

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOLOGÍA**



**PATRON SUCESIONAL DE INSECTOS CARROÑEROS EN ZONA DE
PARAMO (COLOMBIA)**

EFRAIN EDUARDO MARTINEZ AVILA

**TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito parcial
Para optar al título de Biólogo**

BIOLOGÍA

**Bogotá, D. C.
Octubre 2005**

NOTA DE ADVERTENCIA

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

Artículo 23 de la Resolución N ° 13 de julio de 1946:

Maria J. Ariza E. Biología
Directora

Carlos Pérez Biología
Secretario

Impreso en

Impreso en

**PATRON SUCESIONAL DE INSECTOS CARROÑEROS EN ZONA DE
PARAMO (COLOMBIA)**

EFRAIN EDUARDO MARTINEZ AVILA

APROBADO

Marta I. Wolff E., Bióloga
Directora

Giovani Fagua, Biólogo
Codirector

Jurado 1

Jurado 2

**PATRON SUCESIONAL DE INSECTOS CARROÑEROS EN ZONA DE
PARAMO (COLOMBIA)**

EFRAIN EDUARDO MARTINEZ AVILA

Angela Umaña Muñoz, Bióloga
Decana facultad

Carmen Cecilia Espindola Díaz, Bióloga
Directora de Carrera

DEDICATORIA

A María Wolff por su apoyo y paciencia. A:
María Elisa Avila mi madre, Liliana Martínez mi hermana, Cesar Martínez mi hermano, Irene Avila y Omar Acosta mis tíos, Juliana Acosta y Omar E. Acosta mis primos, Dioselina Castro y Pablo Avila mis abuelos, quienes fueron el principal soporte y apoyo para llegar hasta donde estoy hoy en día.

A Carlos Pizarro por sus aperturas al mundo como investigador.

A la Universidad de Antioquia-Medellán por haberme recibido durante mi maestría académica.

A Juan Carlos Muñoz de la Peña y Aldo Gabriel Restrepo de la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales por sus visitas al campo de trabajo en Chingano.

A Carlos Lara y la gente del parque Nacional Natural Chingano por su apoyo, confianza y buena voluntad durante el tiempo que estuvo realizando labores de campo.

A Diana Giraldo quien me apoyó incondicionalmente en toda momento.

A Rafael Ramos Rubio por su ayuda y apoyo durante la realización del trabajo.

A Colección Científica Colombiana para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología y la Universidad de Antioquia quienes financiaron el proyecto (No. 1115-05-11501).

AGRADECIMIENTOS

A Marta Wolff por su apoyo y paciencia.

A Patricia Duque por su colaboración durante la fase de campo.

Al grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares (GIEM) en especial a cada una de las personas del laboratorio de colecciones entomológicas de la Universidad de Antioquia, quienes me apoyaron y me colaboraron durante todo el tiempo que estuve realizando el trabajo.

A Giovani Fagua por sus aportes académicos como codirector.

A la Universidad de Antioquia-Medellín por haberme recibido durante el intercambio estudiantil.

A Juan Carlos Riascos de la Peña y Aida Giraldo Restrepo de la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, por concedernos el permiso de realizar el trabajo en Chingaza.

A Carlos Lora y la gente del parque Nacional Natural Chingaza por todo su apoyo, confianza y buena voluntad durante el tiempo que estuve realizando la fase de campo.

A Diana Grisales quien me apoyó incondicionalmente en todo momento.

A Rafael Ramón Rubio por su ayuda y apoyo durante la realización del trabajo.

A Colciencias (Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología) y la Universidad de Antioquia quienes financiaron el proyecto (No. 1115-05-11503).

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. ANTECEDENTES.....	12
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES Y NACIONALES.....	12
2.2. ENTOMOLOGÍA FORENSE.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	22
5. RESULTADOS.....	22
TABLA 1: CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA DE LOS INSECTOS ASOCIADOS A CADÁVERES EXPUESTOS EN PÁRAMO.....	23
TABLA 1: CONTINUACIÓN.....	24
FIGURA 1: TEMPERATURA INTERNA DEL CADÁVER COMPARADA CON LA TEMPERATURA AMBIENTAL DURANTE LOS ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN.....	25
TABLA 2: PORCENTAJE DE ADULTOS DIPTERA Y COLEOPTERA COLECTADOS EN LOS DIFERENTES ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN.....	26
FIGURA 2: PORCENTAJE DE CADÁVER REMOVIDO BASADO EN EL PESO.....	27
TABLA 3: PORCENTAJE DE ACTIVIDAD LARVAL DIPTERA EN CADA ESTADO DE DESCOMPOSICIÓN.....	28
6. CONCLUSIONES.....	31
7. RECOMENDACIÓN.....	31
9. BIBLIOGRAFÍA.....	32
APÉNDICE: TABLA DE SUCESIÓN (PRESENCIA-AUSENCIA).....	38

RESUMEN

El estudio de la secuencia con que aparece la entomofauna carroñera en un cadáver, el reconocimiento taxonómico de las especies propias de cada uno de los estados de descomposición y sus tasas de desarrollo, asociados a condiciones climatológicas particulares, dan un indicio del tiempo de muerte. Este es el primer estudio sobre sucesión de entomofauna asociada al proceso de descomposición de cadáveres en zona de páramo a 3035 m.s.n.m. en Colombia (Parque Nacional Natural Chingaza), donde se observaron cinco estados de descomposición y las especies marcadoras de los mismos: *Calliphora nigribasis* para fresco, *Comptosyiops verena* para hinchado, *Piophilila foveolata* e *Hydrotaea* sp. para avanzada y *Leptocera* sp. para restos. Se presenta una tabla de sucesión de insectos carroñeros de la región, la cual puede ser usada para estimar el tiempo transcurrido después de la muerte en áreas similares. Se reporta por primera vez *Comptosyiops boliviana* en Colombia.



No es adecuado
cambiar por registra

Abstract

Time since death can be estimated by the correct identification and successional study of insect fauna appearing on a carcass at each stage of decomposition. Additionally, their rates of development associated with particular climatological conditions must be taken into account. This study is the first to look at insect succession on decomposing carcasses in paramo in Colombia. The study took place at 3035 m above sea level. Five stages of decomposition were observed with an indicator species identified for each stage: *Calliphora nigribasis* at the fresh stage; *Comptosyiops verena* at the bloated stage; *Piophilina foveolata* and *Hydrotaea* sp. during advanced decay and *Leptocera* sp. for dry remains. A succession table is presented for carrion-associated species of the region, which can be used for estimating time since death in similar areas. *C. boliviana* is reported for the first time in Colombia.

1. Introducción

La entomología forense es en la actualidad una herramienta de uso frecuente, principalmente en la determinación del tiempo transcurrido desde la muerte hasta el descubrimiento del cadáver, llamado Intervalo Postmortem o IPM. Después de 72 horas de muerte de un individuo, la entomología forense puede llegar a ser más exacta que los métodos tradicionales y a veces el único método para determinar el tiempo de muerte (Anderson and VanLaerhoven 1996).

La fauna invertebrada carroñera consta principalmente de insectos, lo cual permite en muchas ocasiones dar un indicio del tiempo de muerte, si se estudia la secuencia (sucesión) con que aparecen estos en el cadáver, si se sabe cuales han sido los primeros insectos colonizadores, si se reconocen las especies propias de cada uno de los estados de descomposición junto con el conocimiento de sus tasas de desarrollo, asociados a condiciones climatológicas particulares, como se observa en los estudios referenciados en Smith (1986), Ferllini (1994), Moura *et al* (1997), Wells & Lamotte 2001, Wolff 2001 y Wolff *et al.* (2001).

Desde el siglo XIII la ^eEntomología ^fForense se ha venido utilizando en la resolución de casos legales, pero solo hasta 1850, en Francia, fue legalmente utilizada como dictamen en una corte (Goff 1993). En Colombia aún no se constituye como un instrumento legal y tan solo hasta la fecha se han estado realizando algunos estudios sobre la aplicación de esta disciplina en la determinación del intervalo postmortem, a través de material entomológico enviado por las diferentes oficinas del instituto de medicina legal en el país, principalmente de Medellín y por medio de estudios utilizando como modelo animal, cerdo blanco *Sus scrofa* (Wolff *et al.*).

En Colombia, donde la estadística de muertes no resueltas por falta de estudios es muy alta y que cada vez está más cargada de violencia, resulta de gran interés el estudio y perfeccionamiento de las ciencias forenses, por ello es importante buscar nuevas alternativas que permitan dar evidencia para esclarecer dichos crímenes. En vista que la ^eEntomología ^fForense ha entregado excelentes resultados en otros países del mundo, se debe dar un primer paso para adoptar su metodología, con el fin de establecer estrategias que permitan obtener

• Palabra en latín, utilizar cursiva y minúscula intervalo postmortem ¹⁰

herramientas útiles en los procesos legales.

Aunque en los documentos especializados de estadísticas de muertes en Colombia no se encuentran datos específicos de muertes en páramo, sí se encuentra que durante el año 2000, el Instituto de Medicina legal y Ciencias Forenses tuvo conocimiento de 289 775 eventos violentos en todo el territorio nacional, cifras que indican un aumento global de 3% en relación con los ocurridos el año inmediatamente anterior (CNVR 2000). Estas cifras ponen de manifiesto la necesidad de realizar estudios en diferentes ambientes propios del país, como los páramos, donde se presenta un alto número de conflictos armados, con el propósito de adquirir material entomológico que ayude a determinar el intervalo postmortem ^{cufoiva *} en estas áreas.

También se debe tener en cuenta que los diferentes estudios llevados a cabo en Colombia y el mundo sobre sucesión de insectos asociados a cadáveres, en general, se han realizado en altitudes inferiores a 2800 m, razón que hace ver un poco más la importancia de llevar a cabo estudios a altitudes mayores, ya que se va a obtener nueva información que puede utilizarse para beneficio judicial.

Es así como en el presente trabajo, se determinó el patrón sucesional de insectos carroñeros asociados al proceso de descomposición de cadáveres expuestos, se colectaron e identificaron taxonómicamente los insectos tanto inmaduros como adultos y se conocieron las especies que colonizaron los cuerpos. Todo esto bajo condiciones naturales de temperatura y humedad propias del páramo a 3035 m.s.n.m en el Parque Nacional Natural Chingaza-Cundinamarca y utilizando como modelo de trabajo el cerdo blanco (*Sus scrofa*), modelo validado para este tipo de estudio, por su semejanza al ser humano en cantidad de vello, tamaño del dorso y proceso de descomposición (Shean *et al.* 1993, Ferllini 1994).

Este trabajo hace parte de un estudio dirigido a conocer la entomofauna carroñera y los patrones sucesionales en diferentes pisos altitudinales desde 0 a 3000 m, para elaborar matrices que permitan un mejor aporte al desarrollo de las ciencias forenses en Colombia.

Con el fortalecimiento de las ciencias forenses y en particular de la ~~E~~ntomología ~~f~~oreNSE, se aporta al desarrollo académico nacional poniendo la investigación en el país en la línea de desarrollo de trabajos actuales a nivel

. Actualizar el dato (CRNV 2004) ó FORENSIS 2005 ¹¹

* Sería más adecuado hablar de tiempo de muerte, pues es el dato que realmente le interesa a la autoridad.

internacional, así como en el beneficio directo del desarrollo de herramientas útiles a la justicia Colombiana. Además, los resultados de la presente investigación podrán ser utilizados por otros investigadores en el área, por la fiscalía y procuraduría ^{General de la Nación} nacional como herramienta judicial, por los médicos forenses como apoyo a la medicina legal y la ciudadanía en general.

→ la policía, el DAS (ó los funcionarios con labores de policía judicial)

2. Marco teórico

2.1. Antecedentes

El primer documento escrito de un caso resuelto por la entomología forense se remonta al siglo XIII en un manual de Medicina Legal chino referente a un caso de homicidio en el que apareció un labrador degollado por una hoz. Para resolver el caso el investigador hizo que todos los labradores de la zona que podían encontrarse relacionados con el muerto, depositasen sus hoces en el suelo, al aire libre, observando que tan solo a una de ellas acudían las moscas posándose sobre su hoja, lo que llevo a la conclusión de que el dueño de dicha hoz debía ser el asesino, pues las moscas eran atraídas por los restos de sangre que habían quedado adheridos al arma del crimen, el sujeto posteriormente confeso su crimen (Benecke 2001). Pero solo hasta 1850 en Francia fue legalmente utilizada como dictamen legal en una corte legislativa (Goff 1993). Ya en 1978 Marcel Leclercq publica *Entomología y Medicina Legal. Datación de la Muerte*, y posteriormente el ingles Smith publica en 1986 el *Manual de entomología forense*. A partir de este momento la trayectoria de la entomología forense ha estado en ascenso; siendo muchos los autores que han dedicado su tiempo y conocimientos a estos estudios, e innumerables los casos policiales en los que han contribuido entomólogos para su esclarecimiento (Greeberg and Kunich 2002, Magaña 2001).

Y

2.1.1. Antecedentes internacionales y nacionales

Castillo- Miralbés (2001) en su estudio *Artrópodos presentes en carroña de cerdos en la comarca de la Litera (Huesca)* referencia los antecedentes más significativos sobre estudios empíricos de entomofauna cadavérica que se vienen realizando desde los años cincuenta en todo el mundo. Los trabajos incluyen

desde aquellos que se han ocupado de la recolección, identificación y estudio de todo tipo de artrópodos (incluidos los presentes en el medio y, en principio, ajenos al cadáver), hasta aquellos centrados en los artrópodos protagonistas. Alguno de estos estudios y sus resultados se comentan a continuación además de los realizados en años más recientes.

En Oxford (Gran Bretaña), Chapman and Sankey (1955) estudiaron la fauna invertebrada en cadáveres de conejos expuestos en tres diferentes ambientes, en lugar seco y oscuro, con luz y a cielo abierto, e identificaron 41 taxones diferentes. En Tennessee (Estados Unidos), Reed (1958) utilizó 43 cadáveres de perros que fue colocando sucesivamente, en diferentes ambientes, en bosque y pastos, estudiando la sucesión de insectos y sus relaciones, completando una lista de artrópodos y estableciendo una cadena trófica interdependiente. Identificó 240 especies de dos clases, siete órdenes, 50 familias y 140 géneros. En el trabajo de Payne (1965), también en Estados Unidos, se contrastaron las diferencias en el proceso de descomposición entre los cadáveres de lechones expuestos a la acción de artrópodos y otros protegidos e inaccesibles. Identificó un total de 522 especies representando tres phyla, nueve clases, 31 órdenes, 151 familias y 359 géneros. En las islas de Hawaii (Estados Unidos), Early and Goff (1986) estudiaron los patrones de sucesión de artrópodos en cadáveres de gatos expuestos en dos ambientes distintos, dentro de la isla de O'ahu, e identificaron 133 taxones. Tullis and Goff (1987) utilizaron lechones, también en la isla de O'ahu, expuestos en tres enclaves distintos de la selva tropical, con un ambiente predominantemente lluvioso, identificaron 45 especies de artrópodos pertenecientes a diez órdenes, 27 familias y 40 géneros. En Chile, Saiz *et al.* (1989) estudiaron los cambios de la mesofauna asociada a la descomposición de cadáveres de conejos, en un clima típico mediterráneo. También se identificaron 33 familias distintas de artrópodos. En el trabajo de Kentner and Streit (1990), en Alemania, en nueve localizaciones distintas, utilizando cadáveres de ratones de laboratorio como cebo, se estudiaron las especies de insectos atraídas y se identificaron un total de 158 especies de 86 géneros. En el estado de Washington (Estados Unidos), Shean *et al.* (1993) estudiaron las diferencias de descomposición entre cadáveres de cerdos expuestos al sol y a la sombra.

Identificaron 49 especies de artrópodos, sin incluir los accidentales y de los que once fueron capturados solamente en la zona de sombra y 16 en la zona de exposición al sol. Utilizando como modelo animal, lechones jóvenes, una nueva línea de investigación se presenta para la entomología forense, ya que en algunos casos los cadáveres son encontrados en el agua y se hace necesario estudiar los artrópodos acuáticos que pueden acudir a los cadáveres sumergido, para ello, Vance *et al.* (1995) idearon un mecanismo de muestreo acuático y obtuvieron una relación de insectos acuáticos asociados a cadáveres de los lechones sumergidos. En total se capturaron e identificaron 20 especies distintas de insectos, pertenecientes a doce familias y cinco órdenes, mas algunos ácaros y crustáceos del orden Amphipoda. De los resultados se observa que fueron los dípteros de la familia Chironomidae los más abundantes y los que deberían ser tenidos en cuenta para las investigaciones forenses. En un medio urbano, en Alejandria (Egipto), Tantawi *et al.* (1996) utilizaron cadáveres de conejos para estudiar el proceso de descomposición y los patrones de sucesión de artrópodos durante las cuatro estaciones del año, en total estudiaron 100 especies de artrópodos, de los que los dípteros y coleópteros, en este orden, fueron los más predominantes en ese medio. Al lado de la ciudad de Campinas (Brasil), De Souza and Linhares (1997), utilizaron cadáveres de cerdos como cebo, expuestos durante las cuatro estaciones del año, en dos ambientes diferentes (sol y sombra), recolectaron los dípteros y coleópteros carroñeros, estudiando su abundancia y estacionalidad. Encontraron cinco especies de dípteros de la familia Calliphoridae, tres de la Sarcophagidae y tres del orden Coleoptera, dos derméstidos y un histérico. En el *Hawaii Volcanoes National Park* de las islas de Hawaii (Estados Unidos) Richards and Goff (1997) estudiaron, a tres altitudes distintas, los patrones de sucesión de artrópodos que acuden a los cadáveres de cerdos utilizados como cebo. Recolectaron 101 especies de artrópodos representando a 14 órdenes y 61 familias. En Curitiba (Brasil), Moura *et al.* (1997) utilizando cadáveres de ratas de laboratorio como cebos, hicieron un estudio de los insectos capturados, identificaron en total 32 especies diferentes. En el trabajo de Avila and Goff (1998) se estudiaron las diferencias en la sucesión de artrópodos utilizando cadáveres de cerdos que habían sido quemados antes de exponerlos en distintos

ambientes de las islas de Hawaii. Identificaron 66 taxones de artrópodos diferentes. En Francia, Borrel *et al.* (1999) estudiaron la sucesión de insectos con cadáveres de conejos expuestos en un ambiente extremo, las dunas de la costa noreste de Francia y capturaron e identificaron 66 especies de artrópodos, representando a tres clases, siete órdenes y 25 familias. Carvalho *et al.* (2000) determinaron los insectos del área de Campinas; Estado de Sao Paulo, Brasil, que son de importancia en la estimación del tiempo de muerte. Colectaron muestras de cerdos expuestos en un bosque natural urbano y de cuerpos humanos del Instituto de Medicina Legal del área de estudio. Cuatro de 36 familias de insectos colectadas, Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae (Diptera) y Dermestidae (Coleoptera), fueron consideradas de importancia forense. Usando cerdos blancos (*Sus scrofa*), Shabaly *et al.* (2000) compararon los patrones de descomposición entre cadáveres colgados y cadáveres en contacto con el suelo en la isla de O'ahu, Hawaii. En total se colectaron e identificaron 37 especies de artrópodos, representadas en 24 familias de insectos pertenecientes a ocho órdenes. Los dípteros fueron el grupo predominante durante los primeros estados de descomposición, siendo remplazados por los coleópteros en la descomposición progresiva. En la reserva Mata Santa Genebra localizada en Campinas, Sao Paulo, Brasil; Carvalho and Linhares (2001) estudiaron la estacionalidad de la sucesión de insectos y el proceso de descomposición en cadáveres de cerdos en un área de bosque. Un total de 14 113 especímenes de insectos adultos representantes de 36 familias fueron colectados. Los dípteros con un 85% y los coleópteros con un 12%, comprendieron el 97% del total de los insectos colectados. Arnaldos *et al.* (2001) en su estudio de la sucesión de dípteros sarcosaprophagos de la península Ibérica, presentaron la descripción de este tipo de fauna, las principales características de la dinámica de sus poblaciones y describieron los taxa más valiosos para la estimación del intervalo postmortem. Además lograron establecer una relación estrecha entre los patrones de poblaciones de dípteros y los periodos estacionales que se presentan en el área.

En Colombia hasta la fecha se han estado realizando algunos estudios con aplicación de la entomología forense para la determinación del intervalo postmortem. tiempo de muerte (Faltan referencias)

Utilizando como modelo animal un cerdo blanco (*Sus scrofa*) de 17.6 K, Wolff *et al.* (2001) en su estudio llevado a cabo en Medellín, observaron una clara sucesión de insectos tanto de carácter netamente carroñero, como incidentales, la cual se vio marcada por dos grupos principales: los dipteros y los coleopteros. El proceso completo de la descomposición bajo las condiciones ambientales propias del sitio de estudio, duro en total 225 días. Observaron también que a los 20 minutos del sacrificio comienzan a llegar moscas de las familias Muscidae y Sarcophagidae, las cuales permanecieron hasta el final de la descomposición, Calliphoridae llego a las 24 horas de sacrificio y es la primera en realizar posturas en el cadáver. La familia Calliphoridae pareció ser la principal devoradora de tejidos blandos, húmedos y con poco grado de descomposición. Los primeros insectos que colocaron sus huevos en el cadáver fueron moscas del genero *Phaenicia* (Calliphoridae). En la fase activa se destaco la gran abundancia de dipteros Muscidae y Calliphoridae y larvas de este ultimo, también empezaron a llegar depredadores principalmente Vespidae y Staphylinidae y algunos pocos ejemplares de Silphidae, Histeridae, Forficulidae, atraídos por disponibilidad de larvas de Diptera. En Cali Barreto *et al.* (2002) realizaron un informe preliminar de las moscas (Calliphoridae, Muscidae) y Coleópteros (Silphidae) que fueron recolectados de 16 cadáveres humanos en esta ciudad, para establecer la entomofauna cadavérica propia del área. Se colecto un total de 70 insectos adultos en 12 cuerpos debido a que en los otros cuatro cuerpos solo se encontró larvas y/o huevos de moscas.

2.2. Entomología forense

El estudio de los insectos asociados a los cadáveres recibe el nombre de entomología forense y busca el cumplimiento de tres objetivos principales:

- A. Determinar el tiempo de muerte a través del estudio de la entomofauna cadavérica.
- B. Verificar que un individuo ha fallecido en el lugar donde ha sido hallado o ha sido trasladado hasta el mismo.
- C. Dar fiabilidad y apoyo a otros medios de determinación del tiempo de muerte (Magaña 2001).

Inmediatamente después de la muerte, las bacterias que viven normalmente en el intestino y el cuerpo se multiplican activamente difundiéndose por vías linfáticas y sanguíneas, proliferando los microbios aerobios y cuando el oxígeno es consumido en su totalidad, aparecen los microbios anaerobios cuya acción es descomponer las sustancias albuminoides, transformándolas en cuerpos químicos sencillos con abundante producción de gases como anhídrido carbónico (CO₂), amoníaco (NH₃), ácido sulfúrico (SH₂), nitrógeno libre (N₂) hidrógeno e hidrógeno sulfurado. Según el estado de descomposición del cadáver, influenciado por factores tales como la temperatura, la humedad, el tipo de muerte, etc, existirá una atracción de una serie de insectos que van sucediendo a través del tiempo; esta fauna cadavérica aparece en determinados periodos de actividad, también llamadas oleadas de insectos, para devorar del cadáver lo único que a cada grupo le interesa. Así, según los insectos que se hallen y su estado de desarrollo también es posible determinar la fase de descomposición en la que se encuentra el cadáver. Generalmente los dípteros son los primeros colonizadores del cadáver y constituyen la primera oleada de necrófagos que aparece inmediatamente después de la muerte. Las hembras grávidas atraídas por el olor de los gases desprendidos llegan al cadáver, donde estos insectos cumplen una parte importante de su ciclo vital, lamen la sangre u otras secreciones que salgan de heridas o los orificios naturales y realizan sus posturas (P. Moreno, datos no publ., Magaña 2001). Como se observa en estudios referenciados en Smith (1986), en 1984 Megnin reporta ocho oleadas de insectos; Sefani (1921) y Payne (1965) seis oleadas; Fuller (1934) tres oleadas; Jhonson (1975), Jirón and Cardín (1981) y Rodríguez and Bass (1983) reportan cuatro oleadas; Utsumi (1958) y Hieden (1950) describen dos oleadas; y Lord and Burger (1984) y Bornemissza (1957) 5 oleadas. En estudios más recientes se establecen cinco fases en el intervalo postmortem asociadas directamente a la actividad de los insectos (Ferllini 1994, Anderson and VanLaerhover 1996).

En la descomposición de un cuerpo expuesto se pueden reconocer cinco estados o fases, las cuales se diferencian por los cambios físicos que se presentan durante cada uno de estas (Early and Goff 1986, Smith 1986, Tullis and Goff 1987, Wolff *et al.* 2001):

1º Estado fresco: En esta fase el cadáver parece fresco externamente pero se está descomponiendo internamente debido a la actividad de bacterias, protozoos y nemátodos presentes en el cuerpo antes de la muerte. Este se define como aquel que transcurre desde el momento de la muerte hasta que se hace evidente la hinchazón y no se presentan malos olores.

2º Estado hinchado: El cadáver presenta distensión abdominal y retículo venoso, producidos por la acumulación interna de gases gracias a las fermentaciones anaeróbicas de los microorganismos digestivos, se presenta salida de líquidos, de heces y de mucosas por el ano y comienzan a sentirse los olores característicos de putrefacción.

3º Estado de descomposición activa: El cadáver presenta una apariencia desinflada, la licuefacción de los tejidos es notoria, se observa salida de gases y se percibe un olor putrefacto muy fuerte.

4º Estado de descomposición avanzada: Se da la pérdida de tejidos musculares, con la percepción de olor rancio, menos fuerte que el putrefacto.

5º Estado restos: Fase en la cual del tejido blando del cadáver ya queda muy poco, solo huesos limpios, algo de cartilago y remanentes de piel.

Es importante observar que no todos los invertebrados que se encuentran en un cadáver se están alimentando de él, se pueden encontrar especies que estén por la búsqueda de humedad o simplemente de paso; por lo cual pueden clasificarse de la siguiente forma: (según Smith 1986, Magaña 2001, M. Catillo-Miralbés, datos no publ.)

Especies necrófagas: Colonizan los cadáveres, alimentándose de sus tejidos muertos, también ponen sus huevos en los cadáveres, para que cuando emerjan sus larvas éstas puedan alimentarse y completar sus ciclos vitales. Esta constituye la categoría más importante en el establecimiento del tiempo de muerte (IPM), ya que su desarrollo y sucesión dependen en forma directa del estado del cadáver. Se incluyen dípteros (Calliphoridae y Sarcophagidae) y coleópteros (Silphidae y Dermestidae).

Especies predatoras y parásitas de necrófagos: Este es el segundo grupo más significativo de la entomofauna del cadáver. Las especies de este grupo se alimentan de otros artrópodos que acuden a los cadáveres para alimentarse,

especialmente de sus larvas, incluye coleópteros como Silphidae, Staphylinidae e Histeridae, dípteros (Calliphoridae y Stratiomyidae) e Himenópteros parásitos, estos últimos utilizan las larvas y pupas de los dípteros para completar sus ciclos vitales ya que ponen sus huevos en el interior de las mismas utilizándolas como alimento para que puedan llegar hasta el fin de su desarrollo y emerger al medio a costa de su hospedero.

Especies saprófagas: Son los artrópodos que se alimentan, en general, de materia orgánica en descomposición, así que utilizan el cadáver como una fuente de alimento general.

Especies omnívoras: Se incluyen aquí grupos como las avispas, hormigas y otros coleópteros que se alimentan tanto del cuerpo como de los artrópodos asociados.

Especies incidentales o fauna local: Aquí se incluyen las especies que utilizan el cuerpo como una extensión de su hábitat normal, como por ejemplo colembolos, algunos coleopteros, dípteros y hemipteros entre otros. Algunas familias de ácaros que pueden alimentarse de hongos y moho que crece en el cuerpo.

Una definición simple de sucesión de artrópodos es: la progresión ordenada de artrópodos habitando y/o utilizando los restos en descomposición. Los insectos son con frecuencia los primeros en llegar a la escena del crimen, y además llegan con una predecible frecuencia (Magaña 2001). Es así como el conocimiento de datos meteorológicos junto con los insectos hallados en la escena del crimen, permite a los investigadores determinar el IPM. Otra variable por tomar en cuenta es el tipo de invasión que hacen en el cuerpo, ya que algunos persisten todo el tiempo, mientras que otros se retiran y luego reaparecen (Wolff *et al.* 2001). Existen dos métodos para determinar el tiempo transcurrido desde la muerte usando la evidencia de los insectos; el primero utiliza la edad de las larvas y la tasa de desarrollo y el segundo utiliza la sucesión de insectos carroñeros presentes en las diferentes etapas de descomposición del cuerpo (Wells and Lamotte 2001). Ambos métodos se pueden utilizar por separado o conjuntamente, siempre dependiendo del tipo de restos que se estén estudiando. Por lo general, en las primeras fases de 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 (Magaña 2001). Las variables utilizadas para estos métodos están influenciadas por la temperatura y humedad relativa del ambiente, principales factores que controlan la oviposición y las tasas de desarrollo de los insectos necrófagos. También el tiempo frío y la lluvia impiden la actividad de vuelo de los insectos (Smith 1986).

Muchas veces los insectos también pueden facilitar datos sobre el lugar donde ocurrió la muerte, cuál ha sido su localización geográfica ó si el cuerpo ha sido trasladado desde su ubicación original, puesto que si se encuentran especies sobre un cuerpo en descomposición y estas no corresponden con las especies de la zona, indican que el cuerpo en cuestión fue transportado de un área a otra (Shean *et al.* 1993, Catts and Goff 1992). En casos que involucran posibles muertes repentinas, muerte por uso de drogas y envenenamiento, el análisis apropiado para detectar sustancias en el tejido de las larvas que están consumiendo el cuerpo, pueden llegar a dar evidencias útiles, debido a que estas incorporan en sus tejidos restos de compuestos químicos (metabolitos) presentes en el individuo (cuerpo) como cocaína, anfetaminas e incluso venenos. Lo anterior toma importancia en aquellos casos en que el cuerpo se encuentra en avanzado estado de descomposición ó cuando carece de sangre y no es posible realizar el análisis toxicológico de rutina (Anderson and VanLaerhoven 1996, Goff *et al.* 1997, Wolff *et al.* en prensa).

3. Materiales y métodos

El trabajo se realizó en área de páramo del Parque Nacional Natural Chingaza ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes colombianos, entre los 73°30' y los 73°55' longitud oeste y los 4°20' y 4°50' latitud norte (INDERENA 1986) a 3035m de altitud; las temperaturas medias anuales oscilan dentro entre 4.5°C y los 21.4°C y la humedad relativa sobrepasa el 80% anual (INDERENA 1986). Aquí el paisaje del páramo se caracteriza por la presencia de extensas praderas

onduladas con pequeños parches de bosques aislados o resguardados por los grandes riscos que las rodean. Además sobresalen las coberturas de frailejones y pajonales donde se destacan varias especies vegetales endémicas regionales (Madrrián et al. 2001)

Como modelo de estudio se trabajó con tres cerdos de aproximadamente 10 k de peso (Ferllini 1994) sacrificados por punción cardiaca el 12 de Sep 2002. Inmediatamente después de la muerte los cerdos fueron colocados individualmente en jaulas metálicas desarmables de 60 x 40 x 40 cm construidas con maya de alambre (2 cm x 2 cm) que permitía el acceso de los insectos al cadáver y evitaron que fueran tomados por vertebrados carnívoros (Wolff *et al.* 2001). Estas fueron ubicadas en un pajonal a 20 m de distancia una de la otra bajo condiciones similares (exposición, tipo de vegetación y altura).

El proceso de descomposición se observó desde el 12 de Sep al 04 de Dic 2002. Los muestreos se realizaron tres veces al día (cada seis horas) durante los primeros ocho días, luego dos veces al día (a las 11:00 y 17:00 horas) los siguientes ocho días y una vez al día (a las 12:00 horas) hasta llegar a restos el día 83 después de la muerte. En cada muestreo con ayuda de una red entomológica y previo a la manipulación del cadáver, se colectaron en primer lugar aquellos artrópodos que estuvieron sobrevolando y/o posados en el cuerpo, luego los que se hallaban en las cavidades naturales (ojos, nariz, boca, ano) y en la herida; finalmente los que estaban por debajo del cuerpo y en el suelo hasta una profundidad de 10 cm. El material colectado se fijo en alcohol 80% para el caso de los inmaduros y los adultos se sacrificaron en acetato de etilo para ser montados en alfiler entomológico. Durante cada muestreo se tomaron datos de la temperatura ambiente y corporal (rectal), se tomo nota de los cambios y acontecimientos físicos (olor, hinchazón, salida de líquidos, salida de gases, etc.) que presentaron los cadáveres a través del tiempo y una vez al día se peso cada uno de los animales con una balanza de reloj (Haskell *et al.* 2001).

Para la identificación de las especies colonizadoras, se colectaron huevos de las primeras posturas en cada uno de los cerdos, los cuales se colocaron en recipientes plásticos (tres para cada uno de los cerdos) que contenían aproximadamente 5 g de hígado crudo de cerdo. Los recipientes se taparon

inmediatamente con muselina y se depositaron en neveras de polipropileno expandido donde se hizo seguimiento del desarrollo a los huevos colectados, hasta que llegaron al estadio adulto (Byrd 2001).

La determinación taxonómica del material tanto adultos como larvas, fue realizada con las claves de Borror *et al.* (1989), Carvalho (2002), Dear (1985), White (1983), Greenberg and Szyska (1984, 2002), Liu and Greenberg (1989), Mc Alpine *et al.* (1981,1987), Queiroz and Carvalho (1987), Smith (1986,1989), Stehr (1991), Wells *et al.* (1999) y Mariluis (2002). Cuando fue necesario para las larvas, se procedió a aclararlas en KOH y se realizó el montaje permanente en bálsamo de Canadá. Cada uno de los ejemplares fue depositado en el Laboratorio de Colecciones Entomológicas del Instituto de Biología de la Universidad de Antioquia.

4. Análisis Estadístico

Este estudio fue diseñado para evaluar el patrón sucesional de insectos durante la descomposición de tres cadáveres, y no fue diseñado para un análisis cuantitativo. Sin embargo, a las especies de insectos se les asignó un número y la presencia o ausencia de cada especie en cada cadáver en cada día fue registrada y los datos fueron analizados con un test Kruskal Wallis $P > 0.05$.

5. Resultados

Diptera y Coleoptera constituyeron el 99.6% de los individuos colectados. No hubo diferencia significativa entre los tres cadáveres con respecto a la presencia y la ausencia de especies en cada día (prueba de Kruskal Wallis, $P > 0.05$). Por lo tanto, los datos fueron combinados para definir el patrón sucesional.

En total se colectaron 36 813 individuos (entre larvas, ninfas y adultos) pertenecientes a seis órdenes, 53 familias, 55 géneros y 98 especies (Tabla 1), de los cuales 34 814 fueron Diptera, 1 873 Coleoptera, 50 Heteroptera, 50 Hymenoptera, 24 Dermaptera y 2 Dycptoptera. Dos familias de Diptera fueron las más abundantes: Calliphoridae (31 653 individuos) y Sphaeroceridae (2 231 individuos). Los otros 930 individuos pertenecen a otras 20 familias.

Tabla 1: Continuación

Cat. Ecol.	Orden	Familia	Especie	Fresco			Hinchado			Activa			Avanzada			Restos		
				0-3			4-16			17-30			31-51			52-83		
				A	I	H	A	I	H	A	I	H	A	I	P	A	I	P
Omnívoras	Hymenoptera	Vespidae	Indet.							x			x					x
	Dyctioptera	Blattellidae	Indet.										x					x
Incidentales	Diptera	Anthomyzidae	<i>Ischnomyia</i> sp.	x			x											
		Camillidae	Indet.										x					x
		Ceratopogonidae	<i>Forcipomyia</i> sp.										x					
		Chamaemyiidae	Indet.										x					x
		Chloropidae	<i>Meromyza</i> sp.				x						x					x
		Dolycopodidae	<i>Argyra</i> sp. <i>Chrysotus</i> sp.										x					x
		Otitidae	<i>Cephalia</i> sp.	x			x											
		Psychodidae	<i>Psychoda</i> sp.	x			x											
		Sciaridae	<i>Scatopsciara</i> sp. <i>Schwenkfeldina</i> sp.				x						x					x
		Sciomyzidae	<i>Poecilographa</i> sp.						x									
		Syrphidae	<i>Eristalis</i> sp.						x	x			x					
		Indet.		x			x			x			x					
	Tabanidae	<i>Tabanus</i>					x						x	x				
	Coleoptera	Cantaridae	<i>Cantharis</i>	x			x											
		Chrysomelidae	Indet.	x			x			x			x					x
		Coccinellidae	Indet.				x											
		Curculionidae	Indet.															x
		Lampyridae	<i>Pollaclasis</i> sp. <i>Photuris</i> sp.				x						x					
		Lycidae	Indet.										x					
		Melolontidae	Indet.							x								
		Nitidulidae	<i>Conotelus</i> sp.				x											x
		Oedemeridae	Indet.															x
	Heteroptera	Cercopidae	Indet.															x
		Cicadellidae	Indet.	x			x			x			x					x
		Lygaeidae	Indet.				x						x					
		Miridae	Indet.							x			x					x
		Pentatomidae	Indet.										x					
		Pyrrhocoridae	Indet.	x														

A:adulto, I:inmaduro, H:huevos, P:pupa

De Coleoptera cuatro de las 15 familias fueron las más abundantes: Ptilidae (862 individuos), Staphylinidae (441 individuos), Histeridae (360 individuos) y Melyridae (163 individuos).

Según la clasificación de las categorías ecológicas de Smith (1986) y Magaña (2001), entre la entomofauna hallada se incluyen familias necrófagas, predatoras y parásitas de necrófagos, saprófagas, omnívoras e incidentales o fauna local (Tabla 1).

Estados o fases de descomposición

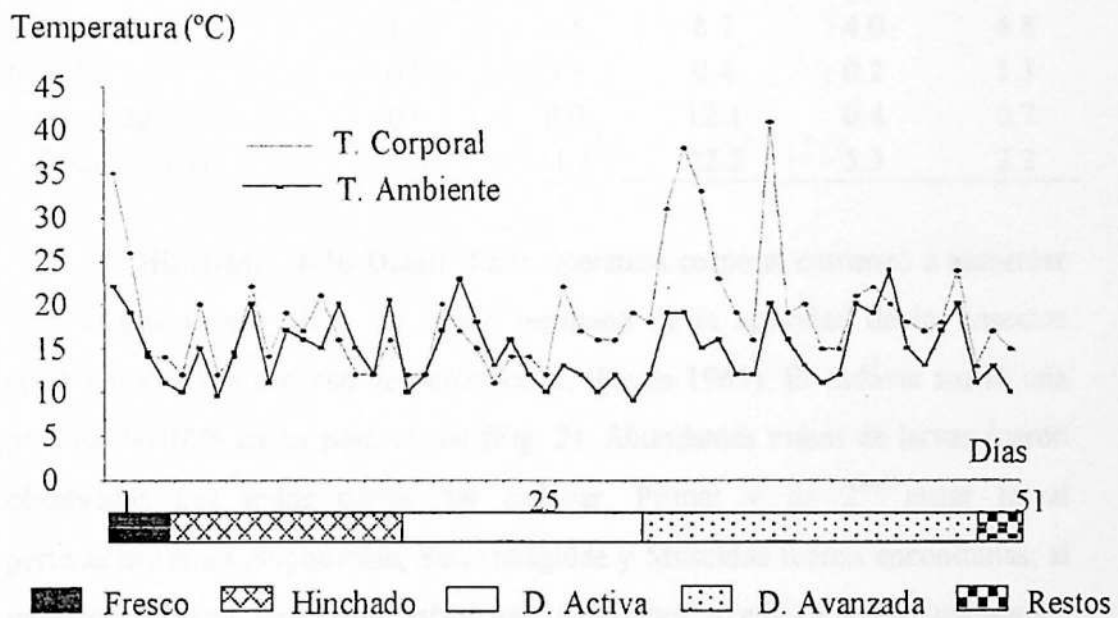
Durante el estudio, fueron observados cinco estados de descomposición:

fresco, hinchado, descomposición activa, descomposición avanzada y restos (Tabla 1); los cuales fueron determinados por los cambios físicos y de temperatura corporal de los cadáveres (Wolff *et al.* 2001).

1. Fresco (0-3 Días)

Se observó una disminución drástica de la temperatura corporal alcanzando valores por debajo de la temperatura ambiental (Fig. 1). Se encontró gran cantidad de posturas (masas de huevos) en orificios naturales, cuello, cerca de la herida y en el costado sobre el cual daba hacia el suelo.

Figura 1: Temperatura interna del cadáver comparada con la temperatura ambiental durante los estados de descomposición



Inmediatamente después de la muerte llegaron los primeros adultos de Muscidae (*Drymeia* sp., *Fannia* sp., *Linnophora* sp) y Calliphoridae (*Calliphora nigrbasis* y *Comptosyiops verena*). A partir de la cuarta hora después de la muerte hasta el día 18 se observaron posturas de *C. nigrbasis* (Tabla 3, Apéndice). La segunda especie en hacer posturas fue *C. verena* el día tres y continuo ovipositando hasta el día siete.

Otras especies abundantes como adultos durante esta fase fueron *Leptocera* sp. and *Linnophora* sp. (Tabla 2).

Tabla 2: Porcentaje de adultos Diptera y Coleoptera colectados en los diferentes estados de descomposición

	Fresco	Hinchado	Activa	Avanzada	Restos
<i>Calliphora nigribasis</i>	34.3	18.8	4.5	0.2	0.2
<i>Comptosomyiops verena</i>	1.5	12.7	6.3	0.0	0.2
<i>Drymeia</i> sp.	7.5	1.3	0.4	0.1	0.0
<i>Limnophora</i> sp.	17.9	1.7	0.3	0.1	0.2
<i>Morellia</i> sp.	0.0	0.4	0.9	0.2	0.0
<i>Neivamyia</i> sp.	4.5	1.6	0.1	0.2	0.0
<i>Polietes</i> sp.	4.5	9.3	2.0	0.2	0.0
<i>Piophilha foveolata</i>	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3
<i>Leptocera</i> sp.	22.4	7.1	0.4	72.5	62.8
<i>Actinopteryx</i> sp.	6.0	16.6	29.9	12.2	26.0
<i>Lathropinus</i> sp.	0.0	3.5	11.7	4.1	1.5
<i>Dianous</i> sp.	1.5	6.5	8.7	4.0	4.8
<i>Carabus</i> sp.	0.0	0.3	0.4	0.2	1.3
<i>Dasyrhadus</i> sp.	0.0	8.9	12.1	0.4	0.7
<i>Neopachylopus</i> sp.	0.0	11.2	22.2	5.3	2.2

2. Hinchado (4-16 Días): La temperatura corporal comenzó a aumentar durante este estado (Fig. 1), como resultado de la actividad de los insectos combinada con el proceso de putrefacción (Payne 1965). El cadáver sufrió una pérdida del 10% de su peso inicial (Fig. 2). Abundantes masas de larvas fueron observadas por todas partes del cadáver. Primer y de 2^{do} instar larval pertenecientes a Calliphoridae, Sarcophagidae y Muscidae fueron encontradas; al igual que 3^{er} instar larval de *C. nigrivasis*, *C. Verena*, *Azelia* sp. y *Sarcophaga* sp. (Apéndice).

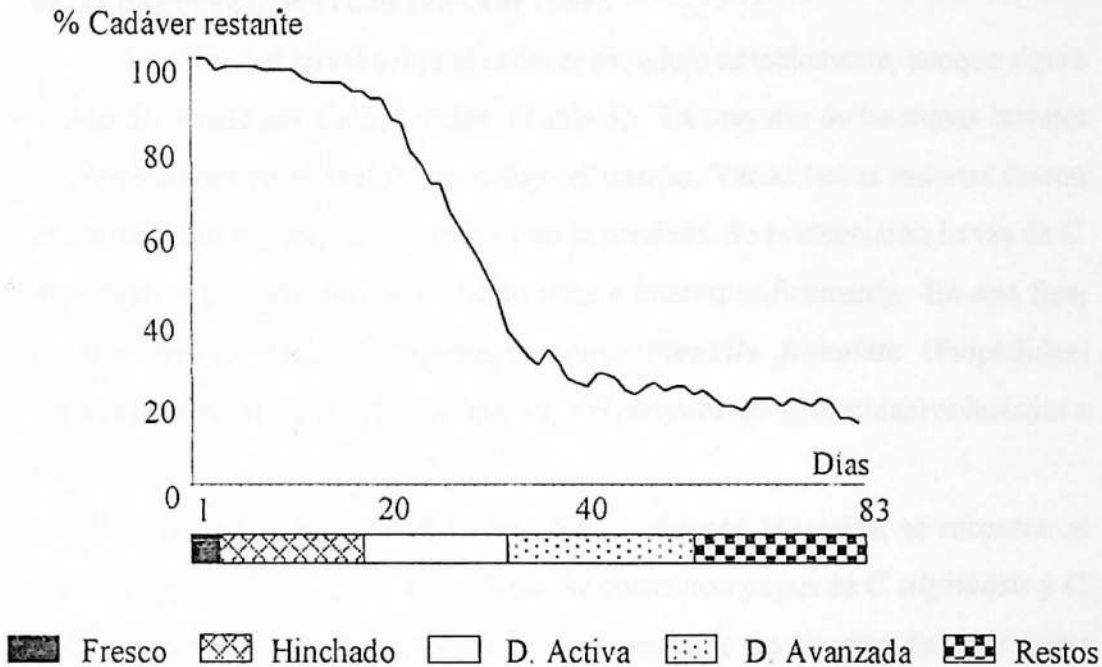
Un gran numero de adultos de *C. nigrivasis* y *C. verena* fueron atraídos durante este estado (Tabla 2), especies de las cuales se colectaron individuos en el momento que se encontraban haciendo posturas.

Durante este periodo la gran oleada de predadores fue evidente (Tabla 1 y 2), apareciendo nuevos grupos de Coleoptera como *Neopachylopus* sp., *Dasyrhadus* sp., *Anacyptus* sp., *Dianous* sp., *Lathropinus* sp., *Carabus* sp.; y otros grupos de Diptera, Dermaptera, Hymenoptera y Hemiptera (Tabla 1).

3. Descomposición activa (17-30 Días): La temperatura corporal siguió bajando y solo aumento en los días finales de la descomposición activa (Fig. 1).

Una drástica y rápida pérdida de peso ocurrió durante este estado (Fig. 2), donde un 52% del peso del cadáver fue removido.

Figura 2: Porcentaje de cadáver removido basado en el peso



Con respecto a los insectos presentes, se encontraron larvas de los tres instar de *C. nigrivasis*, 2^{do} y 3^{er} instar de *Compsoyiops boliviana* y de 3^{er} instar de *C. Verena* (Apéndice). No se observaron especies de Sarcophagidae, siendo el estado anterior el único en el que se presentaron tanto adultos como inmaduros (Tabla 1). La actividad larval se presentó en grandes masas por todo el cuerpo, pero en su mayoría concentradas hacia el costado del cadáver que daba hacia el suelo. Esta actividad siguió siendo dominada por *C. Nigrivasis*, *C. boliviana* y *C. verena* (Tabla 3); especies de las que se colectaron individuos haciendo posturas el día 18 y 19.

Nuevas especies predadoras Hymenoptera y Coleoptera aparecieron con individuos de Ichneumonidae, Vespidae y Staphylinidae. Las especies de Phoridae no aparecieron durante este estado y además *Fannia* sp. desaparece definitivamente (Tabla 1).

4. Descomposición avanzada (31-51 Días): Los picos más altos de temperatura corporal fueron alcanzados durante este estado, con un valor máximo

de 38°C (Fig. 1). Para el final de esta fase el cuerpo perdió un 75% de su peso inicial (Fig. 2) y se encontró un material mucilaginoso en y alrededor del cadáver. Este subproducto de la descomposición (BOD) (Tullis and Goff 1987) consiste en tejidos finos internos y material de insectos en combinación con otros productos de la descomposición (Tullis and Goff 1987).

La actividad larval sobre el cadáver se redujo notablemente, aunque siguió siendo dominada por Calliphoridae (Tabla 3). La mayoría de las masas larvales se concentraron en el suelo lodoso bajo el cuerpo. Varias larvas muertas fueron encontradas en el cuerpo, enterradas y en la periferia. Se evidenciaron larvas de *C. nigribasis* y *C. boliviana* depredando intra e interespecíficamente. En esta fase, llegaron nuevas especies saprófagas como *Piophilina foveolata* (Piophilidae) colectadas a partir del día 40; *Helina* sp. e *Hydrotaea* sp. (Muscidae) colectadas a partir del día 34 (Apéndice).

Pupas de *C. nigribasis*, *C. boliviana* y algunos Muscidae, se encontraron entre los restos y a unos 2 m del cuerpo. Se colectaron pupas de *C. nigribasis* y *C. verena* entre el musgo del suelo; estas se depositaron en cámaras de emergencia donde se obtuvieron los adultos (Tabla 1).

El número de adultos de Calliphoridae se redujo considerablemente, siendo reemplazados por dípteros pequeños como *Leptocera* sp. y *P. foveolata*, especies que pudieron ser atraídas por los tejidos en descomposición y el BOD (Tabla 2).

Tabla 3: Porcentaje de actividad larval Diptera en cada estado de descomposición

	Hinchado	Activa	Avanzada	Restos
<i>Calliphora nigribasis</i>	89.6	79.2	50.0	31.8
<i>Comptosyriops boliviana</i>	0.2	10.4	45.7	62.5
<i>Comptosyriops verena</i>	9.8	8.5	1.3	0.2
<i>Azelia</i> sp.	0.4	1.6	2.2	0.7
<i>Hydrotaea</i> sp.1	0.0	0.0	0.5	1.3
<i>Hydrotaea</i> sp.2	0.0	0.0	0.0	0.03
<i>Piophilina foveolata</i>	0.0	0.0	0.3	2.0
<i>Leptocera</i> sp.	0.0	0.0	0.0	1.3

5. Restos (52-83 Días): Durante este estado se realizaron las últimas colectas de entomofauna de la carroña, siendo el día 83 el último muestreo. Para

este día ya se había perdido un 87% del peso inicial del cuerpo (Fig. 2), quedando solo remanentes de cuero y huesos. El DOB ya estaba seco y parte de este había pasado a formar parte del suelo.

Las pocas larvas que se encontraron sobre el cerdo estaban concentradas en la parte de las extremidades (pesuñas), sitios donde se refugiaban y donde quedaba un poco de tejido blando, el resto se colectaron en el suelo bajo el cerdo. Larvas de 2^{do} instar de *C. nigribasis* y *C. boliviana* fueron encontradas hasta los días 57 y 64 respectivamente. Larva de 3^{er} instar y pupas fueron encontradas hasta el final, así como larvas de 3^{er} instar de *P. Foveolata* (Apéndice).

6. Discusión

Se observaron cinco estados o fases de descomposición: fresco, hinchado, activa, avanzada y restos; que fueron delimitados por los cambios en el aspecto y en la temperatura corporal. El estado fresco duró cuatro días y el hinchado 13 días. Esto fue mas largo que los periodos correspondientes señalados en otros estudios (Wolff *et al.* 2001, Anderson and VanLaerhoven 1996 y Tullis and Goff 1987), donde el estado fresco duro hasta 2 días y el estado hinchado duro de cuatro a ocho días. En este estudio las etapas subsecuentes estuvieron dentro de los rangos dados en los estudios mencionados con anterioridad. Esta situación se puede explicar por las condiciones determinadas de temperatura mas frías en este estudio comparado con los otros informes.

C. nigribasis y *C. verena*, fueron los primeros en colonizar los cadáveres, a diferencia del estudio de Wolff *et al.* (2001) efectuado en Colombia a 1450 m.s.n.m, en donde *Phaenicia sericata* fue la especie colonizadora.

Durante los estados hinchado y descomposición activa *C. nigribasis*, *C. boliviana* y *C. verena* fueron las principales responsables de la remoción de carroña. La presencia de un elevado número de larvas de estas tres especies constituye la razón por la cual en este estado se presentó una rápida pérdida de peso y por ende una reducción en la disponibilidad de recurso alimenticio (Tabla 3, Fig. 2). Esta competencia por los recursos pudo, consecuentemente, haber contribuido a la depredación inter específica entre larvas de *C. nigribasis* y *C. boliviana*.

El patrón sucesional observado muestra semejanzas con los descritos por Tullis and Goff (1987), Wolff *et al.* (2001) y Anderson and VanLaerhoven (1996), en que fueron representados por dos grupos principales (Diptera y Coleoptera). Diptera, especialmente *C. nigribasis* y *C. boliviana* continuaron su actividad necrófaga durante todo el proceso de descomposición (Tabla 3, Apéndice), lo cual no es un caso normal según la mayoría de los informes en los cuales Calliphoridae esta presente solamente hasta las primeras 3 a 4 etapas de la descomposición, pero no se encuentra en restos.

Las condiciones ambientales del área de estudio, en una altitud de 3 035 m y con temperaturas ambientales que fluctuaban entre 9 y 23°C durante el día y -1 y 7°C en la noche, influenciaron el proceso de descomposición de los cadáveres. Este proceso tomó 83 días, a diferencia de los 45 días señalados por Carvalho y Linhares (2001) en el Brasil durante la estación mojada en donde el mismo modelo de 10 kilogramos fue utilizado. Aunque el peso de los cerdos era igual, el índice de la descomposición pudo haber sido influenciado por la temperatura ambiental. Este estudio fue hecho en 3 035 m sobre nivel del mar, mientras que el estudio de Castillo-Miralbes (2001) fue hecho a 300 m sobre nivel del mar y en temperaturas ambiente más altas.

La pérdida de peso rápida es el resultado de la conversión de biomasa del cadáver a biomasa larval y la salida subsiguiente de estas para pasar a pupa (Tullis and Goff 1987). El porcentaje de carroña removida a través del tiempo, comparada con el estudio llevado a cabo en Hawaii por Tullis and Goff (1987) con cerdos de tamaño similar, fue mucho mas baja. Para el final del estado activo en el estudio en Hawaii, se había perdido un 80 % y a partir de este punto se noto una pequeña reducción quedando solo un 18% del cuerpo para el final del trabajo; mientras que para el presente estudio solo un 52% había sido removido al finalizar el estado activo, para el avanzado se había perdido un 75% y en restos quedo solo un 13% (Fig. 2). Esto puede ser explicado por la marcada diferencia en la hábitos de oviposición de los dípteros. *C. nigribasis* y *C. verena* fueron observados ovipositando hasta los primeros días del estado activo mientras en Hawaii *Chrysomya megacephala* y *Chrysomya rufifacies* solo realizaron posturas en estado fresco. Estas posturas tardías también explican la presencia de larvas de

2^{do} instar de *C. nigribasis* y *C. boliviana* durante el estado de restos y de 3^{er} instar de estas especies hasta el ultimo día de muestreo (Tabla 3, Apéndice).

En esta región con condiciones ambientales específicas, se pueden designar como especies marcadoras de los estados de descomposición a *C. nigribasis* para fresco, *C. verena* para hinchado, *P. foveolata* e *Hydrotaea* sp. para avanzada y *Leptocera* sp. para restos. Además, este es el primer reporte de *C. Boliviana* en Colombia.

6. Conclusiones

La altitud, los factores bioclimáticos y la vegetación determinan a distribución de la especie en las zonas tropicales. Esto es mostrado claramente por este estudio realizado en páramo a 3 035 m sobre el nivel del mar donde las especies andinas *C. nigribasis*, *C. boliviana* y *C. verena* fueron encontradas. Estas especies no habían sido señaladas previamente en los estudios de entomología forense conducidos en diversas zonas climáticas en Colombia. Estas especies pueden ser especies indicadoras importantes de específicas etapas de descomposición en esta zona bioclimática. Finalmente, se presenta un patrón sucesional de insectos carroñeros en páramo. Éste apunta a ser un instrumento útil para otros investigadores y científicos forenses que trabajan en las áreas similares (Apéndice).

7. Recomendación

La mayoría de los trabajos llevados a cabo, referentes a sucesiones de insectos carroñeros, han sido realizados con diferentes tipos de fauna (modelos) propia del área de estudio, y en zonas que en la mayoría de los casos no reflejan los tipos de hábitat que se pueden encontrar en Colombia, por ende, es de vital importancia que en el ambiente colombiano se realicen más estudios semejantes para determinar los factores ambientales y poder determinar el tiempo de muerte con mayor exactitud.

9. Bibliografía

- Anderson, G. and VanLaerhoven, S. L. 1996. Initial studies on insect succession on carrion in Southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Sciences* 41 (4): 617-625.
- Arnaldos, I., Romera, E., Garcia, M. D. and Luna, A. 2001. An initial study on the succession of sarcosaprophagous Diptera (Insecta) on carrion in the Southeastern Iberian peninsula. *Int. J. Legal Med.* 114: 156-162.
- Avila, F.W. and Goff, M.L. 1998. Artropod succession patterns onto burnt carrion in two contrasting habitats in the Hawaiian Islands. *Journal of Forensic Sciences* 43(3): 581-586.
- Barreto, M., Burbano, M.E. and Barreto, P. 2002. Flies (Calliphoridae, Muscidae) and Beetles (Silphidae) from human cadavers in Cali, Colombia. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 97(1): 137-138.
- Benecke, M. 2001. A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International* 120 (1-2): 2-14
- Borror, D., Triplehorn, C. and Johnson N. 1989. An Introduction to the Study of Insects. 6^a edition. Saunders College Publishing. United States of America. 875p.
- Bourel, B., Martin-Bolyer, L., Hedouin, V., Cailliez, J.C., Derout, D. and Gosset, D. 1999. Necrophilous insect succession on rabbit carrion in sand dune habitats in Northern France. *Journal of Medical Entomology* 36(4): 420-425.
- Carvalho, C.J.B. de, Thyssen, P.J., Linhares, A.X. and Palhares, F.A.B. 2000. A checklist of arthropods with pig carrion and human corpses in Southeastern Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 95(1): 135-138.
- Carvalho, L.M.L. de and Linhares, A.X. 2001. Seasonality of insect succession and pig carcass decomposition in a natural forest area in Southeastern Brazil. *Journal of Forensic Science* 46(3): 604-608.
- Carvalho, C.J.B de. 2002. Muscidae (Diptera) of the Neotropical region: Taxonomy. Editora UFPR, Brasil, 287p.
- Castillo-Miralbes, M. 2001. Artropodos presentes en carroña de credos

- en la comarca de la Litera (Huesca). *Bol. S. E. A.* 28: 133-140.
- Catts, E.P. and Goff, M.L. 1992. Forensic Entomology in Criminal Investigations. *Annual Review of Entomology* 37: 253-272.
 - CENTRO DE REFERENCIA NACIONAL SOBRE VIOLENCIA CRNV. 2000. Forensis datos para la vida. Primera edición. Santafé.de Bogotá D.C. pg. 13-15.
 - Chapman, R.F. and Sankey, J.H.P. 1955. The larger invertebrate fauna of three rabbit carcasses. *Journal of Animal Ecology* 24: 395-402.
 - Dear, J.P. 1985. A revision of the new world Chrysomyini (Diptera: Calliphoridae). *Revta bras. Zool.* 3(3): 109-169.
 - De Souza, A.M. and Linhares, A.X. 1997. Diptera and Coleoptera of potential forensic importance in Southeastern Brazil: relative abundance and seasonality. *Medical and Veterinary Entomology* 11: 8-12.
 - Early, M. and Goff, M.L. 1986. Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu. Hawaiian islands, USA. *Journal of Medical Entomology* 23(5): 520-531.
 - Ferllini, R. 1994. Determinación del tiempo de muerte en cadáveres putrefactos, momificados y saponificados. *Medicina Legal de Costa Rica* 10(2): 17-20.
 - Goff, L. 1993. Estimation of postmortem interval using arthropod development and successional pattern. *Forensic Science International* 5: 82-94.
 - Goff, L., Miller, M., Paulson, J.D., Lord, W.D., Ricahrds, E. and Omori, A.I. 1997. Effects of 3,4-Methylenedioxymethamphetamine in Decomposing Tissues on the Development of *Parasarcophaga ruficornis* (Diptera: Sarcophagidae) and Detection of the Drug in Postmortem Blood, Liver Tissue, Larvae and Puparia. *Journal of Forensic Science* 42(2): 276-280.
 - Greenberg, B. and Szyska, M.L. 1984. Immature Stages and Biology of Fifteen Species of Peruvian Calliphoridae (Diptera). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 488-517.

- Greenberg B, Szyska ML 2002. Key to Know Third Instar Larvae of Peru (modified from Greenberg B, Szyska ML 1984). In: Entomology and the Law Flies of Forensic Indicators. B Greenberg and Kunich Ed. Cambridge University, London. p. 94.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales Renobables y del Ambiente INDERENA. 1986. Parque Nacional Natural Chingaza, santefe de Bogotá, Colombia.
- Kentner, E. and Streit, B. 1990. Temporal distribution and habitat preference of congeneric insect species found at rat carrion. *Pedobiologia* 34: 347-359.
- Liu D, Greenberg B. 1989. Immature Stages of Some Flies of Forensic Importance. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 82(1): 80-93.
- Magaña, C. 2001. La entomología forense y su aplicación a la medicina legal. Data de la muerte. *Bol. S. E. A.* 28: 49-57.
- Mariluis, J.C. 2002. Key to Common Adult Blowflies of South America, In B Greenberg, Kunich, Entomology and the Law Flies of Forensic Indicators. Ed. Cambridge University, London. pp. 94-120.
- Mc Alpine, J.F., Peterson, B.V., Shewell, G.E., Teskey, H.J., Vockeroth, J.R. and Wood D.M. 1981. Manual of Nearctic Diptera. Volume 1. Minister of Supply and Services Quebec, Canada. pp. 1-674.
- Mc Alpine, J.F., Peterson, B.V., Shewell, G.E., Teskey, H.J., Vockeroth, J.R. and Wood D.M. 1987. Manual of Nearctic Diptera. Volume 2. Minister of Supply and Services Quebec, Canada. pp. 675-1332.
- Moura, M.O., Carvalho, C.J.B. and Monteiro, E. 1997. A Preliminary Analysis of Insects of Medico-legal Importance in Curitiba, State of Parana. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 92(2): 269-274.
- Payne, J.A. 1965. A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. *Ecology* 46(5): 592-602.
- Queiroz, S.M.P. and Carvalho, C.J.B. 1987. Chave Pictórica e Descrições de Larvas de 3º Instar de Diptera (Calliphoridae, Muscidae e Fanniidae) em Vazadouros de Resíduos Sólidos Domésticos em Curitiba, Paraná. *An.*

- Soc. Entomol.* 16(2): 265-288.
- Reed, H.B. 1958. A study of dog carcass communities in Tennessee with special reference to the insects. *The American Midland Naturalist* 59(1): 213-245.
 - Richards, E.N., and Goff, M.L. 1997. Arthropod succession on exposed carrion in three contrasting tropical habitats on Hawaii Island. Hawaii. *Journal of Medical Entomology*. 34(3): 328-339.
 - Saiz, F., Tosti-Croce, E., y Leiva, M.S. 1989. Estudio de los cambios de la mesofauna asociada a la descomposición de cadáveres de conejo en clima mediterráneo. *An. Mus. Hist. Nat. Valparaiso* 20: 41-74.
 - Shabaly, O.A., Carvalho, L.M.L. de and Goff, M.L. 2000. Comparison of patterns of decomposition in a hanging carcass and carcass in contact with soil a Xerophytic habitat on the island of Oahu, Hawaii. *Journal of Forensic Science* 45(6): 1267-1273.
 - Shean, B. S., Messinger, L. and Papworth, M. 1993. Observations of Differential Decomposition on Sun Exposed v. Shaded Pig Carrion in Coastal Washington State. *Journal of Forensic Science* 38: 938-949.
 - Smith, K.G.V. 1986. A Manual of Forensic Entomology. Trustees of the British Museum (Natural History) and Cornell University Press. London. 205p.
 - Smith, K.G.V. 1989. Introduction to the Immature Stages of British Flies. Department of Entomology British Museum (Natural History). London. 259p.
 - Stehr, F.W. 1991. Immature Insects. Volume 2. Kendall/Hunt Publishing Company. United States of America. 974 p.
 - Tantawi, T.I., Kady-Em-El., Greenberg, B. and Ghaffar-Ha-El. 1996. Arthropod succession on exposed rabbit carrion in Alexandria, Egypt. *Journal of Medical Entomology* 33(4): 566-580.
 - Tullis, K. and Goff, M.L. 1987. Arthropod succession in exposed carrion in a tropical rainforest on O'ahu Island, Hawaii. *Journal of medical Entomology* 24: 332-339.

- Vance, G.M., Vandyk, J.K. and Rowley, W.A. 1995. A device for sampling aquatic insects associated with carrion in water. *Journal of the Forensic Science Society* 40(3): 479-482.
- Wells, J., Byrd, J.H. and Tantawi, T. 1999. Key to Third-Instar Chrysomyinae (Diptera: Calliphoridae) from Carrion in the Continental United States. *J Med. Entomol.* 36(5): 638-641.
- Wells, J.D. and Lamotte, L.R. 2001. Estimating the Postmortem Interval. In: *Forensic Entomology*. Byrd, J.H., Castner, J.L. CRC Press. United States of America. pp. 263-285.
- White, R.E. 1983. A field guide to the beetles of North America. Peterson field Guides series. New York. 368 p.
- Wolff, M., Uribe, A., Ortiz, A. and Duque, P. 2001. A Preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. *Forensic Science International* 120(1-2): 53-59.
- Wolff, M. 2001. Primeros Estudios de Entomología Forense en Medellín: Presentación de Algunos Casos. *Casos Forenses en Medicina Legal* 13: 25-34
- Wolff, M. 2003. Universidad de Antioquia. Facultad de Biología. Laboratorio de Colecciones Entomológicas. *Comunicación personal*.
mwolff@matematicas.udea.edu.co

Abstract

The time elapsed until death can be estimated based on a knowledge of the pattern of insect succession on corpses. To use this process requires that we

Succession pattern of carrion-feeding insects in paramo, Colombia

An abstract of the title of the study. This study is the first to look at insects

Efrain Martinez, Patricia Duque, and Marta Wolff* altitude paramo (paramo) in

succession pattern of carrion-feeding insects in paramo. The stages of decomposition were

the insects that were found on the corpse were identified for each stage. Carabidae

Grupo interdisciplinario de Estudios Moleculares (GIEM). Universidad de

Antioquia. AA, 1226 Medellín, Colombia. *Myrmica formicaria* and *Hydrophilus*

succession pattern of carrion-feeding insects in paramo. A succession table

of the insects that were found on the corpse was identified for each stage. Carabidae

Corresponding author: Marta Wolff. Instituto de Biología, Universidad de

Antioquia, A.A. 1226, Medellín, Colombia. Phone: (+57 4) 210 5662, Fax: (+57 4)

233 01 20, E-mail: mwolff@matematicas.udea.edu.co

Key words: Forensic entomology, paramo, insect succession, Neotropics.

Introduction

Abstract

The time elapsed since death can be estimated based on a knowledge of the pattern of insect succession on a corpse. To use this approach requires that we take into account the rates of insect development associated with particular climatological conditions of the region. This study is the first to look at insect succession on decomposing carcasses in the high altitude plains (paramo) in Colombia, at 3035 m above sea level. Five stages of decomposition were designated with [delete] indicator species identified for each stage: *Calliphora nigribasis* at the fresh stage; *Comptosyiops verena* at the bloated stage; *Comptosyiops boliviana* during active decay; *Piophilina foveolata* and *Hydrotaea* sp. during advanced decay and *Leptocera* sp. for dry remains. A succession table is presented for carrion-associated species of the region, which can be used for estimating time since death in similar areas. *C. boliviana* is reported for the first time in Colombia.

Key words: Forensic entomology, paramo, insect succession, Neotropics.

In the Neotropics, relatively few studies have been carried out (Ferreira 1986, Monte et al 1997, Carvalho and Linhares 2001, Wall et al 2001, Barreto et al 2002, Wolf in press) (Grossberg et al in work in Paris? Jirassakuldech et al 2002). In countries such as Colombia, environmental conditions and regional climatic conditions can change dramatically over short distances in any study of this type

Introduction

Forensic entomology is a frequently used tool to estimate the time interval between death and the discovery of the body. This period is known as the post-mortem interval or PMI. For intervals greater than 72 hours, forensic entomology can be more accurate in determining PMI than traditional techniques, and sometimes is the only available method (Anderson and VanLaerhoven 1996).

The carrion-feeding invertebrate fauna is principally made up of insects and the estimation of PMI using the succession of insects on cadavers has been used extensively (Smith, 1986, Ferllini, 1994, Moura et al. 1997, Wolff, 2001 and Wolff et al. 2001). The first records of applied forensic entomology occurred in China in the 13th Century (Tzu 1924). Forensic entomology was used for the first time as a legal instrument in a court of law in France in 1850 (Goff 1993). Since then the number of studies carried out in this field has increased significantly, particularly in Europe, United States, Canada, and Australia (Smith 1986, Wells and Greenberg 1994, Anderson and VanLaerhoven 1996, Goff and Flynn 1991, Goff 1991, Goff et al 1988, Goff and Odom 1987, Oliva 2001).

In the Neotropics, relatively few studies have been carried out (Ferllini 1994, Moura et al 1997, Carvalho and Linares 2001, Wolff et al 2001, Barreto et al 2002, Wolff in press). [Greenberg et al.'s work in Peru? Jirón in Costa). In countries such as Colombia, environmental conditions and regional climatic conditions can change drastically over short distances. In any study of this type

we would expect to find a similar process of insects being involved in the recycling of cadavers, but the makeup of the species involved in this process should vary throughout different climactic regions. To date most of the neotropical studies have been done in warm tropical conditions, and none has looked at the process at high altitudes

This study addresses our lack of knowledge in this area as part of a larger ongoing effort to identify the carrion-feeding entomofauna and associated insect succession patterns at altitudes ranging from 0 to >3000 m above sea level.

Materials and Methods

The study was carried out in the paramo region of Chingaza National Park, located in the Eastern range of the Colombian Andes, (73°30' to 73°55'W; 4°20'to 4°50'N) at an altitude of 3035 m above sea level (INDERENA 1986). Average annual temperatures fluctuate between 4.5°C and 21.4 °C and the annual relative humidity is above 80% (INDERENA 1986).

Three pigs (*Sus scrofa* L.) were used as models. Each pig weighed approximately 10 kg and was killed by cardiac puncture on September 12, 2002. Immediately after death, the pigs were placed in individual metal cages (60 x 40 x 40 cm) made with 2 x 2 cm wire meshing. This allowed access to the carcasses by insects while preventing disturbance by vertebrate scavengers (Wolff et al. 2001). The 3 cages were placed 50 m from each other.

The cadavers were observed for 8 hours immediately following sacrifice.

Subsequently the process of decomposition was observed during daylight hours from September 12 to December 4 2002. Samples were taken three times a day (7.00, 13.00, 19.00) for the first eight days; twice a day (at 11.00 and 17.00) for the next eight days and subsequently once a day (at 12.00) until the dry remains stage had been reached 83 days after death. At each sampling time, arthropods flying over or perched on the carcass were collected with an entomological net before the carcass was moved. Then, insects in natural cavities (eyes, nose, mouth, anus) and the cardiac puncture wound were collected. Finally, insects were collected underneath the carcass and in the soil to a depth of 10 cm.

Immature specimens were fixed in 80% alcohol and the adults were killed with ethyl acetate and mounted with entomological pins. Ambient and body (rectal) temperature were taken at the same time as collecting the specimens.

Observations were made on the physical changes of the carcass over time (colour, degree of swelling, discharge of liquids and gases, etc). The carcass was weighed once a day with a scale (Haskell et al 2001).

The colonising species were identified by collecting eggs from the carcasses.

These were placed in plastic containers (three per pig) containing approximately 5 g of raw pig liver. The containers were immediately covered with muslin and placed in styrofoam boxes. The development of the insects that hatched was monitored until the adult stage was reached (Byrd 2001).

The taxonomic identification of the adults and larvae was carried out using the following keys; Borror et al. (1989), Carvalho (2002), Dear (1985), White (1983), Greenberg and Szyska (1984,2002), Liu and Greenberg (1989), Mc Alpine et al. (1981,1987), Queiroz and Carvalho (1987), Smith (1986,1989), Stehr (1991), Mariluis (2002) and Wells et al. (1999). When necessary, the larvae were cleared with KOH and permanently mounted in Canada balsam. All the specimens were deposited in the Universidad de Antioquia Entomological Collection.

Statistical Analysis

This study was designed to evaluate the succession pattern of insects during the decomposition of the 3 cadavers, and was not designed for a quantitative analysis. However, insect species were assigned a number and the presence or absence of each species on each cadaver on each day was recorded and the data analysed with a Kruskal Wallis Test $P>0.05$.

Results

Dipterans and coleopterans constituted 99.6% of the individuals collected. There were no significant differences between the three cadavers used with respect to the presence and absence of species on each day (Kruskal-Wallis test, $P>0.05$). The data then were combined to define the succession pattern.

In total, 36,892 individuals were collected (larvae, nymphs and adults) belonging to 6 orders, 53 families, 55 genera and 98 species (Table 1). Of these, 94.5% were dipterans, 5.1% coleopterans, 0.2% heteropterans, 0.2% hymenopterans, 0.07% dermapterans and 0.02% dyctiopterans. Within the Diptera two families were predominant: Calliphoridae (91% of all Diptera) and Sphaeroceridae (6.4% of the Diptera). The other 2.6% corresponded to individuals belonging to another 20 families. Of the coleopterans, four of the 15 families represented were most abundant: Ptillidae (46%), Staphylinidae (24%), Histeridae (19%) and Melyridae (8.6%).

According to the classification of ecological categories by Smith (1986) and Magaña (2001), the following groups were present among the entomofauna collected: necrophagous species, predators, parasites of necrophagous species, saprophagous species, omnivorous species and incidental or local fauna (Table 1).

Stages of decomposition

Five different stages of decomposition were observed during the study: fresh, bloated, active decay, advanced decay and dry remains (Table 1) (Wolff et al. 2001)

1. Fresh (0-3 days)

A sharp decrease in body temperature was observed reaching levels below ambient temperatures (Fig. 1). Oviposition was observed in natural orifices, on the neck, around the wound and on the side of the carcass touching the ground.

Immediately after death, the first adults of Muscidae (*Drymeia* sp., *Fannia* sp., *Limnophora* sp) and Calliphoridae (*Calliphora nigribasis* and *Comptosomyiops verena*) arrived. From 4 h after death and until day 18, *C. nigribasis* were observed ovipositing. Three days after death, 1st instar larvae of *C. nigribasis* were collected in natural orifices and around the wound (Table 3, Appendix). The second species to oviposit was *C. verena* from day 3 until day 7.

Other abundant adult insects during this stage were *Leptocera* sp. and *Limnophora* sp. (Table 2).

2. Bloated (4-16 days)

Body temperature began increasing during this stage (Fig 1) as a result of insect activity and the putrefaction process (Payne 1965). The carcass lost 10% of its initial weight (Fig 2). Abundant masses of larvae were observed throughout the carcass. First and 2nd instar larvae belonging to Calliphoridae, Sarcophagidae and Muscidae were found as well as 3rd instar larvae of *C. nigribasis*, *C. verena*, *Azeria* sp. and *Sarcophaga* sp. (Appendix).

A large number of adults of *C. nigribasis* and *C. verena* were attracted to the carcass during this stage (Table 3). Ovipositing individuals of these species were also collected.

4. Advanced decay (31-57 days)

A surge in predators was evident at this stage (Table 1 and 2). New groups of coleopterans appeared: *Neopachylopus* sp., *Dasyrhadus* sp.; *Anacytyus* sp., *Dianous* sp., *Lathropinus* sp., *Carabus*, in addition to other groups of dipterans, dermapterans, hymenopterans and hemipterans (Table 1).

5. Final decay (58-67 days) and other products

3. Active decay (17-30 days)

The temperature of the cadaver remained low and only increased in the last days of active decay (Fig 1). A sharp and rapid loss of weight occurred (Fig 2) in which 52% of the total body weight was lost.

With respect to the insects present, all three larval instars of *C. nigribasis* and 2nd

and 3rd instar larvae of *Compsomyiops boliviana* and 3rd instar larvae of *C. verena* were found. No individuals of the family Sarcophagidae were observed (Table 1). Larval activity mainly took place in large masses concentrated towards the side of the carcass touching the ground. This activity continued to be dominated by *C. nigribasis* and *C. verena* (Table 3). Ovipositing specimens of the latter species were collected on days 18 and 19.

Remains of the carcass. Pupae of *C. nigribasis* and *C. verena* were collected at a

Other predators present were individuals of hymenoptera (Ichneumonidae and Vespidae) and coleoptera (Staphylinidae) Table 1.

4. Advanced decay (31-51 days)

Peaks in cadaver temperature were reached during this stage with a maximum value of 38°C (Fig 1). By the end of advanced decay, the body had lost 75% of its initial weight (Fig 2) and a mucilaginous material was found on and around the cadaver. This by product of decomposition (BOD) (Tullis and Goff 1987) consists some of the internal tissues with insect material and other products of decomposition (Tullis and Goff 1987).

Larval activity in the carcass was notably reduced although it continued to be dominated by Calliphoridae (Table 3). The majority of the larval masses were concentrated in the muddy ground under the body. Several dead larvae were found on the body, underneath it and in the immediate vicinity. Intra- and interspecific predation was observed between larvae of *C. nigribasis* and *C. boliviana*. New saprophagous species were first observed at this stage such as: *Piophila foveolata* (Piophilidae), collected after day 40 and *Helina* sp. and *Hydrotaea* sp. (Muscidae), collected after day 34 (Appendix).

Pupae of *C. nigribasis*, *C. boliviana* and some Muscidae were found in the remains of the carcass. Pupae of *C. nigribasis* and *C. verena* were collected at a

distance of 2 m from the carcass among layers of moss on the ground. These were placed in rearing containers and raised to adults (Table 1).

The number of adult Calliphoridae dropped considerably, being replaced by small dipterans such as *Leptocera* sp and *P. foveolata* which may have been attracted by the decomposing tissues and the BOD (Table 2).

5. Dry Remains (52-83 days)

The last collections were made during this stage. By the end, 83% of the initial body weight had been lost (Fig 2). Only remains of skin and bones were left. The BOD had dried and some of this had mixed with the soil.

The small number of larvae found were concentrated in the extremities (hooves), places providing shelter and where small amounts of soft tissue remained.

Second instar larvae of *C. nigribasis* and *C. boliviana* were found until days 57 and 64 respectively. Third instar larvae and pupae were found until the end, as was the case with 3rd instar larvae of *P. foveolata* (Appendix).

Discussion

Five stages of decomposition of the cadaver were observed: fresh, bloated, active decay, advanced decay and dry remains. The different stages were categorised according to changes in appearance and body temperature. The fresh stage lasted four days and the bloated stage lasted 13 days. This were

longer than the corresponding periods reported in other studies (Wolff et al. 2001, Anderson and VanLaerhoven, 1996 and Tullis and Goff 1987), where the fresh stage lasted for two days and the bloated stage lasted from four to eight days. In our study subsequent stages conformed to the time periods given in the aforementioned studies. This situation may be explained by the particular conditions of cooler temperatures in our studies compared with the other reports

C. nigribasis and *C. verena* were the first species to colonise the carcasses. This differed from the study carried out by Wolff (2001) in Colombia at 1450 m above sea level where *Phaenicia sericata* was the first species to arrive.

During the bloated stage and active decay, *C. nigribasis*, *C. boliviana* and *C. verena* were mainly responsible for the loss of carcass tissue. The presence of a large number of individuals of these species is the main reason for the rapid loss of weight during advanced decay and consequently a reduced availability of food (Table 3, Fig 2). This competition for resources may, in turn, may have contributed to the interspecific predation between larvae of *C. nigribasis* and *C. boliviana*.

The succession pattern observed shows similarities between those described by Tullis and Goff (1987), Wolff et al. (2001) and Anderson and VanLaerhoven (1996), in that two principal groups (Diptera and Coleoptera) were represented. Diptera, especially *C. nigribasis* and *C. boliviana* continued their necrophagous

activity during the whole decomposition process (Table 3).which normally is not the case in most reports in which Calliphoridae are present only up to the first 3 to 4 stages of decomposition, but are not found on dried.

The environmental conditions of the study area, at an altitude of 3035 m and with environmental temperatures fluctuating between 9 and 23°C during the day and -1 to 7°C at night, influenced the process of decomposition. The decomposition process of the carcasses took 83 days as opposed to the 45 days reported by Carvalho and Linhares (2001) in Brazil during the wet season where the same 10 kg model was used. Although the weight of the pigs was equal, the rate of decomposition may have been influenced by the environmental temperature. This study was done at 3035 m above sea level, whereas the study by Castillo-Miralbes (2001) was done at 300 m above sea level and at higher ambient temperatures.

The rapid weight loss of the cadavers was a result of the conversion of carcass biomass into larval biomass and the subsequent exit of insects from the body during pupation (Tullis and Goff 1987). The percentage of carrion removed over time was much less than a study carried out in Hawaii (Tullis and Goff 1987) with pigs of a similar size. At the end of the active stage in Hawaii, 80% of body weight had been lost and subsequently only a small reduction was observed. At the end of this study (Tullis and Goff 1987) 18% of the body weight remained, whereas in our study only 52% of the body weight had been removed by the end

of the active stage. At the advanced stage, 75% had been lost and only 13% was left at the dry remains stage (Fig 2). This may be explained by the marked difference in the ovipositing habits of the dipterans. *C. nigribasis* and *C. verena* were observed ovipositing until the first few days of the active stage while in Hawaii, *Chrysomya megacephala* and *Chrysomya rufifacies* were only observed ovipositing during the fresh stage. This late oviposition could also explain the presence of 2nd instar larvae of *C. nigribasis* and *C. boliviana* during the dry remains stage and 3rd instar larva of the same species being present until the last day of sampling (Appendix).

In this region, and with the specific environmental conditions, we can designate indicator species for the different stages of decomposition as follows: fresh - *C. nigribasis*; bloated - *C. verena*; active decay – *C. boliviana*. In addition, this is the first report of *C. boliviana* in Colombia.

Conclusions

Altitude, bio-climatic factors and vegetation determine species distribution in the tropics. This is clearly shown by this study carried out on paramo at 3035 m above sea level where the Andean species, *C. nigribasis*, *C. boliviana* and *C. verena* were found. These species had not previously been reported in studies of forensic entomology in Colombia, conducted in different climatic zones. These species may be important indicator species of specific stages of decomposition in this bio-climatic zone. Finally, a succession table is presented for insects on a

carcass in paramo. This aims to be a useful instrument for other researchers and forensic scientists working in similar areas (Appendix).

Acknowledgements

This study received financial support from Colciencias (Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología) project number 1115-05-11503 and from the Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia and from Drs Jeffrey Wells and Carl Lowenberger for the revision of manuscript.

Literature Cited

Anderson G, VanLaerhoven SL 1996. Initial studies on insect succession on carrion in Southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Sciences* 41(4): 617-625.

Barreto M, Burbano ME, Barreto P 2002. Flies (Calliphoridae, Muscidae) and beetles (Silphidae) from human cadavers in Cali, Colombia. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 97(1): 137-138.

Borror D, Triplehorn C, Johnson N 1989. *An Introduction to the Study of Insects*. 6^a edition. Saunders College Publishing. United States of America xiv+ 875pp.

Byrd JH 2001. Laboratory Rearing of Forensic Insects, p. 121-142. In Byrd JH, Castner JL. *Forensic Entomology*. CRC Press. United States of America.

Castillo-Miralbés M 2001. Artrópodos presentes en carroña de cerdos en la comarca de la Litera (Huesca). Bol. S.E.A. 28: 133-140.

Carvalho CJB de 2002. Muscidae (Diptera) of the Neotropical region: Taxonomy. Editora UFPR, Brasil, 287 pp.

Carvalho LML de, Linhares AX 2001. Seasonality of insect succession and pig carcass decomposition in a natural forest area in Southeastern Brazil. Journal of Forensic Science 46(3): 604-608.

Dear JP 1985. A revision of the new world Chrysomyini (Diptera: Calliphoridae). Revta bras. Zool. 3(3): 109-169.

Ferllini R 1994. Determinación del tiempo de muerte en cadáveres putrefactos, momificados y saponificados. Medicina Legal de Costa Rica 10(2): 17-20.

Goff ML 1991. Comparison of insects species associated with decomposed remains recovered inside dwellings and outdoors on the island Oahu Hawaii. J. Forensic Sci. 36: 748-53.

Goff ML 1993. Estimation of postmortem interval using arthropod development and successional pattern. Forensic Science International 5: 82-94.

Goff ML, Flynn MM 1991. Determination of postmortem interval by arthropod succession: A case study from the Hawaiian Islands. *J. Forensic Sci.* 36: 607-614.

Goff ML, Odom CB 1987. Forensic entomology in the Hawaiian Islands. Three case studies. *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 8(1): 45-50.

Goff ML, Omori AI, Gunatilake K 1988. Estimation of postmortem interval by arthropod succession. Three case studies from Hawaiian Islands. *Am. J. For. Med. Path.* 9: 220-225.

Greenberg B, Szyska ML 1984. Immature Stages and Biology of Fifteen Species of Peruvian Calliphoridae (Diptera). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 488-517.

Greenberg B, Szyska ML 2002. Key to Know Third Instar Larvae of Peru (modified from Greenberg B, Szyska ML 1984), p. 94. In B Greenberg, Kunich, *Entomology and the Law Flies of Forensic Indicators*. Cambridge University, London.

Haskell NH, Lord WD, Byrd JH. 2001. Collection of Entomological Evidence during Death, p. 81-120. In Byrd JH, Castner JL. *Forensic Entomology*. CRC Press. United States of America.

Instituto Nacional de Recursos Naturales Renobables y del Ambiente

INDERENA. 1986. Parque Nacional Natural Chingaza, Santafé de Bogotá, Colombia.

Liu D, Greenberg B 1989. Immature Stages of Some Flies of Forensic Importance. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 82(1): 80-93.

Magaña C 2001. La entomología forense y su aplicación a la medicina legal. Data de la muerte. *Bol. S.E.A.* 28: 49-57.

Mariluis JC 2002. Key to Common Adult Blowflies of South America, p. 94-120. In B Greenberg, Kunich, *Entomology and the Law Flies of Forensic Indicators.* Cambridge University, London.

Mc Alpine JF, Peterson BV, Shewell GE, Teskey HJ, Vockeroth JR, Wood DM 1981. *Manual of Nearctic Diptera. Volume 1.* Minister of Supply and Services Quebec, Canada, vi+1332 pp.

Mc Alpine JF, Peterson BV, Shewell GE, Teskey HJ, Vockeroth JR, Wood DM 1987. *Manual of Nearctic Diptera. Volume 2.* Minister of Supply and Services Quebec, Canada, iii+ 1332 pp.

Shaw FW 1981. *Insecta of North America. Volume 2.* Kendall/Hunt Publishing Company United States of America. vi+1374 pp.

Moura MO, Carvalho CJB, Monteiro E 1997. A Preliminary Analysis of Insects of Medico-legal Importance in Curitiba, State of Parana. Mem Inst Oswaldo Cruz 92(2): 269-274.

Oliva A. 2001. Insects of forensic significance in Argentina. Forensic Science International 120(2001): 145-154.

Queiroz SMP, Carvalho CJB 1987. Chave Pictórica e Descrições de Larvas de 3º Instar de Diptera (Calliphoridae, Muscidae e Fanniidae) em Vazadouros de Resíduos Sólidos Domésticos em Curitiba, Paraná. An. Soc. Entomol. 16(2): 265-288.

Payne J.A 1965. A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. Ecology 46(5): 592-602.

Smith KGV 1986. A Manual of Forensic Entomology. Trustees of the British Museum (Natural History) and Cornell University Press. London 205 pp.

Smith KGV 1989. Introduction to the Immature Stages of British Flies. Department of Entomology British Museum (Natural History). London, 259 pp.

Stehr FW 1991. Immature Insects. Volume 2. Kendall/Hunt Publishing Company. United States of America, xvi+974 pp.

Tullis K, Goof ML 1987. Arthropod succession in exposed carrion in a tropical rainforest on O'ahu Island, Hawaii. *Journal of Medical Entomology* 24: 332-339.

Wells J, Byrd JH, Tantawi T 1999. Key to Third-Instar Chrysomyinae (Diptera: Calliphoridae) from Carrion in the Continental United States. *J Med. Entomol.* 36(5): 638-641.

Wells J, Greenberg B 1994. Resource use by an introduced and native carrion flies. *Oecologie* 99: 181-7.

White RE 1983. A field guide to the beetles of North America. Peterson field Guides series. New York, xii+368 pp.

Wolff M 2001. Primeros Estudios de Entomología Forense en Medellín: Presentación de Algunos Casos. *Casos Forenses en Medicina Legal* 13: 25-34

Wolff M, Uribe A, Ortiz A, Duque P 2001. A Preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. *Forensic Science International* 120: 53-59.

Ecol. Cat.	Order	Family	Species	A	L	E	A	L	E	A	L	P	A	L	P
Omnivorous	Hymenoptera	Vespidae	Unident						x			x			x
	Dyctioptera	Blattellidae	Unident									x			x
Incidental	Diptera	Anthomyzidae	<i>Ischnomyia sp.</i>	x		x									
		Camillidae	Unident									x			x
		Ceratopogonidae	<i>Forcipmyia sp.</i>									x			
		Chamaemyiidae	Unident									x			x
		Chloropidae	<i>Meromyza sp.</i>				x					x			x
		Dolycopodidae	<i>Argyra sp.</i>									x			x
			<i>Chrysotus sp.</i>									x			
		Otitidae	<i>Cephalia sp.</i>	x		x									
		Psychodidae	<i>Psychoda sp.</i>	x		x									
		Sciaridae	<i>Scatopsciara sp.</i>				x								x
			<i>Schwenkfeldina sp.</i>									x			
		Sciomyzidae	<i>Poecilographa sp.</i>				x								
		Syrphidae	<i>Eristalis sp.</i>				x		x		x				
			Unident	x		x			x		x				
		Tabanidae	<i>Tabanus sp.</i>				x				x		x		
	Colcoptera	Cantaridae	<i>Cantharis sp.</i>	x											
		Chrysomelidae	Unident	x		x			x		x				x
		Coccinelidae	Unident												
		Curculionidae	Unident												x
		Lampyridae	<i>Pollaclasis sp.</i>				x					x			
			<i>Photuris sp.</i>	x		x									
		Lycidae	Unident									x			
		Melolontidae	Unident						x						
		Nitidulidae	<i>Conotelus sp.</i>				x								x
		Oedemeridae	Unident												x
	Hemiptera	Cercopidae	Unident												x
		Cicadelidae	Unident	x		x			x		x				x
		Lygaeidae	Unident				x				x				
		Miridae	Unident						x		x				x
		Pentatomidae	Unident									x			
		Pyrrhocoridae	Unident	x											

A:adult;L: larvae;E:eggs; P:pupae

Table 3: Percentage of dipteran larval activity at each stage of decomposition

Table 2: Percentage of adult diptera and coleoptera collected at different stages

of decomposition	Fresh	Bloated	Active	Advanced	Remains
<i>Calliphora nigribasis</i>	44.7	40	32	27.8	0.4
<i>Comptosomyiops boliviana</i>	1.2	0.4	20	35	37
<i>Comptosomyiops verena</i>	0.2	15	15	5.8	3.1
<i>Azelia</i> sp.	15	2	9.2	13	7.4
<i>Hydrotaea</i> sp.1	0	0	0	6.6	8
<i>Hydrotaea</i> sp.2	0	0	0	0	0.6
<i>Piophilha foveolata</i>	0	0	0	5.8	14.2
<i>Leptocera</i> sp.	0	0	0	0	1.8

Table 3: Percentage of dipteran larval activity at each stage of decomposition

	Fresh	Bloated	Active	Advanced	Remains
<i>Calliphora nigribasis</i>	24.7	17	7.4	0.8	0.4
<i>Comptosyiops verena</i>	1.2	8.5	7.8	0	0.4
<i>Drymeia</i> sp.	6.2	2.2	1.2	0.6	0
<i>Limnophora</i> sp.	15	2.9	0.8	0.6	0.4
<i>Morellia</i> sp.	0	0.5	1.9	1.1	0
<i>Neivamyia</i> sp.	3.7	2.7	0.4	1.1	0
<i>Polietes</i> sp.	3.7	7.1	4.3	0.8	0
<i>Piophila foveolata</i>	0	0	0	2.2	0.8
<i>Leptocera</i> sp.	12	7.5	1.2	16	21
<i>Actinopteryx</i> sp.	4.9	10	16	18	30
<i>Lathropinus</i> sp.	0	4.6	14	10	3.3
<i>Dianous</i> sp.	1.2	7.3	15	14	18
<i>Carabus</i> sp.	0	0.5	1.2	1.1	4.2
<i>Dasyrhodus</i> sp.	0	5.1	10	2	2.1
<i>Neopachylopus</i> sp.	0	6.3	15	12	7.1

Figure 1: Daily temperature variations related with decomposition phase

Figure 2: Daily temperature variations related with decomposition phase

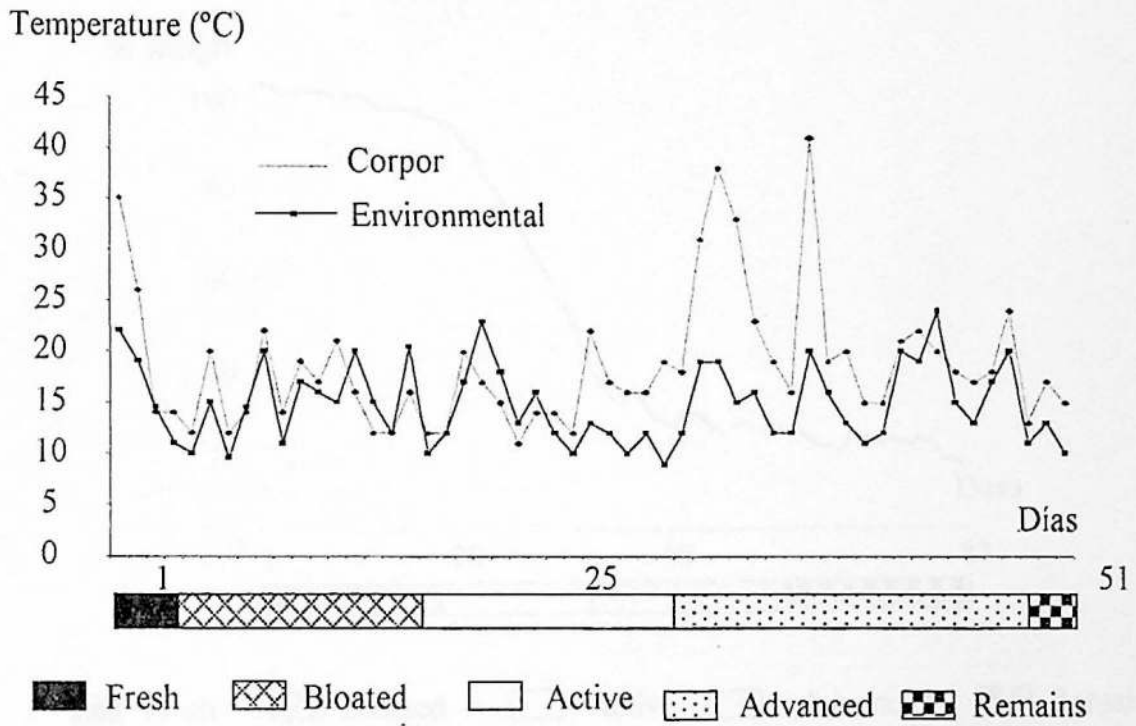


Figure 2: Daily weight variations related with decomposition phase.

