un estudio de sucesión de la entomofauna cadavérica realizado en Texcoco, Estado de México y dada la carencia de datos en esta región sobre *L. eximia* y su importancia en el proceso de descomposición de cadáveres, en este trabajo se presentan datos sobre su fluctuación poblacional a lo largo de las distintas etapas de descomposición de un cuerpo, además se hace una comparación con la fluctuación poblacional de *Chrysomya rufifacies* y *Cochliomyia macellaria* y se notifica un himenóptero parasitoide de *L. eximia*.

## **2. 4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.4.1 Zona de estudio**

El experimento se realizó al aire libre, en una zona arbolada con predominancia de *Casuarina sp.*, *Eucalyptus sp.*, y *Cupressus sp.*, a una distancia de 15 m de los campos agrícolas experimentales del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en Texcoco, Estado de México. El clima del municipio es templado semiseco, con una temperatura media anual de 15.9°C, con heladas poco frecuentes y una precipitación pluvial media anual de 686.0 mm. Sus vientos dominantes son del sur, y está ubicado en las coordenadas 98° 39' 28" O y 19° 23' 40" N.

## 2.4.2 Establecimiento del experimento

Se empleó como modelo un ejemplar de cerdo (*Sus scrofa* L.) de 12 kg de peso. El animal fue sacrificado por asfixia con CO<sub>2</sub>; cinco minutos después de su deceso, se colocó en posición lateral dentro de una jaula y se expuso a la colonización de insectos, ésta contaba con las siguientes características: 150 x 100 x 50 cm, con dos cubiertas, una de alambre con tejido hexagonal de una pulgada de abertura para proveer soporte y otra de tela de alambre tipo mosquitero, a la cual se le hicieron 28 orificios, 14 de los cuales se dejaron abiertos para permitir la entrada de insectos, mientras que a los 14 restantes se les adaptó frascos de plástico de 400 mL para la captura; en la parte superior de la jaula se adaptó otra trampa con un envase de plástico de 5 L de capacidad (Fig. 1). La jaula se diseñó tomando como base el modelo de la trampa de Schoenly, utilizada para estudios ecológicos de artrópodos carroñeros (Schoenly *et al.* 1991), cuya eficacia en los estudios de fauna sarcosaprófaga ha sido recientemente demostrada (Ordóñez *et al.* 2008).

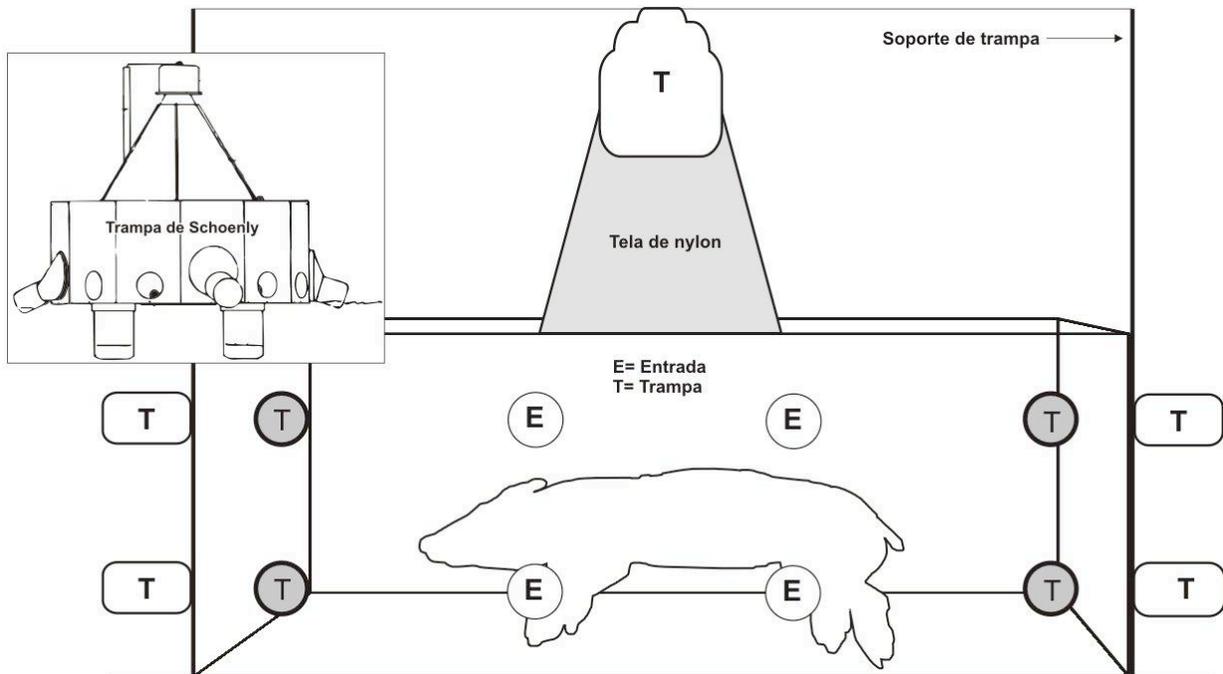


Figura 1. Jaula diseñada para el estudio de sucesión de fauna cadavérica. En cuyo interior se colocó un cerdo de 12 kg de peso.

#### **2.4.2 Colecta de especímenes.**

Debido a que el micro ecosistema cerdo-muerto se altera a una velocidad no necesariamente uniforme según la etapa de descomposición, los muestreos se fueron espaciando conforme al paso del tiempo (Bharti & Singh.. 2003, Tabor *et al.* 2004, Tabor *et al.* 2005, y Eberhart & Elliot 2007). Los muestreos se realizaron del 2 de agosto al 31 de octubre de 2005, i. e. por un periodo de tres meses, con capturas dos veces al día entre las 13:00-15:00 y las 16:00-18:00 horas los primeros 32 días, para continuar con capturas cada vez más espaciadas hasta alcanzar una captura cada tres días, ya que la actividad de insectos disminuyó en las últimas fases de descomposición. La colecta incluyó tanto larvas como adultos, así como larvas halladas en el suelo que se preparaban a pupar.

Los adultos fueron obtenidos de las trampas adaptadas en la jaula para ser preservados en alcohol al 70% (Fig. 2 a); las larvas se colectaron con ayuda de pinzas entomológicas y cucharas de plástico, obteniendo los individuos de los sitios donde se agrupaban para alimentarse y anotando la zona del cuerpo considerando la cabeza, tórax-abdomen, ano y extremidades por separado (Fig. 2 b); las larvas obtenidas durante los diez minutos dedicados a cada zona del cuerpo fueron colocadas en recipientes de 25 mL y fijadas en alcohol al 70% previo sacrificio en agua a 90 °C por dos minutos. Las larvas en estado postalimentario se colectaron del suelo con una pala de jardinería a un rango de profundidad de 5 a 20 cm y a un radio de 2 m del cuerpo en descomposición, para colocarlas en frascos de 500 y 250 mL junto con el sustrato de donde se recogieron, para permitir la pupación y la obtención de adultos (Fig. 2 c). También se recogieron masas de huevos de aproximadamente 100 individuos encontrados en la boca, cabeza y tórax del cerdo, para criarlos hasta la fase adulta y facilitar la identificación de la especie; las larvas fueron alimentadas con hígado de pollo dentro de frascos de 100 mL de capacidad, usando como sustrato polvo de diatomea (Fig. 2 d). En los días de colecta, se observaron los fenómenos de descomposición y sus características, con el fin de asociar cada uno de los estados de desarrollo del insecto con las fases de descomposición del cadáver.



Figura 2 Colecta, cría y preservación de ejemplares de *L. eximia*. a) Trampa con adultos. b) Colecta de larvas. c) Adulto de larva enterrada. d) Cría de larvas en cuerpo.

Los datos de temperatura, humedad relativa y precipitación fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el campus donde se realizó el estudio.

Para la identificación taxonómica de larvas se emplearon los trabajos de Greenberg & Szyska (1984) y para adultos el de Whitworth (2006) para adultos.

## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron los parámetros físicos de temperatura, humedad relativa y precipitación del 2 de agosto al 31 de octubre de 2005, intervalo de tiempo en el que se expuso el sujeto experimental (Fig. 3). Durante este periodo la temperatura promedio fue de 16.7 °C, registrándose un valor diario máximo de 27 °C y uno mínimo de 0 °C en el mes de octubre; la humedad relativa (HR) osciló entre el 60% y 70%, con una máxima de 97% a finales de agosto. La precipitación acumulada fue de 217.9 mm, obteniendo la máxima en el mes de agosto con 111 mm. La precipitación, la temperatura y la humedad relativa influyen considerablemente en la duración de los estados de descomposición, así como en la abundancia, la diversidad y la composición de la fauna de insectos. En este caso, la precipitación fue un factor importante durante el estudio ya que hubo 40 días de lluvia repartidos en los tres meses, lo que mantuvo una hidratación constante en el tejido del cadáver y, aunado a las temperaturas y HR antes mencionadas, crearon un ambiente propicio para el desarrollo de bacterias, hongos y larvas de insectos (Grassberger & Reiter 2001).

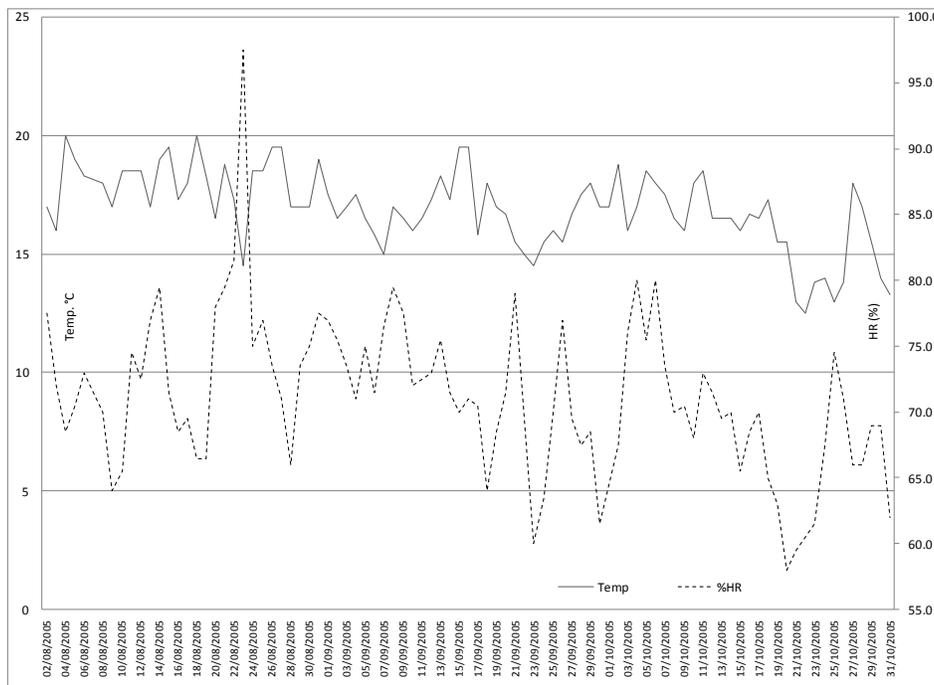


Figura 3. Promedios de temperatura y humedad relativa, registrados por la estación meteorológica de Montecillo de agosto a octubre de 2005.

En 54 días de muestreo, se colectaron 2717 individuos de *L. eximia*; 319 adultos, 2102 larvas y 296 larvas enterradas de las cuales 292 alcanzaron el estado de adulto en cautiverio. También se obtuvieron 920 ejemplares de *Chrysomya rufifacies* (Macquart) de los cuales 279 fueron larvas y 641 adultos, así como 595 individuos de *Cochliomyia macellaria* (Fabricius), representada por 156 larvas y 439 adultos. La fluctuación de la abundancia *L. eximia* durante las distintas fases de descomposición se ilustra en la Fig. 4.

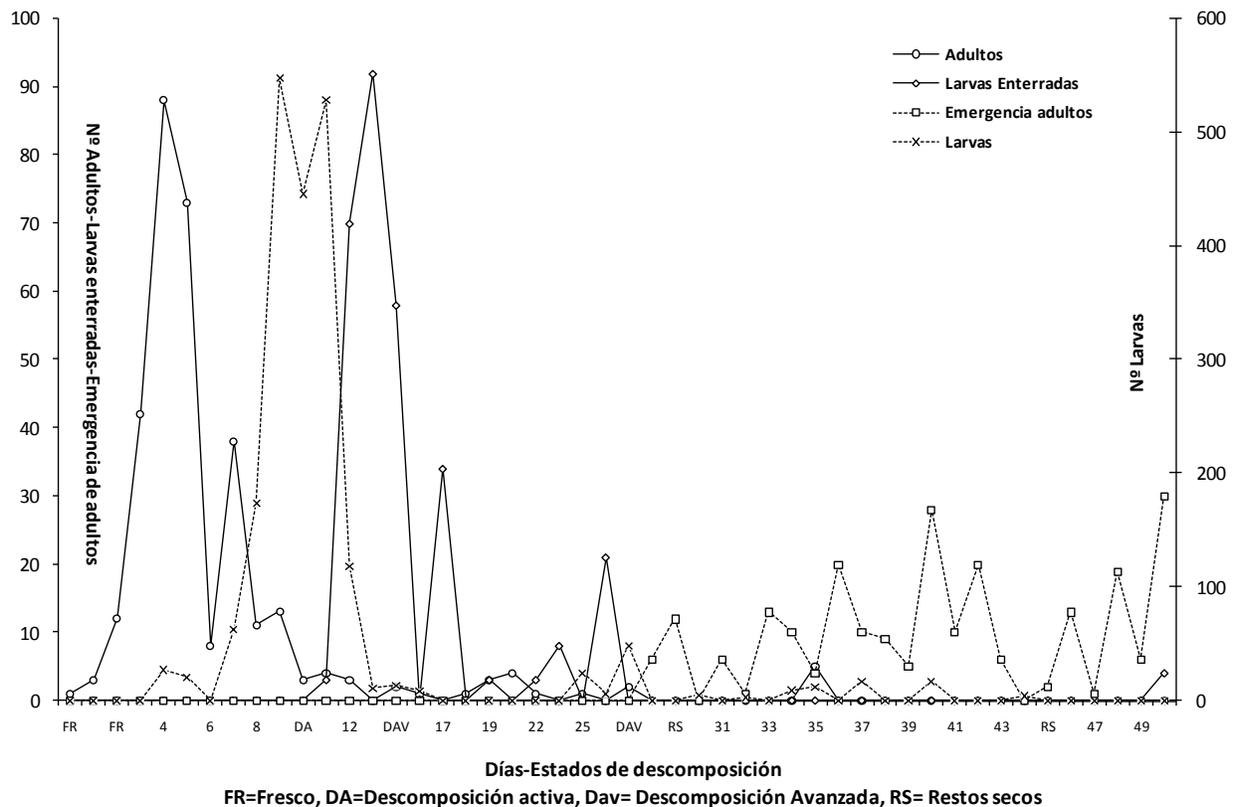


Figura 4. Fluctuación de individuos de *L. eximia* durante las distintas fases de descomposición de *S. scrofa*, expuesto en los meses de agosto a octubre de 2005. Texcoco, Estado de México.

Las hembras de *L. eximia* comenzaron a arribar a los 20 minutos de haberse colocado el cuerpo, realizando las primeras oviposaduras tres minutos después de su arribo, corroborándose que, de manera general, los dípteros de la familia Calliphoridae son los primeros en llegar un cuerpo minutos después de haber quedado sin vida (Watson &

Carlton 2003, Carvalho *et al.* 2004, Velásquez 2008). La primera ovipostura ocurrió en el interior del hocico, seguida de los distintos orificios naturales del cuerpo como nariz, ojos y ano. La ovipostura en orificios naturales protege a los huevos y futuras larvas de las inclemencias del medio externo (Pérez *et al.* 2005 y Martínez *et al.* 2007 b), considerándose una estrategia evolutiva para minimizar la desecación y depredación de los huevos y larvas pequeñas (Anderson 2001). Los eventos de ovipostura fueron incrementándose desde el primer día en el estado fresco hasta alcanzar su máximo en el estado hinchado, llegando a cubrir el 20% del cuerpo en el día seis y ocupando principalmente el hocico, el cráneo, el pliegue de las orejas, las ingles y las superficies corporales en contacto con el suelo. De los días uno al ocho, se obtuvieron 14 muestras de huevos para su crianza en laboratorio, mismos que correspondieron en su totalidad a la especie *L. eximia*, lo que hace suponer que hasta antes del día ocho la mayoría de huevos puestos sobre el cadáver pertenecían a dicha especie. Al inicio del estado hinchado, que correspondió al día cuatro, la actividad de larvas LI y LII comenzó a ser evidente y, para el día siete, éstas se desbordaban por el hocico. A partir del día 10, momento en el que se rompió la pared abdominal, se observó mayor actividad de larvas LIII; esta actividad se fue incrementando hasta el día 13, en el que se colectó el mayor número de larvas, con mayor actividad en la región abdominal, debido en gran parte a la exposición de vísceras. Las zonas con mayor abundancia de larvas de mosca fueron la cabeza, tórax y abdomen. En el día cinco, se detectó la presencia de adultos de las especies de *C. rufifacies* y *C. macellaria*, dos especies comunes en estudios de fauna sarcosaprófaga (Sukontason *et al.* 2001, Wolff *et al.* 2001, Lannacone 2003), pero no fue hasta los días 12-13 que las larvas LIII de éstas dos especies comenzaron a aumentar en número, tiempo en el que las larvas de *L. eximia* disminuía de forma evidente. En las figuras 5 y 6, se observa la fluctuación de adultos y larvas LIII de las tres especies.

De la totalidad de larvas colectadas en el cerdo, 5.9% correspondieron a *C. macellaria*, 10.5% a *C. rufifacies* y 82% a *L. eximia*, por lo que esta última especie mostró mayor actividad de alimentación y degradación de los restos durante las fases hinchado, descomposición activa y a inicios de la descomposición avanzada en el día 15. En

cuanto a la actividad *C. rufifacies* y *C. macellaria*, ésta se hizo notoria toda vez que la actividad de *L. eximia* comenzó a decaer, haciéndose mas evidente durante la descomposición avanzada.

En el día cinco, se detectó la presencia de adultos de las especies de *C. rufifacies* y *C. macellaria*, dos especies comunes en estudios de fauna sarcosaprófaga (Sukontason *et al.* 2001, Wolff *et al.* 2001, Lannacone 2003), pero no fue hasta los días 11-13 que larvas LIII de éstas dos especies comenzaron a aumentar en número, tiempo en el que las larvas de *L. eximia* disminuía de forma evidente. En las figuras 5 y 6, se observa la fluctuación de adultos y larvas de las tres especies.

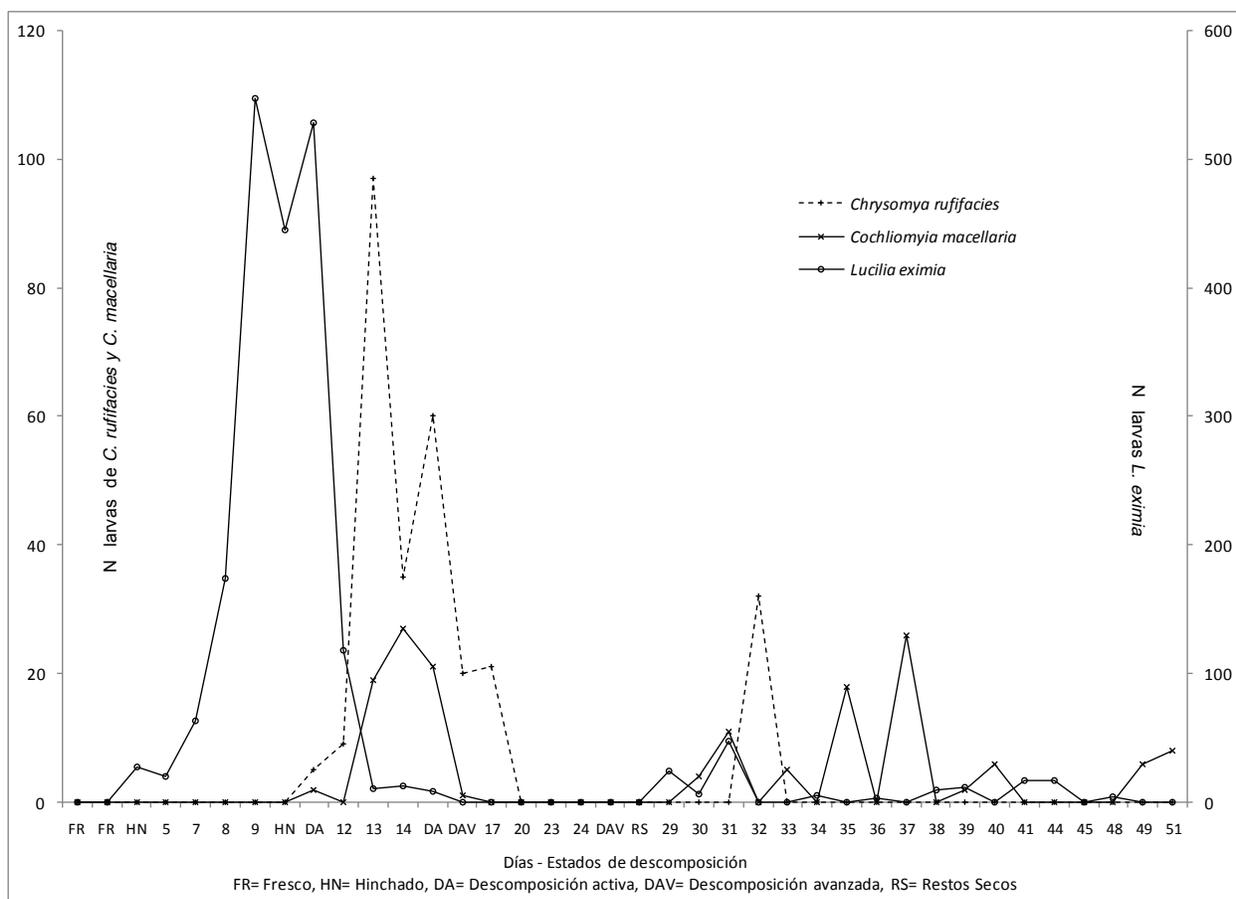


Figura 5. Fluctuación de larvas LIII de *L. eximia*, *C. rufifacies* y *C. macellaria* durante las distintas fases de descomposición de *S. scrofa*, expuesto en los meses de agosto a octubre de 2005. Texcoco, Estado de México.

Del día 12 al 57 se colectaron 328 larvas de *L. eximia* que estaban por pupar las cuales se encontraban en un radio de dispersión de 5 a 190 cm con respecto al cuerpo y a una profundidad en el suelo de 5 a 20 cm; la mayor concentración de larvas se dio en el rango de los 5 a 30 cm, lo que concuerda con algunos estudios de dispersión larval donde se menciona que la mayor cantidad de individuos se concentra en los primeros centímetros de donde originalmente se alimentaban las larvas y disminuye conforme se alejan del punto de alimentación (Gomes & Zuben 2004, Roux *et al.* 2006). Entender los factores que determinan la dispersión larval (competencia, canibalismo, densidad de larvas, sustrato, fotoperiodo, etc.) y conocer el rango de dispersión y la profundidad a la que pupan, puede ser de utilidad en el cálculo del IPM (Gomes *et al.* 2006). En este caso particular, pasaron 18 días desde que se observaron las primeras larvas en estado postalimentario hasta que se detectó la emergencia de adultos (fig. 4). La migración de larvas de *C. rufifacies* y *C. macellaria*, comenzó a inicios de la fase de restos secos, principalmente debajo y entre los restos.

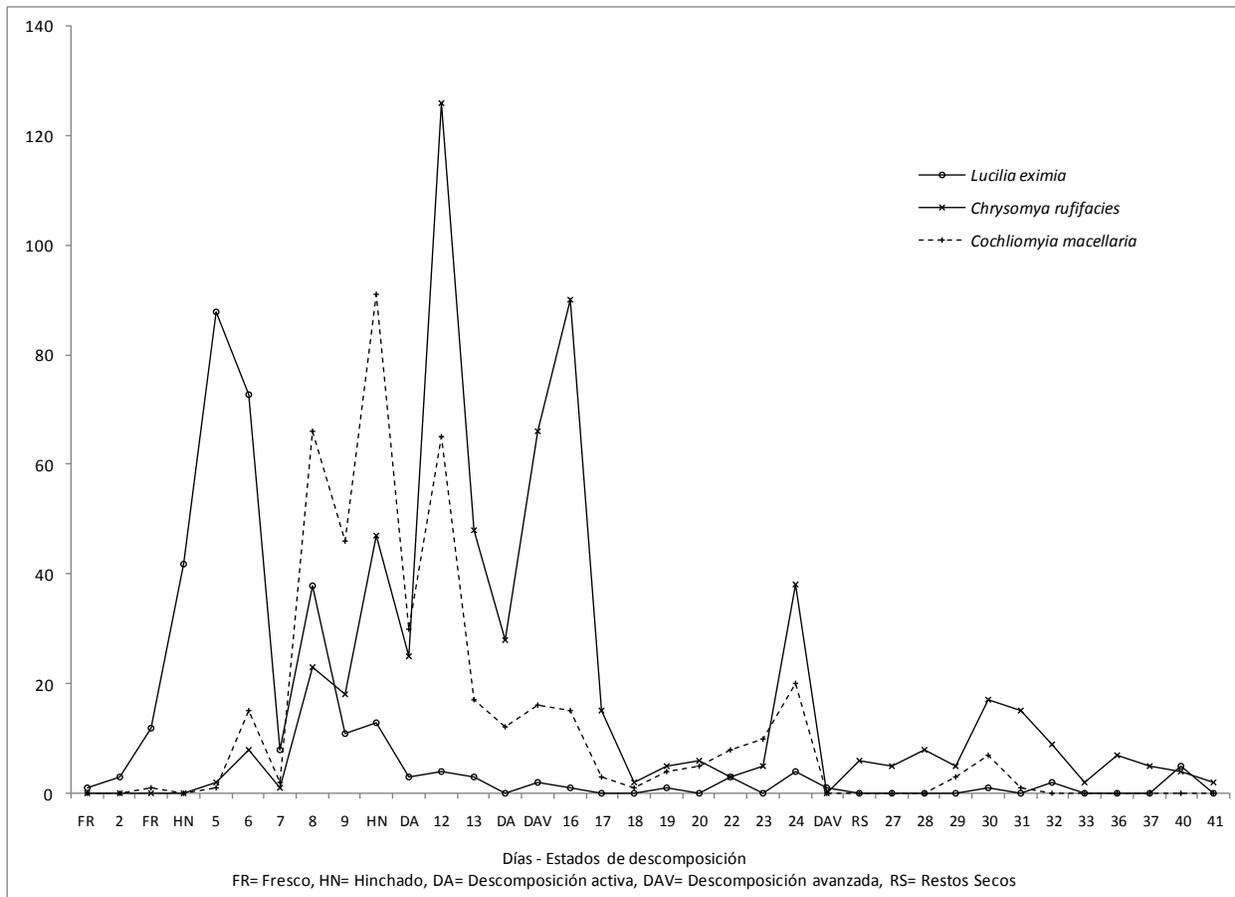


Figura 6. Fluctuación de adultos de *L. eximia*, *C. rufifacies* y *C. macellaria* durante las distintas fases de descomposición de *S. scrofa*, expuesto en los meses de agosto a octubre de 2005. Texcoco, Estado de México.

Los adultos de *L. eximia* llegaron al cadáver desde el primer día y su número fue aumentando hasta llegar a su máxima densidad durante los días cinco y seis en el estado hinchado, periodo en el que se obtuvo la mayor cantidad de adultos; hasta ese día ya se contaba con 218 ejemplares de los 318 que se obtuvieron en total. La cantidad de adultos colectados disminuyó a partir del día 10 toda, vez que hacia mediados de la fase hinchado comenzó el arribo de las especies *C. rufifacies* y *C. macellaria*, colectando esporádicamente algunos individuos hasta el día 32.

Como se puede apreciar, *L. eximia*, *C. rufifacies*, y *C. macellaria* tuvieron una gran actividad y un papel preponderante durante las primeras tres fases de descomposición del cadáver. En los primeros cinco días prácticamente sólo se colectaron adultos de *L. eximia*; se podría decir que sólo las hembras de esta especie fueron las que

ovipositaron sobre el cadáver en ese tiempo, lo que explica el aumento progresivo de las larvas en las fases hinchado y descomposición activa; así como la cantidad de huevos fue aumentando, el número de larvas siguió el mismo patrón hasta llegar a su máximo en el periodo antes mencionado. Gião & Godoy (2006) indicaron que las poblaciones de *L. eximia* son más estables que las de otros califóridos, entre otras cosas por su alta fecundidad, lo que explica el éxito de la especie mediante el predominio tanto en estado adulto como de larvas en el cadáver en cuestión. Por otra parte, Azeredo-Espin & Madeira (1996) y Moretti & Thyssen (2004), indican que las poblaciones de *L. eximia* quedan sometidas a fuertes presiones de depredación y competencia por parte de otras especies como las del género *Chrysomya*. Sin embargo, en este estudio el número de larvas de *L. eximia* disminuyó cuando las larvas de *C. rufifacies* aun no alcanzaba su número máximo, por lo que es factible suponer que la población de *L. eximia* disminuyó de manera natural y sin presiones de depredación. No obstante, no se descarta el carácter depredador facultativo de las larvas de *C. rufifacies* (Wells & Greenberg 1992, Faria *et al.* 2004), ya que a pesar de que ésta especie y *C. macellaria*, prácticamente llegaron al cadáver al mismo tiempo, la primera siempre superó en número a la segunda, manteniéndose ésta hasta el final de la descomposición activa (Fig. 4). Esto refuerza lo informado por distintos autores (Wells & Greenberg 1992, Wells & Kurahashi 1997, Faria *et al.* 2001, Battán Horenstein *et al.*, 2007) en el sentido de que cuando estas dos especies coinciden en espacio y tiempo, las larvas de *C. rufifacies* causan una sustancial mortandad sobre las larvas de *C. macellaria*. Por último, e independientemente de las demás especies involucradas en el estudio, se puede apreciar una sucesión de las tres especies: *L. eximia*, *C. rufifacies* y *C. macellaria*, en este orden. Así, *L. eximia* funciona como especie primaria mientras que las otras dos especies se muestran como secundarias.

Con los datos obtenidos, y considerando una temperatura y HR promedio de 17.5 °C y 72.5% respectivamente, se puede tener una aproximación del ciclo de vida de *L. eximia*: tres días después de la primera ovipostura se hizo evidente la actividad de larvas LI, hacia el día siete de las larvas LIII, para el día 13 las larvas ya se encontraban en estado postalimentario y, por último, para el día 31 se observó la

emergencia de adultos en campo, esto es, tres días en estado de huevo, nueve en estado de larva y 18 días en estado de pupa; si esta información se refuerza con datos de la cría de *L. eximia* en condiciones de laboratorio bajo condiciones similares de temperatura y HR, éstos se podrían utilizar para el cálculo del intervalo *postmortem* en un caso real.

De las 296 pupas de *L. eximia* mantenidas en laboratorio, 4 dieron lugar a la emergencia de himenópteros adultos de *Phyadeuon* sp. (Ichneumonidae:Cryptinae) lo que constituye el primer hallazgo de este parasitoide en México. Se dice que la presencia de parasitoides pueden influir en el cálculo del IPM ya que intervienen directamente en el desarrollo de las larvas y pupas lo que puede provocar cambios en el crecimiento, densidad, ciclo de vida y sobrevivencia de pupas (Turchetto and Vannin 2004, Disney *et al.* 2004); en este estudio, sólo se observó parasitoidismo en 1.6% de las pupas, lo que no es lo suficientemente elevado como para alterar los resultados en investigaciones forenses (Castillo 2001).

Las especies estudiadas en este trabajo, proporcionan información que puede resultar de interés forense, ya que tuvieron una participación muy marcada durante la descomposición cadavérica de *S. scrofa*, desde el momento que empiezan las oviposturas en el estado fresco e hinchado, por parte de *L. eximia*, hasta el instante que las larvas de dicha especie comienzan a migrar para completar su desarrollo, suceso que marca el paso de la descomposición activa a la avanzada; de igual forma, la emergencia de adultos al inicio de los restos secos, nos da la idea del tiempo que ha pasado desde la aparición de esta especie. En cuanto a *C. rufifacies* y *C. macellaria*, se resalta su presencia hacia finales del estado hinchado, haciéndose evidente la actividad larval hacia finales de la descomposición activa, en la descomposición avanzada y su migración a inicio de la fase de restos secos.

Los géneros *Lucilia*, *Chrysomya* y *Cochliomyia* son de los más reportados en estudios de sucesión cadavérica, lo que les confiere importancia en la entomología médico legal. Por esta razón, el conocimiento de las especies de estos géneros, fortalece a los estudios relacionados a la entomología forense.

## LITERATURA CITADA

- Anderson, G. L. 2001.** Insect succession on carrion and its relationship to determining time of data, p. 143-175. In J. Byrd & J. Castner (eds), *Forensic Entomology: the utility of arthropod in legal investigations*. CRC Press, USA, 418p.
- Arnaldos M. I., E. Romera, J. J. Presa, A. Luna & M. D. García. 2004.** Studies on seasonal arthropod succession carrion in the southeastern iberian Peninsula. *Int. J. Legal Med.* 118:197-205.
- Azeredo-Espin, A.M.L. & N. G. Madeira. 1996.** Primary myiasis in dog caused by *Phaenicia eximia* (Diptera: Calliphoridae) and preliminary mitochondrial DNA analysis of the species in Brazil. *J. Med. Entomol.* 33: 839-843.
- Battán Horenstein, M., A.X. Linhares, B. Rosso & M.D. García. 2007.** Species composition and seasonal succession of saprophagous calliphorids in a rural area of Córdoba, Argentina. *Biol. Res.* 40: 163-171
- Bharti, M. & D. Singh. 2003.** Insect faunal succession on decaying rabbit carcasses in Punjab, India. *J. Forensic Sci.* 48: 1133-1143.
- Benecke, M. 1998.** Six forensic entomology cases: description and commentary. *J. Forensic Sci.* 43:797-805.
- Byrd, J. & J. Castner. 2001.** (eds) *Forensic Entomology: the utility of arthropod in legal investigations*. CRC Press. USA. 418p.
- Carvalho, L. M., P. J. Thyssen, M. L. Goff, A. X. Linhares. 2004.** Observations on the succession patterns of necrophagous insects on a pig carcass in a urban area of southeastern Brazil. *AAIJFMT.* 5: 33-39.
- Castillo, M. 2001.** Principales especies del orden Hymenoptera presentes en carroña de cerdos en la comarca de la litera (Huesca). *ZAPATERI Revta. aragon. ent.* 9:89-92.
- Disney, R. H. L. & T. Munk. 2004.** Potencial use of Braconidae (Hymenoptera) in forensic cases. *Med. Vet. Entomol.* 18: 442-444.
- Eberhardt, T. L. & D. A. Elliot. 2008.** A preliminary investigation of insect colonisation and succession on remains in New Zealand. *Forensic Sci. Int.* 176: 207-223.
- Faria, L.D.B., L. A. Trinca & W. A. C. Godoy. 2004.** Cannibalistic behavior and functional response in *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae). *J. Insect Beh.* vol. 17, no. 2, p. 251-261.

- Faria, L. D. B., & W. A. C. Godoy. 2001.** Prey choice by facultative predator larvae of *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae). Mem. Inst. Oswaldo Cruz **96**: 875–878.
- Gião, J. Z. & W. A. C. Godoy. 2006.** Seasonal population dynamics in *Lucilia eximia* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae). Neotrop. Entomol. **35**: 753-756.
- Gomes, L., & C. J. Zuben. 2004.** Dispersão larval radial pós-alimentar em *Lucilia cuprina* (Diptera, Calliphoridae): profundidade, peso e distância de enterramento para pupação. Lheringa, Sér. Zool. **94**: 135-138.
- Gomes, L., W. A. C. Godoy, C. J. V. Zuben. 2006.** A review of postfeeding larval dispersal in blowflies: implications for forensic entomology. Naturwissenschaften. **93**: 207-215.
- Grassberger, M. & C. Reiter. 2001.** Effect of temperature on *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) development with special reference to the isomegalen – and isomorphen diagram. Forensic Sci. Int. **120**: 32-36.
- Greenberger, B & M. Szyska. 1984.** Immature stages and biology of fifteen species of Peruvian Calliphoridae (Diptera). Ann. Entomol. Soc. Am. **77**:488-517.
- Gruner, S. V., D. H. Slone & J. L. Capinera. 2007.** Forensically Important Calliphoridae (Diptera) Associated with Pig Carrion in Rural North-Central Florida. J. Med. Entomol. **44**: 509-515.
- Lannacone, J. 2003.** Artropofauna de importancia forense en un cadáver de cerdo en el Callao, Perú. Rev. Bras. Zool. **20**: 85-90.
- Lord, W. D. & J.R. Stevenson. 1986.** Directory of forensic entomologists. Am. Reg. Prof. Entomol. Washington DC: USA. 42 p.
- Martínez, R. H., R. J. Escoto & F. Tafoya. 2007a.** Sucesión de insectos necrófagos en *Sus scrofa*, durante el periodo estacional de primavera en la ciudad de Aguascalientes. Entomología Mexicana. **6**: 880-884.
- Martínez, E., P. Duque, & M. Wolff. 2007b.** Succession pattern of carrion-feeding insects in Paramo, Colombia. Forensic Sci. Int. **166**: 182-189.
- Molina, C., H., Q. J. A. Luy, H. M. Nava & M. N. Galindo. 2006.** Datos preliminares de la captura de dípteros relacionados con el proceso de descomposición cadavérica en la Cd. De México. Entomología Mexicana. **5**: 925-930.

- Moretti, T., C. & P. J. Thyssen. 2004.** Mifase primária em coelho doméstico *Oryctolagus cuniculus* (Lagomorpha: Leporidae) causada por *Lucilia eximia* (Diptera: Calliphoridae) no Brasil. *Arq. Inst. Biol.* 71: 619-621.
- Moura, M.O., C.J.B. Carvalho & E.L.A. Monteiro-Filho. 1997.** A preliminary analysis of insects of medico-legal importance in Curitiba, State of Paraná. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 92: 269-274.
- Ordóñez, A., M. D. García & G. Fagua. 2008.** Evaluation of the collection efficiency of the Schoenly trap for collecting adult sarcosaprophagous dipterans. *J. Med. Entomol.* 3: 522-532
- Pérez, S. P., P. Duque & M. Wolff. 2005.** Successional behavior and occurrence matrix of carrion-associated arthropods in the urban area of Medellín, Colombia. *J. Forensic Sci.* 50: 1-7.
- Roux, O., C. Gers, N. Telmon & L. Legal. 2006.** Circular dispersal of larvae in the necrophagous Diptera *Protophormia terraenovae*. *Ann. Soc. Entomol.* 42: 51-56.
- Schoenly, K., K. Griest & S. Rhine. 1991.** An experimental field protocol for investigating the postmortem interval using multidisiplinary indicators. *J. Forensic Sci.* 36: 1395-1415.
- Stevens, J. & R. Wall. 1996.** Species, sub-species and hybrid populations of the blowflies *Lucilia cuprina* and *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). *Proc. Royal Soc. Lond. B.* 263: 1335-1341.
- Sukontason, K. L., K. Sukontason, P. Narongchai, S. Lertthamngtham, S. Piangjai & J. K. Olson. 2001.** *Chrysomya rufifacies* (Macquart) as a forensically-important fly species in Thailand: A case report. *J. Vector Ecol.* 26: 162-164.
- Tabor, K. L., Brewster, C. C. & Fell, R. D. 2004.** Analysis of the successional patterns of insects on carrion in southwest Virginia. *J. Med. Entomol.* 41:785-795.
- Tabor, K. L., Brewster, C. C. & Fell, R. D. 2005.** Insect fauna visiting carrion in Southwest Virginia. *J. Med. Entomol.* 150:73-80.
- Turchetto, M. & S. Vanin. 2004.** Forensic evaluations on a crime case with monospecific necrophagous fly population infected by two parasitoid species. *AAIJFMT.* 5: 12-18.
- Vázquez, S. R., V. D. Stephano, H. C. Marín, C. A. Rodríguez, M. J. Flores & Díaz, T. P. 2007.** Dipteros necrófagos del estado de Nuevo León, México. *Entomología Mexicana.* Vol. 6: 885-888

- Velásquez, Y. 2008.** A checklist of arthropods associated with rat carrion in a montane locality of northern Venezuela. *Forensic Sci. Int.* 174: 67-69.
- Watson, E. J., C. E. Carlton. 2003.** Spring succession of necrophilous insects on wildlife carcasses in Louisiana. *J. Med. Entomol.* 40: 338-347.
- Wells, J.D. & H. Kurahashi. 1997.** *Chrysomya megacephala* is more resistant to attack by *Ch. rufifacies* in a laboratory arena than is *Cochliomyia macellaria*. *Pan-Pacific Entomologist* 73:16-20.
- Wells, J.D. & B. Greenberg. 1992.** Interaction between *Chrysomya rufifacies* and *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae): the possible consequences of an invasion. *Bulletin of Entomological Research* 82:133-137.
- Whitworth, T. 2006.** Keys to the genera and species of blow flies (Diptera: Calliphoridae) of America North of México. *Proc. Entomol. Soc Wash* 108(3): 689-725.
- Wolff, M., A. Uribe, O. Adriana, P. Duque. 2001.** A preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. *Forensic Sci. Int.* 120: 53-59.

## CONCLUSIONES FINALES

La información derivada de la presente investigación resulta ser la primera sobre entomofauna cadavérica en el Estado de México y de las primeras generadas en el país; en este trabajo se reporta información relevante respecto a las especies de insectos involucradas en la descomposición cadavérica de *Sus scrofa* la cual, a su vez, se puede extrapolar a humanos. Parte de la información corrobora lo que diversos estudios sobre el tema reportan, la secuencia básica de sucesión es predecible, sobre todo en lo que respecta a las familias de insectos sarcosaprófagos. De esta forma, con base en los resultados obtenidos, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- No existe una técnica de muestreo estandarizada para estudios de sucesión de entomofauna cadavérica, en todo caso los muestreos se plantean y se sistematizan de acuerdo a la velocidad con que se van sucediendo los procesos de descomposición, y de estos últimos no se puede predecir su evolución, ya que dependen de factores tales como las condiciones climatológicas de la zona, la época del año y de la entomofauna del área del estudio.

- El diseño de una jaula tipo Schoenly, contribuyó a sistematizar la colecta de ejemplares y, en algunos casos, a ser la única fuente de donde se obtuvieron individuos lo que, al final, permitió analizar la información obtenida de forma estadística.

- Los procesos tardíos de descomposición cadavérica pueden ser acelerados o retardados según la influencia de diversos factores, tanto físicos como biológicos, sin embargo, la presencia de insectos en un cadáver es fundamental, ya que como se mostró en el trabajo, cuanto más sean los insectos que arriben a un cadáver, y si las condiciones climáticas son las adecuadas para su desarrollo, los procesos de descomposición se verán acelerados, tal como se pudo observar en el cerdo A.

- La mayoría de los estudios de sucesión están basados en observaciones de las cuales se toma nota al momento de la colecta, lo cual no le quita el valor científico a las mismas, sin embargo, es necesario que estas observaciones sean sometidas a un determinado tipo de análisis, y para este caso en particular, el análisis multivariado descriptivo resultó ser una herramienta valiosa, ya que permitió establecer el grado de

asociación entre los diferentes taxones encontrados en el estudio y los distintos procesos de descomposición cadavérica, y así, validar la información en términos estadísticos.

- Con base en el análisis de correspondencias y las matrices de ocurrencia, se puede concluir que las siguientes especies de insectos pueden ser utilizadas como indicadores en un caso (con condiciones similares en la entidad) que competa a la entomología forense:

En el estado hinchado, Los Dípteros *Lucilia eximia* y *Calliphora latifrons*; en descomposición activa, *Cochliomya macellaria* y *Calliphora latifrons*; en descomposición avanzada, *Chrysomya rufifacies*, *Hydrotaea hougui*, *Piophilha casei*, *Fannia canicularis* y *Ophyra aenescens*; en descomposición avanzada, los coleópteros *Tanatophilus truncatus* y *Saprinus lugenes* y en restos secos, *Dermestes maculatus*, , *Omosita sp*, *Trox sp*, *Hister californicus*, , *Geonysaprinus sp*, *Xerosaprinus sp*, *Philontus sp*, y *Aleochoere sp* y el Himenoptero *Labidus coecus* en descomposición avanzada y restos secos.

- En un estudio de sucesión, no sólo se obtiene información de la secuencia de arribo de la entomofauna sarcosaprófaga a un cadáver, sino que se puede tener una aproximación del ciclo de vida de determinada especie en campo, tal es el caso de *L. eximia* la cual, con base en su actividad durante el proceso de descomposición, se estimó en un intervalo de aproximadamente 35 a 40 días; si esta información se refuerza con datos de la cría de *L. eximia* en condiciones de laboratorio, éstos se podrían utilizar para el cálculo del intervalo *postmortem* en un caso real.

- Se ha constatado, por vez primera para México, la presencia del himenóptero *Phyadeuon sp.* (Ichneumonidae:Cryptinae), parasitoide de *Lucilia eximia*. Este hallazgo, además del interés forense que pueda presentar por ser controlador natural de las poblaciones de Dípteros, enriquece el conocimiento sobre la biodiversidad del país.