

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS,
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

PRIMERAS OLEADAS DE SUCESIÓN FAUNÍSTICA EN CADÁVERES
DE CERDOS EN EL VALLE DE GUATEMALA

ANGEL ANDRÉS CAICEDO MONTERROSO



Tesis

Presentada ante las autoridades de la
Escuela de Estudios de Postgrado de
la Facultad de Ciencias Médicas
Maestría en Ciencias Forenses
Para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Forenses

Abril 2018

Guatemala 5 de julio de 2017

Doctor(a)

Alvaro Giovany Franco Santisteban MSc.

Coordinador Específico

Maestría en Ciencias Forenses

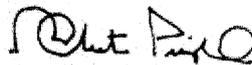
Presente.

Respetable Doctor **Franco Santisteban**:

Por este medio informo que he **asesorado** a fondo el informe final de graduación que presenta el Doctor: **Ángel Andrés Caicedo Monterroso** carné **9413486**, de la carrera de Maestría en Ciencias Forenses, el cual se titula: **PRIMERAS OLEADAS DE SUCESION FAUNISTICA EN CADAVERES DE CERDOS EN EL VALLE DE GUATEMALA**

Luego de **asesorar**, hago constar que el Doctor: **Caicedo Monterroso** ha incluido las sugerencias dadas para el enriquecimiento del trabajo. Por lo anterior emito el **dictamen positivo** sobre dicho trabajo y confirmo está listo para pasar a revisión de la Unidad de Tesis de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ciencias Médicas.

Atentamente,



Lic. Ronaldo Pérez Quan
Asesor de Tesis

Guatemala 14 de agosto de 2017

Doctor(a)

Alvaro Giovany Franco Santisteban MSc.

Coordinador Específico
Maestría en Ciencias Forenses
Presente.

Respetable Doctor **Franco Santisteban:**

Por este medio informo que he **revisado** a fondo el informe final de graduación que presenta el Doctor: **Angel Andrés Caicedo Monterroso** carné **9413486**, de la carrera de Maestría en Ciencias Forenses, el cual se titula: **PRIMERAS OLEADAS DE SUCESIÓN FAUNÍSTICA EN CADÁVERES DE CERDOS EN EL VALLE DE GUATEMALA**

Luego de la **revisión**, hago constar que el Doctor: **Caicedo Monterroso** ha incluido las sugerencias dadas para el enriquecimiento del trabajo. Por lo anterior emito el **dictamen positivo** sobre dicho trabajo y confirmo está listo para pasar a revisión de la Unidad de Tesis de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ciencias Médicas.

Atentamente,


Dr. Mynor Ivan Gudiel Morales MSc.

Revisor de Tesis



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS - USAC
UATRCA



A: Dr. Alvaro Giovany Franco Santisteban, MSc.
Docente responsable
Escuela de Estudios de Postgrado

De: Dr. Mynor Ivan Gudiel Morales
Unidad de Tesis Escuela de Estudios de Post-grado

Fecha de recepción del trabajo para revisión: 2 de Octubre 2017

Fecha de dictamen: 4 de Octubre de 2017

Asunto: Revisión de Informe final de:

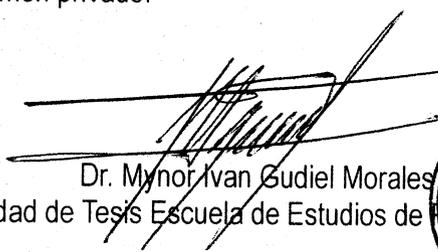
ANGEL ANDRES CAICEDO MONTERROSO

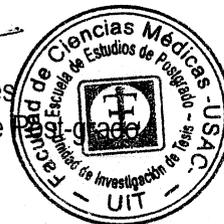
Título:

PRIMERAS OLEADAS DE SUCESION FAUNISTICA EN CADAVERES DE CERDOS EN EL
VALLE DE GUATEMALA

Sugerencias de la revisión:

- Autorizar examen privado.


Dr. Mynor Ivan Gudiel Morales
Unidad de Tesis Escuela de Estudios de



Resumen

La entomología forense se usó desde el siglo XIII, pero fue hasta el siglo pasado que ha tomado importancia y se ha investigado con amplitud.

En Guatemala a pesar de que la Ciencia Forense se usa en casos criminales, no se toma en cuenta la entomología forense, por lo que se trata de dar un inicio con este trabajo.

Para esta investigación se usó el cadáver de un cerdo (*Sus scrofa domestica*), el cual se dejó a la intemperie por siete días, con el objetivo de determinar la sucesión faunística cadavérica temprana, característica de esta región de Guatemala. También así, poder determinar el uso del tiempo de desarrollo de las larvas presente para saber el Intervalo Postmortem (IPM).

Se encontró que la sucesión faunística cadavérica es equivalente a la ya conocida en otros lugares de Latinoamérica y que es posible determinar con cierta aproximación, el IPM.

El estudio entomológico proporcionó diferentes situaciones que ayudan al estudio de las causas de muerte.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pag.
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	3
2.1 Definición de Entomología Forense.....	3
2.2 Historia de la Entomología Forense.....	5
2.3 Proceso y fases de descomposición cadavérica.....	6
2.4 Fenómenos cadavéricos o abióticos.....	7
2.5 Descomposición cadavérica.....	9
2.6 Fenómenos de transformación, signos reductivos.....	10
2.7 Estados de descomposición empleados por la entomología forense.....	11
2.8 Estados de descomposición e insectos asociados.....	12
2.9 Insectos de importancia forense.....	14
2.10 Categorías de insectos asociados a cadáveres.....	14
2.11 Órdenes de importancia forense.....	15
2.12 Especies de importancia forense.....	17
2.13 Factores a considerar en el cálculo del intervalo post mortem.....	17
2.14 Granjas de cuerpos.....	21
2.15 Aspectos morales y éticos de este tipo de centros.....	21
III. Objetivos	22
3.1 General.....	22
3.2 Específicos.....	22
IV Material y Método.....	23
4.1 Unidad de análisis.....	23
4.2 Establecimiento del experimento.....	23
4.3 Diseño de la jaula.....	23
4.4 Colecta e identificación de especímenes.....	24
4.5 El trabajo de campo.....	25

4.6 Cuadro de operacionalización.....	26
Tabla 1. Cuadro de operacionalización.....	26
V. Resultados.....	30
5.1 Observaciones sobre la entomofauna cadavérica temprana.....	30
5.2 Sucesión de insectos.....	31
5.3 Interpretación de los resultados en base al IPM.....	32
Tabla 2. Determinación del IPM.....	32
VI. Discusión de Resultados.....	34
6.1 Conclusiones.....	34
6.2 Recomendaciones.....	35
VII. Referencias Bibliográficas.....	36
VIII. Anexos.....	40
8.1 Anexo 1: Graficas.....	40
Tabla 3. Horas por grados acumulados.....	40
8.2 Anexo 2: Fotografías	41
Figura 1.....	41
Figura 2.....	42
Figura 3.....	43
Figura 4.....	43
Figura 5.....	44
Figura 6.....	45
Figura 7.....	46
Figura 8.....	47
Figura 9.....	48
Figura 10.....	49
Figura 11.....	50
Figura 12.....	51
Figura 13.....	52

Figura 14.....	53
Figura 15.....	54
Figura 16.....	55
Figura 17.....	56
Figura 18.....	57
Figura 19.....	58
Figura 20 Granja de cadáveres.....	59
8.3 Anexo 3 Atlas meteorológico de Guatemala.....	60
Figura 21	60

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pag.
Índice de contenidos general.....	I
Índice de contenidos capítulos.....	IV
Índice de tablas.....	V
Índice de gráficas.....	VI
Resumen.....	VII
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	3
III. Objetivos.....	22
IV. Material y Método.....	23
V. Resultados	30
VI. Discusión de Resultados	34
VII. Referencias Bibliográficas	36
VIII. Anexos	40

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Cuadro de operacionalización.....	26
Tabla 2. Determinación del IPM.....	32
Tabla 3. Horas por grados acumulados.....	40

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

	Pag.
Figura 1.....	41
Figura 2.....	42
Figura 3.....	43
Figura 4.....	43
Figura 5.....	44
Figura 6.....	45
Figura 7.....	46
Figura 8.....	47
Figura 9.....	48
Figura 10.....	49
Figura 11.....	50
Figura 12.....	51
Figura 13.....	52
Figura 14.....	53
Figura 15.....	54
Figura 16.....	55
Figura 17.....	56
Figura 18.....	57
Figura 19.....	58
Figura 20 Granja de cadáveres.....	59
Figura 21 Atlas meteorológico de Guatemala.....	60

1. Introducción

La utilización de artrópodos y principalmente insectos, como prueba en investigaciones criminales data del siglo XIII en China, pero es en los últimos 30 años que las evidencias entomológicas se han 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 estimación del tiempo transcurrido desde la fecha de la muerte o intervalo postmortem (IPM), en casos de cadáveres en avanzado estado de descomposición o cuando no es posible fijar una hora o fecha de muerte empleando otras técnicas forenses. 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 ADN 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) ya que representan alrededor del 70% de todas las especies animales conocidas. 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). 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 el cual han sido descubiertos (Goff et al. 2004). 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).

2. Antecedentes

2.1 Definición de Entomología Forense

Diversos autores como Catts & Goff (1992), Anderson (1997), Catts & Haskell (1997) y Hall (2001) definen 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 la Justicia. Esta suele ser subdividida en tres áreas: a) urbana, la cual trata procedimientos legales que involucran insectos y animales relacionados que afectan las construcciones y el entorno del hombre, b) de productos almacenados, se refiere a los procedimientos que incluyen insectos que infestan comida, como cereales y otros productos de cocina, y c) médico legal o médico forense, conocida comúnmente como entomología medico criminal, debido a su énfasis en la utilidad de artrópodos como evidencia en la resolución de crímenes (Byrd & Castner 2001).

La entomología medico criminal también puede tratar casos de muerte súbita (como anafilaxis por picaduras de abejas) 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 medico criminal involucran la estimación del tiempo transcurrido desde la muerte o 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 esta invariablemente unida con los campos científicos más amplios de entomología médica, antropología, taxonomía y patología forense (Campobasso & Introna 2001, Benecke 1998, Catts & Haskell 1997). Existe una rama completa de la toxicología, denominada entomotoxicología, en la cual los insectos que colonizan un cadáver son analizados en busca de indicadores toxicológicos (drogas, venenos, metales pesados) que puedan tener una relación con la causa del deceso y ser empleados como indicios (Benecke, 2008).

2.2 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 McKnight en 1981 con el nombre de “The Washing Away of Wrongs” o el “lavado de los 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 los biólogos, médicos y expertos legistas, ya que escultores, pintores y poetas han observado de cerca la descomposición de los cadáveres. Obras de arte de la Edad Media describen con exactitud el patrón de la 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 en forma incorrecta, el IPM; este es el primer caso documentado donde se describe dicho cálculo (Benecke 2001). A mediados de 1880, J. P. 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 (1989) 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 ovoposición 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 medico 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).

2.3 Proceso 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, Méndez 1996).

2.4 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, Vasquez 2000, Calabuig & Villanueva 2004).

2.5 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, Vázquez 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; la mandíbula se aprieta (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 sarcómera, 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).

La lividez cadavérica 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 aun 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. Los factores que pueden modificar la presencia de las livideces son: causa de muerte, hemorragias intensas, grado de desnutrición, edad (Vargas 1999).

El enfriamiento cadavérico es un fenómeno que 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. Se puede emplear para estimar la hora de muerte.

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 lo son: la causa de muerte, la edad, el estado nutricional, el peso y otros factores ambientales (Calabuig & Villanueva 2004).

La 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. Estos conjuntos de fenómenos se observan en el ojo abierto aproximadamente a los 45 minutos después del fallecimiento, en el ojo cerrado se observan 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 las coroides. La capa cornea 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 negruzca (Calabuig & Villanueva 2004).

2.6 Fenómenos de transformación, signos reductivos.

2.6.1 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.

2.6.2 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:

a. Periodo cromático: se aprecia una mancha verde abdominal de color verde, en la piel de la fosa iliaca 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 el cuello y parte superior del tórax. En cuerpos que presentan lesiones supuradas o neoplásicas, la mancha verde aparece alrededor de las lesiones (Calabuig & Villanueva 2004).

b. 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 verdosa de la piel. Este fenómeno se puede observar a las 48 horas, completándose en un término aproximado de siete días (Simonin 1980).

c. 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).

d. 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 tiempo de 50 años, inhumado, si el cadáver se encuentra a la intemperie la pulverización puede presentarse en 5 años (Knight 1999).

2.7 Estados de descomposición empleados por la entomología forense.

Mégnin, en 1894, distinguió ocho oleadas de artrópodos que sucesivamente invadían el cadáver en un periodo de tres años. Bornemisza (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 (1964), al trabajar con cadáveres de focas en las costas de Nueva Inglaterra, reconocieron cinco etapas de descomposición. Anderson & van Laerhoven (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 van Laerhoven

(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, sino 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 a la mayoría de estudios de entomología forense y que se superponen bastante a las fases de la putrefacción descrita por los patólogos forenses.

2.8 Estados de descomposición e insectos asociados.

2.8.1 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 ano genital (Goff et al. 2004).

2.8.2 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).

2.8.3 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 se presentan. 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).

2.8.4 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.

2.8.5 Restos secos: Este estadio se alcanza cuando solo quedan pelo y huesos. No aparecen insectos claramente asociados y se producen una vuelta gradual de la fauna edáfica normal en el suelo subyacente, aunque algunos autores en regiones específicas han reportado la presencia de ácaros y palomillas, así como ciertas especies de insectos que se alimentan de la queratina en la piel, uñas y cabellos, o de los hongos que crecen sobre el cadáver (Benecke, 2008). 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).

2.9 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, Mendes 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 época del año, y teniendo en cuenta el tiempo de desarrollo y los estadios larvales de los insectos, se pueden 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.

2.10 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):

- a. 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.
- b. Especies necrófilas (parásitas y depredadores 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).

- c. 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.
- d. Especies accesorias: Esta categoría incluye organismos que utilizan al 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 y Winterschmidtidae, que se alimentan de los hongos y mohos que crecen sobre el cadáver (Goff et al. 1988).

2.11 Órdenes de importancia forense.

Díptera: 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 post mortem varia de un caso a otro; algunas de estas familias son Fannidae, Phoridae, Sepsidae, Piophilidae, Sphaeroceridae, Drosophilae, 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, Kuishertha & 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 sarcosaprofaga, reportan a la familia Formicidae como de importancia en este tipo de comunidades. Los miembros de las familias Ichneumonidae, Braconidae y Chalcidoidea son parásitos de larvas y pupas de dípteros, coleópteros y otros insectos, influenciando así la descomposición del cadáver (Goff & Catts 1997, Truchetto 2004). Las mordeduras de hormigas en cadáveres frescos pueden

provocar lesiones que simulan golpes, por lo que pueden ser erróneamente interpretadas como signos de abuso.

2.12 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 especies más comunes en casos forenses en Norteamérica, como los dípteros *Lucilia sericata*, *Lucilia illustris*, *Lucilia cuprina*, *Phormia regina*, *Calliphora vicina*, *Calliphora vomitoria*, *Chrysomya megacephala*, *Chrysomya rufifacies*, *Cochliomyia macellaria*, *Fannia canicularis*, *Sarcophaga haemorrhoidalis*, *Piophilidae casei*, *Hermetia illucens*, *Megaselia scalaris*, entre otros. En cuanto a coleópteros, los más comunes son *Nicrophorus* sp. *Tanatophilus* sp. *Dermestes ater*, *Dermestes caninus*, *Dermestes maculatus*, *Creophilus maxillosus*, *Platydracus* sp. *Hister* spp. *Saprinus* sp. *Necrobia rufipes*, *Necrobia violácea*, *Trox* sp. y *Omosita* sp.

2.13 Factores a considerar en el cálculo del intervalo post mortem:

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 las 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 para tener en cuenta son:

Temperatura: De todos los factores ambientales, la temperatura es uno de los más importantes, dado el carácter poiquiloterma (incapaces de regular su temperatura interna) de los insectos. Grassberger & Reiter (2001) reportan que la oviposición de dípteros es significativamente baja a temperaturas menores a 10° C, llegando en algunas especies a paralizar por completo su metabolismo. 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 de larvas disminuye debido a las bajas temperaturas, convirtiéndolo en otro factor que afecta el proceso de descomposición. Otro punto para 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 y al desarrollo de poblaciones de los microbios simbioses que portan los insectos. Experimentos de laboratorio han permitido reportar que dentro de una masa activa de larva LII y LIII se produce 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, puede 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 inactivas por la noche y no se espera que ovipositen durante este periodo. Sin embargo, Greenberg (1990) experimentó 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). La ausencia total de oviposición nocturna en cadáveres puede asociarse con eventos climáticos como fuertes lluvias o heladas nocturnas que pueden indicar que el deceso se produjo en fechas específicas cuando dichos eventos se han producido.

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, éstas 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 en el cálculo IPM. También son de importancia la presencia de metales pesados como mercurio, plomo, arsénico, etc.

Método de preservación: Cuando se estudia la biología y el desarrollo larval en el laboratorio se hacen curvas de crecimiento en las cuales se describen los cambios de tamaño (largo) del cuerpo en relación con su edad. Generalmente cuando una larva es colectada en la escena del crimen, ésta es sacrificada y preservada en algún tipo de líquido (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 pueden causar un error al momento del 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, disto 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 puede 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 escenas precisas, 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 de insectos siguen una pauta, la presencia de algunos de éstos bien elegidos puede ayudar a determinar el tiempo que transcurre desde que se produjo la muerte.

2.14 Granjas de cuerpos

Granja de cuerpos es la denominación informal del Complejo de Antropología Forense de la Universidad de Tennessee. Se trata de una zona de aproximadamente 1,2 hectáreas situada en una colina que mira hacia el río Tennessee, utilizada para el estudio del proceso de descomposición en cadáveres humanos bajo diferentes condiciones. Cada año se monitorizan unos 30 cadáveres, que proceden de varias fuentes: personas que donan su cuerpo específicamente al Complejo, personas que donan su cuerpo a la ciencia sin indicar su destino, cadáveres sin identificar y que no son reclamados.

2.15 Aspectos morales y éticos de este tipo de centros.

Debido a los aspectos éticos y morales de nuestra sociedad, sería difícil experimentar con cuerpos humanos, siendo el cerdo (*Sus scrofa domestica*), el biomodelo más parecido al cuerpo humano y por ende se recomienda su utilización. Además, es más accesible para cualquier investigador.

3. Objetivos y Justificación

3.1 General

Establecer la sucesión faunística cadavérica temprana (en la primera semana del intervalo post mortem) en cerdo (*Sus scrofa domestica*) en una localidad del departamento de Guatemala.

3.2 Específicos

- Estudiar la sucesión de la entomofauna cadavérica y su aplicación al cálculo del intervalo post mortem, utilizando como biomodelo cerdo blanco (*Sus scrofa domestica*) en el departamento de Guatemala.
- Comparar la sucesión de la entomofauna cadavérica con modelos de otros estudios ya realizados en otros países.
- Plantear una metodología similar a otros estudios de entomofauna cadavérica aplicada a Guatemala y, con base a lo anterior, desarrollar el protocolo de investigación para el estudio de insectos sarcosaprófagos y su relación con los procesos de descomposición cadavérica.

4. Material y Método

4.1 Unidad de análisis:

En la parte empírica de toda investigación la unidad de análisis se refiere al lugar, institución y/o empresa donde se realizará la investigación (Flores 2009). Ya que para realizar dicha investigación se necesita un cadáver de cerdo, el cual se dejará que se descomponga, se necesita un lugar al aire libre, lejos de lugares habitados, pero también que este cercado y controlado. En el departamento de Guatemala, de clima templado, con una temperatura promedio de 25° C, poca precipitación, vientos y ubicación en las coordenadas Latitud 14.59114 N, Longitud 90.55603 W y altitud 1500 msnm. El terreno está rodeado de zonas urbanizadas.

4.2 Establecimiento del experimento:

Se empleó como modelo un ejemplar de cerdo blanco (*Sus scrofa domestica*), de 12 kg de peso, obtenido en la carnicería 'El Alto'. Este animal se expuso a la colonización de insectos. Se sacrificó mediante asfixiación y desangrado. Transcurrido cinco minutos, se colocó en posición lateral dentro de una jaula diseñada para tal efecto. Así, la colecta de insectos asociados al cadáver se concluyó dos semanas después. Se usó como base para establecer el experimento el estudio por Cano (2002) quien empleó cabezas de cerdo para estudiar su sucesión cadavérica.

4.3 Diseño de la jaula:

La jaula es de una estructura metálica a la cual se le hicieron algunas adaptaciones para que, además de proteger a los cerdos de animales carroñeros, sirvieron como un dispositivo de captura de insectos; la jaula contó con las siguientes

características: 150 x 100 x 100 cm, una puerta plegable en el frente, alambre con tejido rectangular de 5 x 5 cm, que están abiertos para la entrada de insectos, la jaula se fijó al suelo por medio de unas salientes de 30 cm en la base, para evitar que esta fuera desplazada.

4.4 Colecta e identificación 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 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 del material y los intervalos de tiempo que se establecen para capturar, dependen de la velocidad con que se descompone el cadáver.

Los muestreos se realizaron por un periodo de una semana, a partir del momento de muerte, con capturas dos veces al día entre las 13:00 y 15:00 y las 16:00 y 18:00.

La colecta e identificación de los ejemplares se centró solamente en dípteros de interés forense, ya que son considerados los grupos más importantes y los que en general, se usan para el cálculo del intervalo postmortem (Golf 1993). Para la identificación, los adultos fueron recolectados con pinzas especiales para larvas, para posteriormente preservarlos en etanol al 70%. Las larvas, fueron recolectadas con ayuda de pinzas entomológicas, obteniendo los individuos en los sitios donde se agrupan para alimentarse y se anotó la zona del cuerpo, considerando la cabeza, tórax-abdomen, ano y extremidades por separado; las larvas obtenidas se colocaron en recipientes de 25 ml y fijadas en etanol al 70% previo sacrificio en agua a 90° C por dos minutos, para fijar sus tejidos y color. Las larvas de dípteros en estado post alimentario se recolectaron del suelo con una pala de jardinería a un

rango de profundidad de 5 a 20 cm y aun 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 especies; las larvas fueron alimentadas con hígado de res dentro de frascos de 100 mL de capacidad, usando como sustrato polvo de diatomeas.

Es muy importante relacionar las larvas con sus adultos. Al identificar la especie de los adultos se podrá asignar la de los inmaduros.

4.5 El trabajo de campo

Materiales y equipo:

1. Cadáver de cerdo blanco (*Sus scrofa domestica*) recién sacrificado, de un peso alrededor de 80 lbs.
2. Jaula de alambre ya descrita anteriormente.
3. Pinzas
4. Seis (6) recipientes tapados con tela de malla.
5. Guantes de látex.
6. Mascarilla.
7. Hígado de res fresco.
8. Cuaderno de notas y lapicero.
9. Cámara fotográfica digital.

4.6 Cuadro de operacionalización:

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Unidad de medición	Escala de medición
IPM	Estimación del tiempo transcurrido entre la muerte y la aparición de un estadio de insecto necrofago	Se mide en horas a la temperatura documentada en el estudio o en horas x grados temperatura documentada (T-To)x horas=K	horas u horas x grado	continua (i.e. 0-100 hrs. o 0-1000 hrs. X grados)
Numero de larvas	Numero de larvas necrofagas tempranas	Conteo de larvas de las primeras moscas que colonizan el cadaver	numero de individuos	discreta
Tamaño de larvas	Tamaño de larvas necrofagas tempranas	Medición en mm de las larvas de las primeras moscas que colonizan el cadaver	longitud (mm)	continua
Ubicación en las áreas anatómicas	Lugar en el cerdo donde se ubican las larvas necrofagas tempranas	parte específica del cadaver (orificios, heridas u otro) donde se desarrollan las larvas de las primeras moscas que colonizan el cadaver	partes del cadaver	posición en el cadaver
olor del cadaver	sensa con el olfato de la descomposición	-El grado de fetidez según la descomposición	grado de	discreta
especie de moscas	unidades en que se categorizan a los diferentes tipos de moscas necrofagas	tipos de moscas necrofagas que colonizan un cadaver	especies	especies diferentes según nomenclatura zoológica

- Definición conceptual: La metodología empleada en este estudio se basa en documentar el establecimiento de las primeras oleadas de insectos necrófagos en el cadáver, de acuerdo con los estudios por Megnin (1894). Estos estudios muestran que los mismos insectos colonizan el cadáver sin importar la especie del animal muerto, por lo que sus resultados son aplicables a casos forenses en humanos. Basado en el tiempo que tarda en aparecer cada uno de los estadios (huevo, larvas L1 a L4, pupas y adultos) de estas especies y basado en la temperatura ambiental, es posible proponer el tiempo mínimo transcurrido entre el deceso y la detección de estos insectos, lo cual se emplea como una técnica para estimar el Intervalo Post Mortem (IPM) particularmente en cadáveres con avanzado grado de descomposición, donde se dificulta o imposibilita usar otras técnicas para estimar el IPM, tales como: la medición de la temperatura corporal, el *rigor mortis*, el *livor mortis*, cambios en el humor vítreo y aparecimiento de otros signos sobre el cadáver.
- Definición operacional: Se emplea como modelo para determinar la sucesión cadavérica temprana el cadáver del cerdo (*Sus scrofa* var *doméstica*), el cual ha sido utilizado para este propósito por numerosos autores (Cano, 2001) para estudiar los insectos necrófagos (que se alimentan del cadáver) y necrófilos (que se alimentan de los necrófagos). A intervalos preestablecidos (i.e. diariamente) se registran las especies de insectos necrófagos sobre el cadáver y sus orificios, se determina su estadio (huevo, larva, pupa, adulto) y su instar (larvas L1 a L4). Se realizan capturas (directas, mediante muestreo para los inmaduros, e indirectas, mediante trampas para los adultos voladores); algunas larvas se preservan en etanol al 70% otras se dejan sobre carne fresca para obtener adultos y confirmar su especie). Se toman datos adicionales sobre el clima, particularmente la temperatura o eventos climáticos que pudieran alterar

significativamente la interpretación del estudio (tormentas u otras). Se emplea un modelo de días grados para estimar el intervalo post-mortem: $(T - T_0) \times \text{hrs} = K$, donde T = temperatura ambiental promedio, T_0 = umbral de desarrollo (temperatura a la cual la mosca detiene su desarrollo, 10°C), hrs = horas transcurridas hasta el apareamiento del estadio y K = constante térmica (horas x grados).

- Unidades de medida: El tiempo transcurrido desde la muerte del animal hasta el apareamiento de cada uno de los estadios se mide en horas. La temperatura ambiental se mide en grados centígrados. Para el apareamiento de las especies de necrófagos se anota su morfoespecie (especie tentativa basada en la apariencia externa de los adultos, se confirma cultivando larvas vivas en carne fresca e identificando los adultos que emergen de ellas), estadios (huevo, larva, pupa y adulto) e instares (larvas L1 a L4) y su abundancia relativa. El intervalo post-mortem se estima inicialmente en horas y/o días para la temperatura ambiental promedio medida en el estudio. Luego se expresa en términos de la constante K (=horas x grados) para poder estimar este IPM a otras temperaturas ($\text{IPM} = K/T_1$) donde T_1 es la temperatura ambiental promedio en la localidad donde se encuentra el cadáver.
- Escalas de medición: La escala para el tiempo transcurrido desde la muerte del animal hasta el apareamiento de todos los estadios va de 0 a 10 días (=0 a 240 hrs.) y puede extenderse de ser necesario (En otros estudios que incluyen la sucesión tardía, la escala de tiempo puede llegar a semanas o meses; para este estudio por centrarse en la sucesión temprana, no es necesario). La escala de temperatura ambiental, por la época y lugar en los que se realizó el estudio se espera que oscile entre los 14 y 32°C,

considerando las temperaturas mínimas y máximas más probables (INSIVUMEH, 2016). Para los estadíos e instares es una variable alfanumérica con valores fijos; sus números dependen de las posturas que las hembras realicen sobre el cadáver: una hembra puede poner entre 200-400 huevos, las cuales se convierten entre 60-120 huevos, de los cuales emergen entre 20-40 adultos, de los cuales se estima que 10 llegan a la edad reproductiva (Cano, 2001). El Intervalo Post Mortem se presenta en dos escalas de medición: a) para los datos obtenidos a la temperatura del estudio, el IPM se expresa en días u horas; b) para poder estimar el IPM en otras localidades (donde la temperatura es distinta) la escala de medición se expresa en horas x grados.

Variables numéricas estadísticas: Se dividen en dos categorías: a) independientes (controladas medidas por el experimentador o establecidas por el ambiente u otras condiciones propias del estudio) y b) dependientes (variables de respuesta). Entre las variables independientes tenemos: la temperatura ambiental promedio (°C) y las condiciones ambientales extremas registradas, que puedan alterar significativamente la interpretación de los resultados (heladas, tormentas, lluvias intensas, otras). Entre las variables dependientes tenemos: la especie (o morfoespecie tentativa) de los insectos necrófagos que forman la sucesión cadavérica temprana, los estadíos (huevo, larva, pupa, adulto) e instares (larvas L1 a L4) que van apareciendo en el cadáver, su localización (nariz, ojos, otros), el tiempo transcurrido desde la muerte del animal hasta el aparecimiento de cada uno de estos estadios o instares y las escalas de medición del IPM: a) en días y horas, b) en horas x grados.

5. Resultados

Se registraron los parámetros físicos de temperatura, humedad relativa y precipitación del periodo de tiempo de acuerdo con el lapso de exposición del sujeto experimental; del 14 al 28 de julio de 2015. La temperatura promedio fue de 21.5° C, registrándose un valor diario máximo de 27° C y un mínimo de 16° C, la humedad relativa (HR) osciló entre el 60% y 70%, con una máxima de 97% el día 18 de julio. La precipitación acumulada fue de 198.3 mm, obteniendo la máxima de 15 mm el 18 de julio. La jaula se colocó debajo de una loza, lo que la protegía de los elementos.

La precipitación, la temperatura y la humedad relativa influyen considerablemente en la duración de los estados de descomposición, así como la abundancia, la diversidad y la composición de la fauna de insectos. La precipitación mantuvo una hidratación constante en el tejido del cadáver y combinado con las temperaturas y HR, crearon un ambiente propicio para el desarrollo de bacterias, hongos y larvas de insectos (Grassberger & Reiter 2001), lo que favoreció el proceso normal de putrefacción.

5.1 Observaciones sobre la entomofauna cadavérica temprana

Día 0

El sacrificio del cerdo es a las 8 horas en un rastro, por choque eléctrico y posterior degollamiento. Es puesto en la jaula a las 12:30 horas. A las 14:35 horas se observa la llegada de moscas de la familia Calliphoridae volando alrededor y caminando encima de la piel.

Día 1

A las 14 horas se observan moscas verdes y amarillas. El cadáver se torna frágil. Masas de huevos en los orificios del cadáver.

Día 2

El mismo patrón observado el día anterior. Larvas L1 escasas

Día 3

Olor fétido, ojos saltados, larvas L1-L2 en todos los orificios del cadáver.

Día 4

Olores muy fétidos, se observan masas de larvas L2-L3 en la boca, nariz, ojos, etc.

Día 5

Se encuentran larvas L3-L4 de diferentes tamaños desde los 0.5 cm de largo hasta 1 cm.

Día 6

Olor fétido muy fuerte, las larvas L4 son las de mayor tamaño.

Al finalizar los siete días, se buscó un lugar adecuado para disponer de los restos.

En total se recolectaron 357 ejemplares adultos y 55 larvas, distribuidos en 1 orden y 8 familias.

5.2 Sucesión de insectos

De acuerdo con las observaciones realizadas el orden de arribo de los insectos sarcosaprófagos al cadáver siguió la sucesión propuesta por Megnin (1880) y coincide con los resultados documentados por Cano (2002):

Orden	Familia
Diptera	Calliphoridae
	Muscidae
	Fannidae
	Sarcophagidae

Chloropidae
 Sepsidae
 Piophilidae
 Anthomyiidae

5.3 Interpretación de los resultados en base al IPM

De acuerdo con las observaciones realizadas en el presente estudio, el siguiente cuadro permitiría establecer el IPM basado en los estadios de moscas presentes en el cadáver:

IPM (días)	Estadios de moscas presentes en el cadáver	Horas x Grados acumuladas (1)
0	Adultos volando y posándose sobre el cadáver	0
1	Masas de huevos en orificios del cuerpo	276
2	Larvas L1 (1-2mm) escasas	552
3	Larvas L1 (1-2 mm) abundantes + L2 (3-4mm)	828
4	Larvas L2 (3-4 mm) + L3 (5-6 mm)	1104
5	Larvas L3 (5-6 mm) + L4 (8-10 mm)	1380
6	Larvas L4 (>10 mm)	1656
7	Pupas	2208

Tabla 2. Determinación del IPM

Por ejemplo, si la temperatura promedio ha sido de 21.5°C en un cadáver se encontrarían pupas cuando el IPM sea de 8 días. A una temperatura más alta la mosca acumularía horas x grados más rápidamente; por ejemplo: a 30°C las pupas se presentarían a las 110 hr (aprox. 4.6 días) por lo que a esa temperatura si se encuentran pupas el IPM sería de 4-5 días (ver ec. 2). A una temperatura más baja la mosca acumularía horas x grados más lentamente; por ejemplo: a 15°C las pupas se presentarían a las 441.6 horas (aprox. 18.4 días) por lo que a esa temperatura si se encuentran pupas el IPM sería de 18 a 19 días (ver ec. 3).

(1) Para poder relacionar los resultados de este estudio con otras condiciones más frías o calientes, se proporciona el número de horas x grados centígrados acumulados, calculados de la siguiente forma: $^{\circ}\text{C} \times \text{hr} = (\text{T}-\text{To}) \times \text{hr}$, donde T = temperatura promedio, $\text{To} = 10^{\circ}\text{C}$ y $\text{hr} = 24$

Ec. 1 T=21.5°C °C x hr = (21.5-10) x 24 = 276 °C x hr acumuladas por día

hr = 2208 / (21.5-10) = 192 hrs = 8 días (a 21.5°C pupas, IPM = 8 d)

Ec. 2 T=30°C hr = 2208 / (30-10) = 110.4 hr = 4.6 días (a 30°C pupas, IPM = 4.6 d)

Ec.3 T = 15°C hr = 2208 / (15-10) = 441.6 hr = 18.4 días (a 15°C pupas, IPM = 18.4 d)

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

1. La sucesión faunística es comparable con las ya conocidas a nivel internacional y se puede utilizar para determinar el IPM.
2. Es factible utilizar la metodología de los volúmenes larvarios para determinar el IPM en los casos que no ha pasado mucho tiempo desde el deceso.
3. La utilización de la entomología forense es importante en la investigación del hecho criminal, pues, en el departamento de Guatemala es uno en donde más se encuentran cadáveres abandonados, sin mucho tiempo de haberlo sido.
4. El estudio entomológico proporciona diferentes situaciones que ayudan al estudio de las causas de muerte.

6.2. Recomendaciones

1. Estimular más estudios para determinar los parámetros estadísticos que más se aproximan a la realidad.
2. Estudiar etapas más avanzadas de la sucesión faunística cadavérica.
3. Cuando se implementen estos estudios en el INACIF, que se determine cuáles son las condiciones ideales de los cuerpos utilizados.
4. Se recomienda promover la creación de granjas de partes humanas, para el estudio de la descomposición de éstas. A este respecto es indispensable estudiar los aspectos morales y éticos de este tipo de centros, sobre todo para proponer la legislación adecuada.
5. Promover este tipo de estudios en las diferentes zonas geográficas de Guatemala. Se incluye en los anexos de este trabajo las diferentes zonas geográficas de la república, proporcionadas por el INSIVUMEH.
6. Que el INACIF pueda realizar este tipo de investigación, porque determina con más precisión el IPM.

7. Referencias Bibliográficas

Abell, D. H., S.S. Wasti & G. C. Hartmann. 1982. Saprophagous arthropod fauna associated with turtle carrion. *Applied Entomology and Zoology*. 17:301-307.

Ament, 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.

Arnaldos M I., Romera, M. D., Garcia & 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 M.I., 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. 260pp.

Azeredo-Espin, A. M. L. & N. G. Madeira. 1996 Primary myiasis in dog caused by *Phaericia eximia* (Diptera; Calliphoridae) and preliminary mitochondrial DNA analysis of the species in Brazil. *J. Med. Entomol.* 33:839-843.

Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. *Forensic Sci. Int.* 120: 2-14.

Benecke, M. 2008. A brief survey of the history of forensic entomology. *Acta Biologica Benrods*.

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.

Cano, Enio B. 2003. *Insectos asociados con cadáveres en Guatemala: una nueva herramienta para el fortalecimiento del sistema de justicia*. Laboratorio de Entomología Sistemática. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, Guatemala, 73 p.

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. *Aggrawai'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.

Giao, J. Z. & W.A.C. Godoy. 2006. Seasonal population dynamic 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. Budowie, 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 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.
- 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? *Pysche*, 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 humans 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 successional-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*. 68:885-888.

Vásquez, S.R., V.D. Stephano, H.C. Marín, C.A. Rodríguez, M.J. Flores & T. Díaz. 2007. Dípteros necrófagos del estado de Nuevo León, México. *Entomología Mexicana*, Vol. 6:402-409.

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.

8. Anexos

8.1 Anexo 1

Gráficas

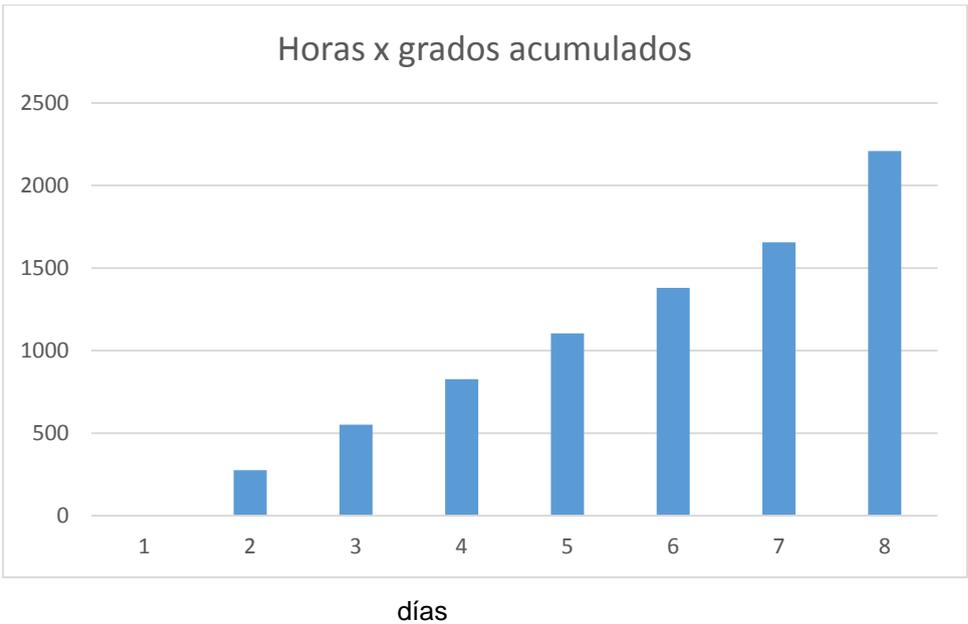


Tabla 3. Horas por grados acumulados.

8.2 Anexo 2
Fotografías.



Figura 1.



Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.



Figura 5.



Figura 6.

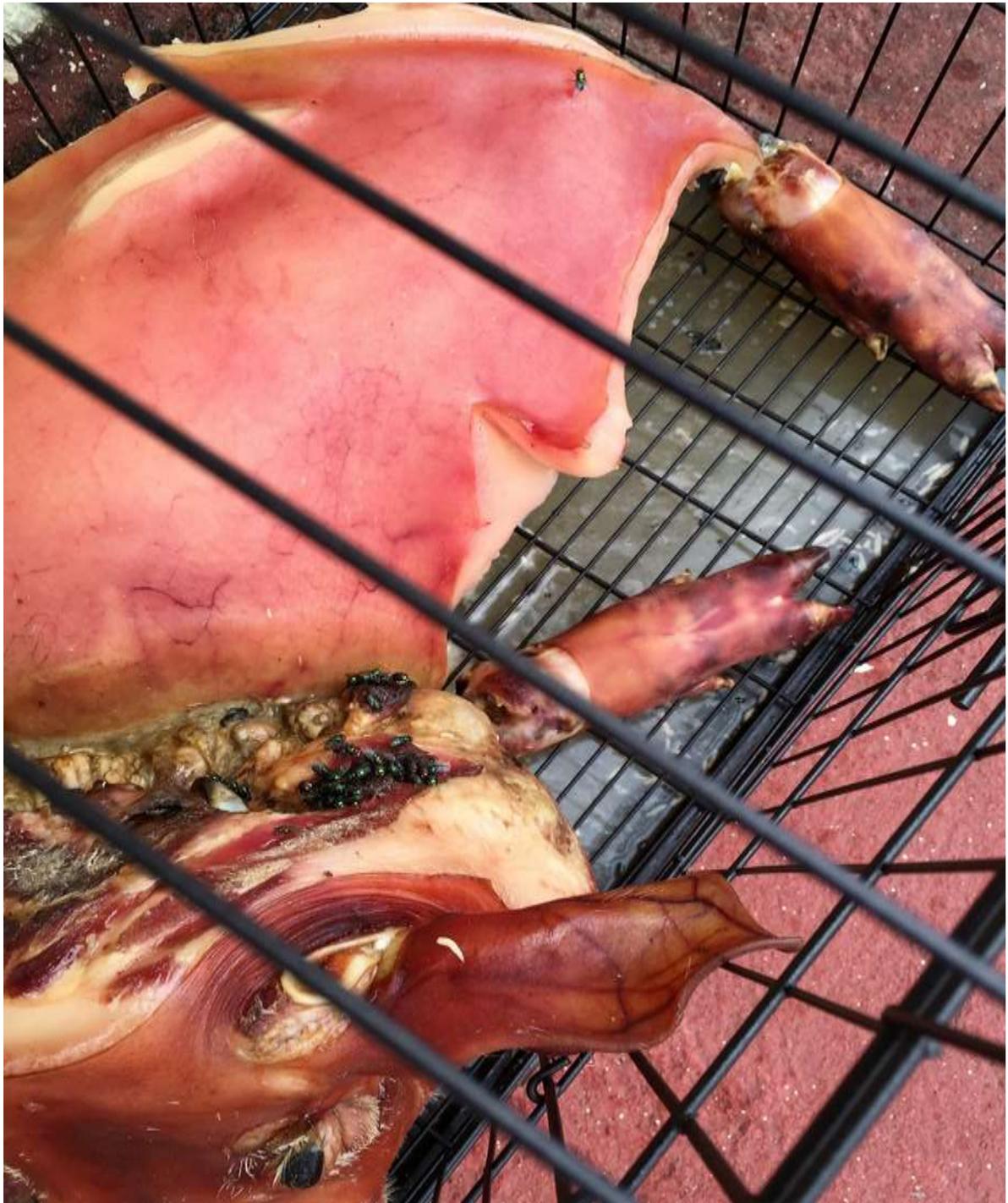


Figura 7.



Figura 8.



Figura 9.



Figura 10.



Figura 11.



Figura 12.



Figura 13.



Figura 14.



Figura 15.



Figura 16.



Figura 17.



Figura 18.



Figura 19.



Figura 20. Granja de cadáveres.

8.3. Anexo 3

Atlas meteorológico de Guatemala



Figura 21.

PERMISO DEL AUTOR PARA COPIAR EL TRABAJO

El autor concede permiso para reproducir total o parcialmente y en cualquier medio la tesis titulada "PRIMERAS OLEADAS DE SUCESION FAUNISTICA EN CADAVERES DE CERDOS EN EL VALLE DE GUATEMALA" para propósitos de consulta académica. Sin embargo, quedan reservados los derechos de autor que confiere la ley, cuando sea cualquier otro motivo diferente al que se señala lo que conduzca a su reproducción o comercialización total o parcial.