

## INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE EL CICLO DE VIDA DE LA ESPECIE NECROFAGA *Compsomyiops arequipensis* MELLO, 1968 (DIPTERA: CALLIPHORIDAE)

### INFLUENCE OF THE TEMPERATURE ON THE LIFE CYCLE OF THE NECROPHAGOUS SPECIE *Compsomyiops arequipensis* MELLO, 1968 (DIPTERA: CALLIPHORIDAE)

Johana Patricia Castro Chingal<sup>1</sup>, Guillermo Castillo Belalcázar<sup>2</sup>, Jorge Alberto Salazar-Ortega<sup>3</sup>, Johana Castro<sup>4</sup>, Guillermo Castillo<sup>5</sup>, Jorge Salazar<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup>. Programa de Biología, Grupo de Investigación en Ecología Evolutiva GIEE, Universidad de Nariño

<sup>2</sup>. Programa de Biología. Grupo de Investigación en Ecología Evolutiva GIEE, Universidad de Nariño

<sup>3</sup>. Programa de Biología, Universidad de Nariño

<sup>4</sup>. Universidad de Nariño, Torobajo. Pasto. Bloque 3- IV- piso. johanacastro0@hotmail.com

<sup>5</sup>. Universidad de Nariño, Torobajo. Pasto. Bloque 3- IV- piso. gacastillo@gmail.com

<sup>6</sup>. Universidad de Nariño, Torobajo. Pasto. Bloque 3- IV- piso. joralsar@gmail.com

---

Recibido: Octubre 15 de 2016

Aceptado: Noviembre 10 de 2016

\*Correspondencia del autor: Johana Castro. Universidad de Nariño, Torobajo. Pasto. Bloque 3- IV- piso. E-mail: johanacastro0@hotmail.com

#### RESUMEN

Se determinó cómo influye la variación de la temperatura en la duración del ciclo de vida de *C. arequipensis* y se establecieron los requerimientos calóricos de la especie para cada estadio de desarrollo. La captura se realizó en el Centro Ambiental Chimayoy, Pasto-Nariño, se procedió a su cría masiva “in vitro” y se sometieron a cuatro tratamientos en cámaras de cría con reguladores electrónicos de temperatura para determinar su ciclo de vida a niveles constantes de 25, 19, 13 y 7°C, considerados como valores usuales en la región. Se obtuvieron curvas de crecimiento y desarrollo, la duración del ciclo total y de cada fase, y los grados día acumulados (ADDs) necesarios para la culminación de cada etapa del ciclo vital hasta obtener el imago. A 25°C la duración del ciclo fue de 19,7 días; a 19°C de 25,87 días y a 13°C de 61,95 días. A 7°C eclosionó el 5% de los huevos, pero murieron en el primer instar ya que esta temperatura se encuentra por debajo de la temperatura umbral mínima de desarrollo. Los ADDs a 25°C fueron de 290,90; a 19°C de 234,34 y a 13°C de 185,50. Se amplía los registros de *C. arequipensis* en Colombia y se propone como especie útil en investigaciones forenses para la determinación del intervalo post mortem (IPM) en el municipio de Pasto y posiblemente en regiones de Colombia con altitudes y condiciones climatológicas similares.

**Palabras claves:** Entomología forense, *Compsomyiops arequipensis*, ciclo de desarrollo, grados día acumulados (ADDs).

## ABSTRACT

We determined the influences of the temperature variation in the length of the life cycle of *C. arequipensis* and the caloric requirements of the species for each stage of development were established. The capture was made in the Chimayoy Environmental Center, Pasto-Nariño, we proceeded to mass rearing “in vitro” and subjected to four treatments in brood chambers with electronic temperature regulators to determine their life cycle at constant levels 25, 19, 13 and 7° C, considered usual values in the region. Curves of growth and development, the duration of the total cycle and each phase, and accumulated degree days (ADDs) necessary for the completion of each stage of the life cycle until the imago were obtained. At 25°C the cycle time was 19.7 days at 19°C of 25.87 days and at 13°C of 61.95 days. At 7°C hatched 5% of the eggs, but they died in the first instar since this temperature is below the developmental minimum temperature. The ADDs at 25°C were 290.90; at 19°C of 234.34 and 185.50 to 13°C. The Records of *C. arequipensis* in Colombia it extend and we propose this specie as useful in forensic investigations for determining the postmortem interval (IPM) in the municipality of Pasto and possibly in regions of Colombia with altitudes and weather conditions similar.

**Keywords:** Forensic Entomology, *Compsomyiops arequipensis*, development cycle, accumulated degree days (ADDs).

## INTRODUCCIÓN

La datación de la muerte es un problema fundamental en la investigación criminal y una de las herramientas para determinarla es la entomología forense, esta disciplina estudia los insectos asociados al proceso de descomposición cadavérica, convirtiéndola en una herramienta útil para esclarecer incógnitas que rodean a los cadáveres (1).

Cuando el tiempo después de la muerte de un individuo es mayor a 72 horas, los métodos de datación forense basados en parámetros médicos disminuyen su efectividad, en este caso, la entomología forense puede ser más exacta y generalmente, se convierte en el único método para determinar el intervalo post mortem (IPM) (1,2).

Los insectos son organismos ectotérmicos, por lo que, su desarrollo depende de las condiciones ambientales. Las temperaturas más altas generalmente aumentan la tasa de crecimiento y reducen el tiempo de desarrollo, sin embargo, existen dos umbrales que son limitantes: el umbral superior e inferior de desarrollo, por debajo o por encima de estas temperaturas, el desarrollo se ve interrumpido (2 - 5).

Investigadores como Nabity *et al.*, (6) (2006), Vélez & Wolff (7) (2008), recomiendan realizar estudios del desarrollo de moscas necrófagas (Diptera: Calliphoridae)

que incluyan curvas de crecimiento basadas en los efectos que tienen factores ambientales como la temperatura local, que permitan la realización de estimaciones de IPM más acertadas. De igual manera, un método preciso en la datación forense, es estimar la edad larval a través de la utilización de los grados-día, con este método, el desarrollo se mide como el tiempo térmico (grados día acumulados o ADDs) requerido por los insectos para llegar a un determinado estadio, el supuesto esencial de este modelo, señala que el tiempo de desarrollo de los insectos está directamente relacionado con la temperatura ambiente en la que se desarrollan (8).

Entre los insectos necrófagos, los dípteros cobran relevancia por ser el primer grupo colonizador y entre ellos los califóridos son pioneros por llegar a los pocos minutos del deceso para alimentarse e iniciar su proceso de oviposición (8 -10).

Daza & Yusseff (11) (2003), encontraron que *Compsomyiops* sp. representa uno de los dípteros relevantes en el proceso de descomposición en Tunja (Boyacá, Colombia). A demás este género cobra importancia forense en Bogotá dado que es un Calliphoridae colonizador temprano de cadáveres; pese a la importancia del género como indicador forense, las investigaciones en Colombia que incluyen a *Compsomyiops*, obedecen a estudios de corte taxonómico, evaluación de la sinantropía o faunísticos de sucesión entomológica (12, 13).

Dada la importancia del conocimiento de los estadios inmaduros de especies necrófagas de Calliphoridae en un contexto local aplicable a la investigación forense, esta investigación determinó los requerimientos calóricos necesarios para alcanzar cada fase de desarrollo de *C. arequipensis* y elaboró curvas de crecimiento y desarrollo que determinó el ciclo de vida en condiciones controladas de temperatura, teniendo en cuenta la temperatura promedio, máxima y mínima registradas para el municipio de Pasto que permitan la determinación de IPM acertados en el entorno local. Los resultados obtenidos brindan una herramienta confiable y aplicable que apoya los procesos investigativos de datación de la muerte en procesos propios de la medicina legal.

## **Materiales y métodos**

### ***Compsomyiops arequipensis* (Mello, 1968)**

El género *Compsomyiops* se seleccionó con base en registros anteriores del género como indicador del IPM para zonas andinas frías de Colombia similares a las encontradas en Pasto (12, 13). Adicionalmente, la especie *C. arequipensis* fue la más abundante al interior de los Calliphoridae, como resultado de un premuestreo realizado en el Centro Ambiental Chimayoy. La identificación de la especie se realizó teniendo en cuenta los estados de carácter morfológicos descritos en las claves de Gonzáles *et al.*, (14) (1998) y la morfología de la terminalia del macho disponible en las claves de Amat (15) (2009).

### **Localidad de muestreo**

Centro Ambiental Chimayoy localizado en el Municipio de Pasto, corregimiento Morasurco a una altura de 2.700 msnm, temperatura promedio 13,3°C y humedad relativa de 60-88% (16).

### **Captura de adultos y obtención de huevos**

Se realizaron capturas de moscas necrófagas de la familia Calliphoridae con trampas tipo Ferreira cebadas con pescado y vísceras de pollo en descomposición. Los ejemplares capturados se llevaron al laboratorio donde se sedaron con éter, los individuos de *C. arequipensis* se separaron, sexaron y se mantuvieron en una jaula que contenía recipientes con carne de res cubiertos parcialmente con papel aluminio para proporcionar a las hembras un lugar adecuado para realizar sus oviposiciones, adicionalmente, en la jaula se introdujo papel absorbente humedecido con una solución de una parte de miel de abejas por cinco partes de agua como alimento de las moscas adultas(17). Las masas de huevos obteni-

das se trasladaron a cajas Petri con sustrato alimenticio elaborado según lo propuesto por Catts & Haskell (18) (1990), se dispusieron en cajas Petri de mayor tamaño con una mezcla de arena y aserrín que proporcionaron un lugar adecuado para la pupación de las larvas (17). Las muestras se dividieron en cuatro grupos, cada uno con diez repeticiones; cada grupo recibió un tratamiento de temperatura constante a 7, 13, 19 y 25°C ±1, seleccionados con base a las fluctuaciones de temperatura del municipio de Pasto con una variación de seis grados entre cada tratamiento, teniendo en cuenta la temperatura mínima, máxima y promedio (16).

Para mantener estables las temperaturas requeridas, se utilizaron dos intercambiadores de calor automáticos contruidos en neveras de icopor medianas que constan de dos ventiladores, un bombillo de 12V y un sensor de temperatura LM35 cada una. En cada tratamiento, el bombillo o los ventiladores se activan o desactivan automáticamente según la temperatura programada lo que permitió mantener la temperatura constante.

### **Determinación del tiempo de eclosión**

Las posturas se revisaron cada 4 horas para determinar el lapso de incubación, que fue reportado como el tiempo en el que se estimó que más del 50% de los huevos habían eclosionado (17, 19).

### **Medición de la longitud larval:**

Las larvas se midieron tres veces al día, para las mediciones, se tomó una larva por caja Petri para un total de 10 larvas por medición y por tratamiento de temperatura empleado. Las larvas fueron sacrificadas en agua caliente (80-90°C) para evitar cambios en su longitud (17) y se midieron con un calibrador electrónico digital. A partir de las medidas se obtuvieron curvas de crecimiento para cada tratamiento de temperatura. Adicionalmente se elaboraron tablas de registro de la duración de cada estadio de desarrollo desde huevo hasta adulto (3, 8, 17) .La medición larval se realizó hasta cuando se estimó que más del 50% de la población había empupado, el tiempo de pupación hasta la emergencia del adulto se registró para determinar el tiempo de desarrollo total (17, 19).

### **Calculo de grados-día acumulados**

Para el cálculo de los grados-día acumulados se utilizó la siguiente formula (20).

$$ADDs : (Ta - To) * t$$

Donde : Ta: temperatura ambiente ; To: temperatu-

ra base; t: tiempo requerido por el 50% de individuos (aproximadamente) para completar cada fase de desarrollo.

En esta investigación, la temperatura base se tomó como 10°C teniendo en cuenta lo referido para especies de Calliphoridae como *Chrysomya rufifacies* (Macquart, 1843) por García *et al.*,(5) (2012), *L. sericata* y *Phormia regina* (Meigen, 1826) por Roe (21) (2014).

**Análisis estadístico**

Para estimar la edad de las masas larvales evaluadas de acuerdo con su tamaño, se realizaron curvas de crecimiento y desarrollo larval desde instar uno a instar tres aplicando regresiones lineales polinomiales con bandas de predicción del tamaño máximo y mínimo con un alfa de 0,05%. El análisis se ejecutó utilizando el paquete estadístico Infostat, versión 6,0 (17).

Para evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las unidades de calor acumulado para cada fase de desarrollo a las diferentes temperaturas, se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis (K-W) con una significancia del 95%; el análisis se complementó con una comparación pareada de temperatura con una prueba de Mann-Whitney para establecer entre que tratamientos existen las diferencias. Las mismas pruebas fueron utilizadas para evaluar las diferencias en la duración de cada fase de los ciclos de vida a las temperaturas evaluadas. El análisis se realizó con el programa estadístico Past 2,16.

Los individuos pertenecientes a la especie *C. arequipensis*

en cada fase de desarrollo producto de los ciclos de vida evaluados a las temperaturas de 25, 19, 13 y 7°C, fueron depositados en el laboratorio PSO-CZ de la Universidad de Nariño, material con el que se complementará el inventario de Calliphoridae generado de muestreos preliminares y se dará inicio a una colección de referencia en entomología forense para el departamento de Nariño.

**Resultados**

**Tiempo de desarrollo**

Al evaluar la normalidad y homocedasticidad de los datos, se encontró que éstos fueron normales pero no presentaron homogeneidad de varianza, por lo tanto, se utilizó la mediana como descriptor de la medida de tendencia central.

El tiempo de desarrollo a una temperatura de 25°C de huevo hasta adulto de *C. arequipensis* fue de 19,7 días; a 19°C fue de 25,87 días y a 13°C fue de 61,95 días. El ciclo a 7°C presento una marcada reducción en la eclosión de los huevos, la cual ocurrió únicamente en cinco de las diez repeticiones, con un porcentaje aproximado de eclosión del 5% en cada una de las cinco cajas. Entre el tercer y quinto día después de la eclosión, las larvas que lograron emerger del huevo, murieron en instar uno. La duración promedio de la etapa larval a 25°C fue de 284 horas (11,8 días), a 19°C de 360 horas (15 días) y a 13°C fue de 819 horas (34,125 días). En la tabla 1 se presenta el tiempo requerido a las cuatro temperaturas evaluadas para completar cada fase de desarrollo.

**Tabla 1.** Duración en horas (más o menos DE) de cada fase de desarrollo de *C. arequipensis* desde huevo hasta pupa.

Temperatura °C	Huevo	Instar 1	Instar 2	Instar 3	Pupa	Total
25 ±1	21 ± 1,26	35 ± 7,18	33 ± 7,61	216 ± 22,67	168 ± 18,98	473
19 ±1	33 ± 5,16	42 ± 6,32	48 ± 8,09	270 ± 62,56	228 ± 39,77	621
13 ±1	68 ± 7,02	180 ± 9,29	132 ± 10,65	507 ± 20,08	600 ± 12,39	1487
7 ±1	264 ± 21,4	Muerte	-	-	-	-

La prueba de Kruskal-Wallis mostró que existen diferencias estadísticamente significativas en la duración del ciclo de vida total a 25, 19 y 13°C (Hc = 24.82, gl = 9, p = 4,07x10-06). La prueba posterior de Mann-Whitney, en sus comparaciones pareadas determinó que los tres grupos fueron diferentes; en la tabla 2, se muestra los valores p de éstas comparaciones. Los resultados

obtenidos indican que las temperaturas evaluadas son determinantes en la duración de cada ciclo de desarrollo, siendo 13°C la de mayor duración, seguido por 19 y 25°C. En proporción, la duración del ciclo de vida a 13°C fue 3,14 veces mayor que a 25°C, y 2,39 veces mayor que a 19°C. Por su parte, 19°C fue 1,31 veces mayor que el ciclo a 25°C.

**Tabla 2.** p valor de las pruebas pareadas de Mann-Whitney para la duración del ciclo total a tres temperaturas. Los valores  $p < 0,05$  presentan diferencias significativas.

Temperatura	p valor
25 y 13°C	0,0001827
25 y 19°C	0,0005801
19 y 13°C	0,0001817

**Evaluación de diferencias de tiempo para cada fase de desarrollo**

Para la fase de huevo, la prueba de Kruskal-Wallis, encontró que existen diferencias significativas ( $H_c = 31,55$ ,  $gl = 9$ ,  $p = 6,513 \times 10^{-07}$ ); debe tenerse en cuenta que a 7°C, se trabajó con los datos obtenidos del 5% de huevos eclosionados en cinco de las diez repeticiones evaluadas. Los valores p de la prueba de Mann-Whitney son mostrados en la tabla 3.

**Tabla 3.** Valores p de los análisis pareados de la prueba de Mann-Whitney para la duración de la fase de huevo a cuatro temperaturas. Los valores  $p < 0,05$  presentan diferencias significativas.

Temperatura	p valor
25 y 13°C	0,0001575
25 y 19°C	0,0002075
25 y 7°C	0,001961
19 y 13°C	0,0001766
19 y 7°C	0,002375
13 y 7°C	0,002419

La prueba de Kruskal-Wallis, determinó que existen diferencias significativas entre el tiempo de desarrollo de: instar uno ( $H_c = 21,46$ ,  $gl = 9$ ,  $p = 2,183 \times 10^{-05}$ ), instar dos ( $H_c = 22,66$ ,  $gl = 9$ ,  $p = 1,202 \times 10^{-0,5}$ ), instar 3 ( $H_c = 21,61$ ,  $gl = 9$ ,  $p = 2,03 \times 10^{-05}$ ) y para la fase de pupa ( $H_c = 26,17$ ,  $gl = 9$ ,  $p = 2,079 \times 10^{-06}$ ) a 25, 19 y 13°C. Los resultados de la prueba posterior de Mann-Whitney que indica entre que grupos hubo diferencias significativas para cada etapa, son mostrados en la tabla 4.

**Tabla 4.** Valores p de los análisis pareados de la prueba de Mann-Whitney para la duración de las fases de desarrollo de instar uno a pupa. Los valores  $p < 0,05$  presentan diferencias significativas.

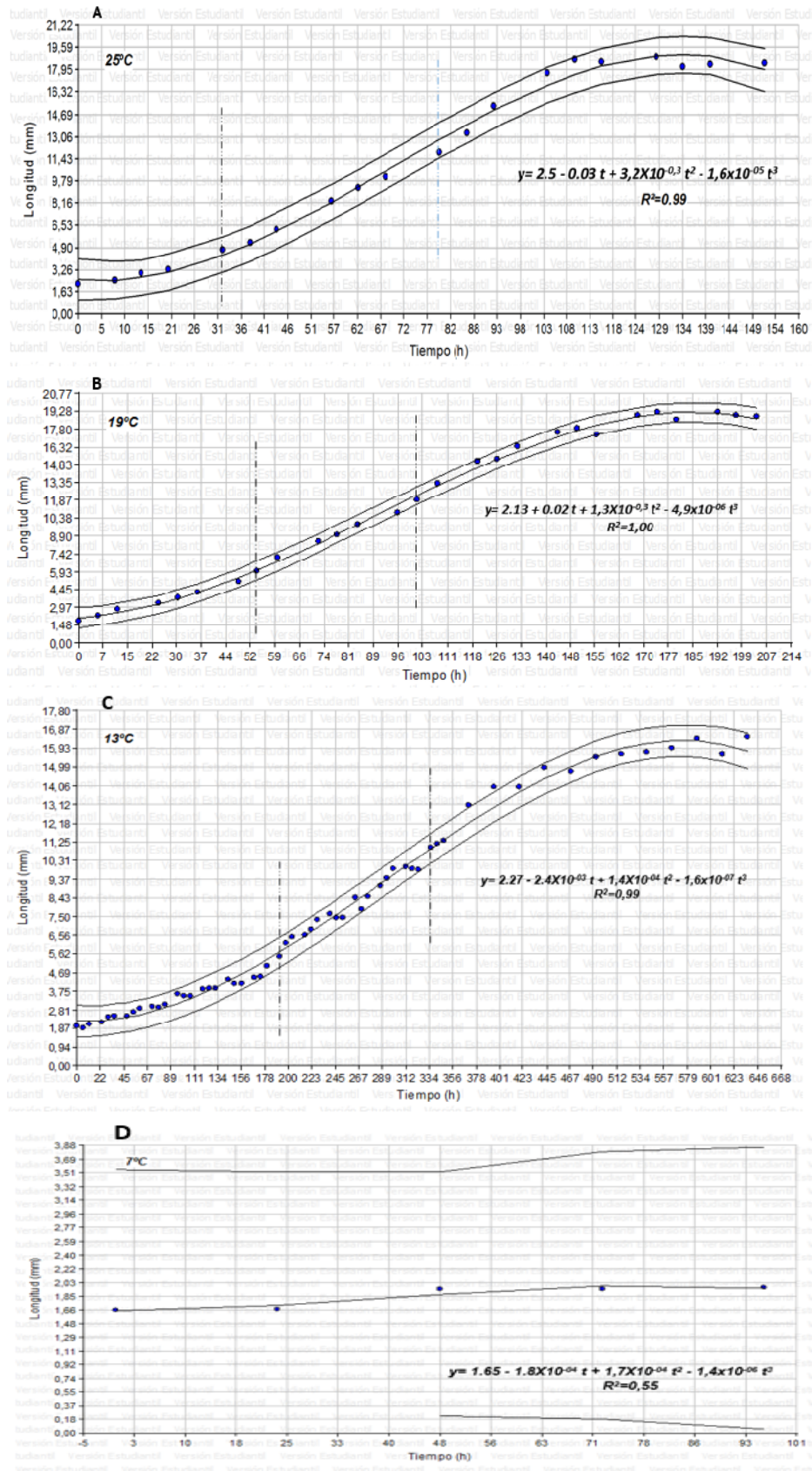
Temperatura	Instar 1	Instar 2	Instar 3	Pupa
25 y 13°C	0,0001254	0,0001659	0,0001538	0,0001383
25 y 19°C	0,05756	0,009089	0,03275	0,0001659
19 y 13°C	0,0001142	0,000164	0,0001707	0,0001293

**Curvas de crecimiento larval:**

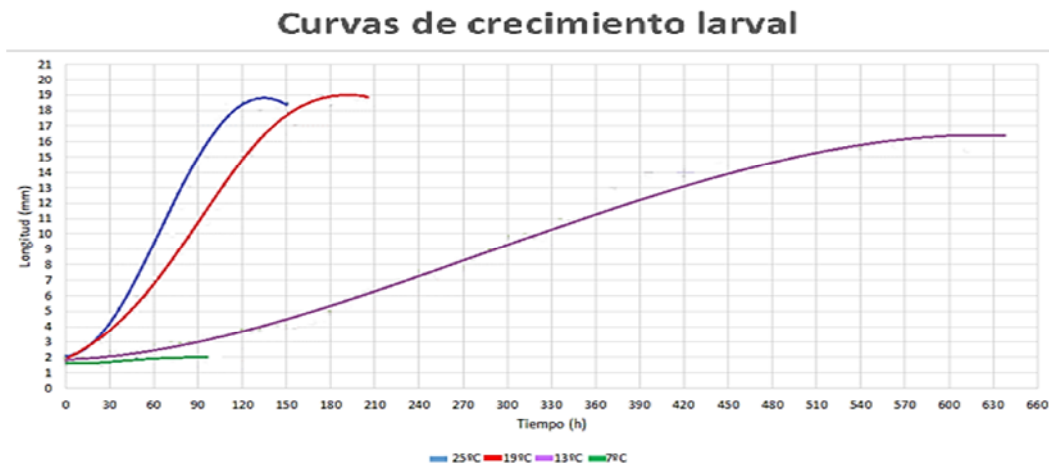
Las curvas de crecimiento larval de *C. arequipensis* bajo los cuatro tratamientos de temperatura evaluados, muestran que la curva de crecimiento larval a 25°C duró 76 horas (3,16 días) menos que a 19°C y 535 horas (22,29 días) menos que a 13°C. A 19°C el tiempo de desarrollo larval fue 459 horas (19,125 días) menor que a 13°C (Figura 1 A, B, C, D). Se comprobó que a mayor temperatura la duración del ciclo de desarrollo es menor, y en la medida en que se disminuyó la temperatura, el tiempo de desarrollo se prolongó, siendo el ciclo de mayor duración el realizado a 13°C, lo anterior indica que existe una relación inversamente proporcional de

temperatura y tiempo de desarrollo; al incrementar la temperatura, el tiempo requerido para completar el ciclo disminuye y al ser la temperatura menor, la duración del ciclo de vida se extiende (figura 2).

La curva de crecimiento larval a 7°C, fue realizada con base en cinco mediciones de longitud larval y con 2 a 5 repeticiones por medida debido al bajo número de individuos que eclosionaron. Las pocas medidas de longitud realizadas, muestran un crecimiento mínimo, siendo de 0,31mm la diferencia entre la primera medición y la última medida tomada cuatro días después de la eclosión.



**Figura 1.** Curvas de crecimiento larval de *C. arequipensis* y bandas de predicción de las regresiones lineales polinomiales con un alfa del 0,05 bajo los cuatro tratamientos de temperatura estudiados: A. 25°C. B. 19°C. C. 13°C. D. 7°C (No incluye la etapa post-alimentaria o Pre-pupa). Las líneas punteadas indican el cambio de estadio larval.

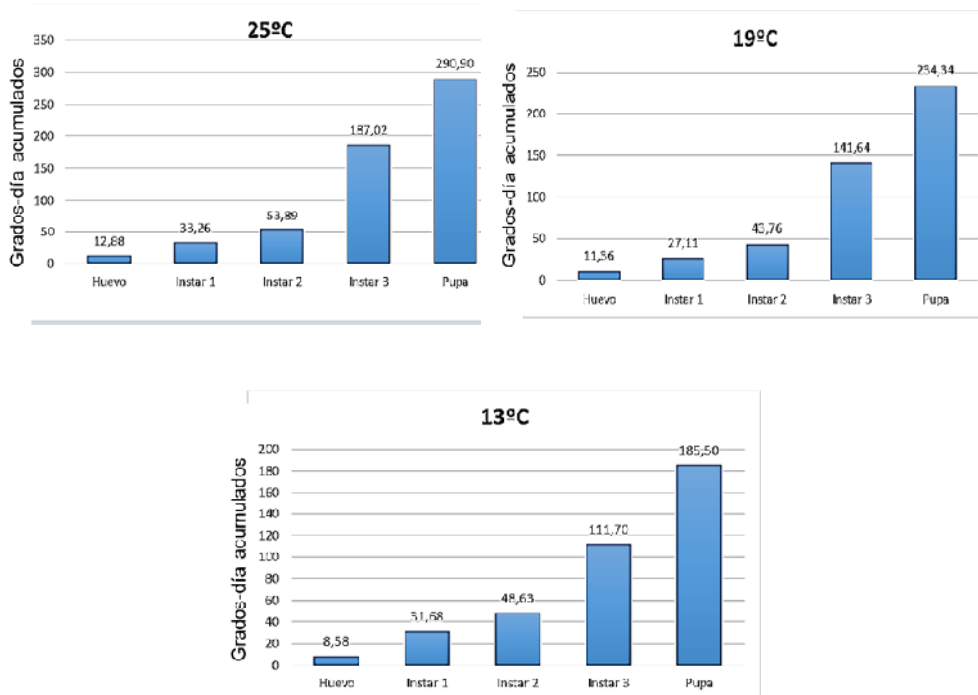


**Figura 2.** Comparación del tiempo de desarrollo de la fase larval a los cuatro tratamientos de temperatura (No incluye etapa post-alimentaria).

En la figura 2, se observa que a las temperaturas más altas (25 y 19°C) existe un crecimiento larval rápido evidenciando en las curvas cortas y con menor inclinación, en contraste a temperatura baja de 13°C, se observa una curva larga y bastante inclinada debido al mayor tiempo requerido para completar la fase larval; por su parte el tratamiento a 7°C muestra el inicio de una curva de crecimiento casi horizontal lo cual indica que el crecimiento en ese periodo de tiempo fue mínimo, a esta temperatura no fue posible continuar con la elaboración de la curva debido a la mortalidad de las larvas.

**Requerimientos calóricos:**

Los requerimientos calóricos expresados como grados-día acumulados para cada fase de desarrollo desde huevo hasta pupa, se muestran en la figura 3. Es posible observar que los diferentes tratamientos de temperatura así como cada fase de desarrollo tienen distintos requerimientos térmicos; en general, entre más avanzado es el estadio de desarrollo la cantidad de calor requerida para alcanzar la siguiente fase de desarrollo, es mayor.



**Figura 3.** Grados-día acumulados por *C. arequipensis* bajo tres tratamientos de temperatura, el umbral mínimo de desarrollo fue tomado como 10°C

### Evaluación de diferencias significativas para cada tratamiento

En la evaluación de la existencia de diferencias significativas entre los grados-día acumulados para cada fase de desarrollo a las diferentes temperaturas, se determinó con la prueba de Kruskal-Wallis que existen diferencias significativas en la fase de huevo ( $H_c = 18,1$ ,  $g_l = 9$ ,  $p = 0,0001171$ ), en instar uno ( $H_c = 26,24$ ,  $g_l = 9$ ,  $p =$

$2 \times 10^{-06}$ ), en instar tres ( $H_c = 24,04$ ,  $g_l = 9$ ,  $p = 6,036 \times 10^{-06}$ ) y en pupa ( $H_c = 22,06$ ,  $g_l = 9$ ,  $p = 1,617 \times 10^{-05}$ ). Los p valores de la prueba posterior de Mann-Whitney para establecer los grupos diferentes, son mostrados en la tabla 5. Para la fase de desarrollo de larva de segundo instar, no se encontraron diferencias significativas ( $H_c = 3,913$ ,  $g_l = 9$ ,  $p = 0,1413$ ).

**Tabla 5.** Valores p de los análisis pareados de la prueba de Mann-Whitney para los grados día acumulados de las fases de desarrollo huevo a pupa. Los valores  $p < 0,05$  presentan diferencias significativas.

Temperatura	Huevo	Instar 1	Instar 3	Pupa
25 y 13°C	0,0001575	0,0001366	0,0001612	0,0001383
25 y 19°C	0,06514	0,0001366	0,001559	0,02241
19 y 13°C	0,002765	0,0001366	0,0001786	0,0001293

### Discusión

#### *Compsomyiops arequipensis*

En Colombia, Daza & Yusseff (11) (2003), encontraron al género *Compsomyiops* constituyendo uno de los grupos de mayor importancia en el proceso de descomposición en la ciudad de Tunja por ser los principales consumidores del cadáver, mayormente en las primeras fases de descomposición, adicionalmente se registró al género como el más abundante en su fase larval; resultados similares se obtuvieron en un muestreo realizado en el Centro Ambiental Chimayoy en el municipio de Pasto, donde se encontró a *C. arequipensis* y *C. verena* como las especies más abundantes en las trampas para dípteros necrófagos. Bello *et al.*, (13) (2008), estableció las primeras especies colonizadoras de cadáveres de cerdo doméstico en Bogotá, entre las que encontró a *C. verena*.

En esta investigación, se encontraron resultados similares a los de Daza & Yusseff (11) (2003), y Bello *et al.*, (13) (2008) en cuanto a la llegada de *C. arequipensis*, ya que se registró su llegada en los primeros días de descomposición del sustrato usado, adicionalmente, *C. arequipensis* es registrada en esta investigación como especie necrófaga de zonas frías igual a lo reportado por Daza & Yusseff (11) (2003) para el género *Compsomyiops*.

#### Tiempo de desarrollo

Según Bello *et al.*, (13) (2008), el conocimiento de los datos de las especies colonizadoras y su estado de desarrollo, así como la información del estado de descompo-

sición del cadáver, constituyen información útil para el forense en la determinación del intervalo post mortem. Al ser los insectos organismos poiquilotermos, su desarrollo está fuertemente influenciado por la temperatura ambiental. Por lo que cuanto mayor es la temperatura, su desarrollo será más rápido y en consecuencia, el ciclo de huevo a adulto será más corto (13), esto fue corroborado con los resultados obtenidos en la presente investigación ya que el tratamiento de mayor temperatura evaluado (25°C) tuvo menor duración del ciclo de vida en comparación con los ciclos evaluados a 19, 13 y 7°C (tabla 1).

A 25, 19 y 13°C hubo diferencias en el tiempo de desarrollo de huevo a adulto pero en los tres casos la emergencia del imago fue exitosa. Sin embargo, esto no ocurrió a 7°C donde las pocas larvas que lograron eclosionar, murieron en instar uno. Bello *et al.*, (13) (2008), observaron resultados similares con huevos depositados por moscas de la familia Calliphoridae sobre cadáveres de cerdo, donde los huevos murieron a causa de las bajas temperaturas registradas en horas de la madrugada. Según Lecheta (2012), las temperaturas extremadamente bajas o altas son perjudiciales e incluso pueden llegar a ser letales, ya que al ser los insectos organismos ectotermos, las temperaturas extremas interfieren con los procesos biológicos incluyendo el metabolismo y la regulación de las hormonas de crecimiento (Roe, 2014).

Lecheta, (4) (2012) en su estudio encontró que *Sarcophaga chlorogaster* (Wiedemann, 1830) tuvo un tiempo de desarrollo de 98,7 días a una temperatura de 10°C; a 15°C el ciclo duro 40,98 días. A 20°C la duración del

ciclo fue de 25,67 días, resultado similar al encontrado para *C. arequipensis* en el que el ciclo a 19°C tuvo una duración de 25,87 días. A 25°C, el ciclo de huevo a la emergencia del adulto de *S. chlorogaster* duró 19,16 días, resultado en gran medida equivalente al obtenido en este estudio, donde el ciclo total a la misma temperatura tuvo una duración de 19,7 días. A 30°C el ciclo duró 15,02 días, y a temperaturas de 31, 32 y 35°C hubo desarrollo larval, pero estas no lograron completar el ciclo, por lo que se fijó el umbral máximo de desarrollo a una temperatura de 31°C.

Yusseff, (17) (2007), determinó que el tiempo requerido por *C. macellaria* para completar su ciclo a una temperatura de 25°C fue de 288,2 h (12 días), es decir, 7,7 días menos que lo reportado para *C. arequipensis* en esta investigación a la misma temperatura. A 30 °C, el desarrollo total de *C. macellaria* duro 208,1 h (8,7 días) y a 35°C, el tiempo total no pudo ser estimado porque esta temperatura fue letal para las pupas. Para *C. rufifacies*, el tiempo de desarrollo total a 25°C tuvo una duración de 260,5 h (10,8 días), siendo 8,9 días menos que el tiempo requerido por *C. arequipensis* a la misma temperatura. A 30 °C el desarrollo total mostró una media de 216,5 h (9.0días). A 35 ° C el desarrollo duró 194,0 h (8.0 días).

Camacho (22) (2005), encontró que la duración del ciclo de vida total a 18,2°C para *C. vicina*, fue de 38 días, es decir, 12,13 días más que *C. arequipensis* a 19°C.

La diferencia en los tiempos de desarrollo aun en temperaturas cercanas, podrían deberse a las diferencias adaptativas que han adquirido las poblaciones en respuesta a condiciones ambientales propias del lugar que habitan (23).

### Curvas de crecimiento larval

En la estimación del IPM, el tamaño de las larvas de las especies colonizadoras del cadáver, juegan un papel importante, puesto que un mayor tamaño larval indica más días de vida del insecto y en consecuencia, mayor tiempo de permanencia en el cuerpo, es decir, el tiempo de muerte de la persona es más prolongado(13).

De acuerdo con lo anterior, para la determinación del IPM es necesario conocer la edad larval, para lo que se utilizan curvas de crecimiento y desarrollo que son específicas para cada una de las especies de moscas necrófagas y para cada región. El disponer de estas curvas, permite comparar el tamaño de las larvas encontra-

das en el cadáver con los valores obtenidos previamente y con esto estimar el intervalo postmortem de manera más precisa (17).

Igual que lo encontrado por Yusseff (17) (2007B) y García *et al.*, (5) (2012) se observó que las curvas de crecimiento y desarrollo larval, presentaron un crecimiento lento durante las primeras horas después de la eclosión, las siguientes horas en instar uno, junto con instar dos y el inicio del instar tres presentaron un crecimiento constante y acelerado, posteriormente, en esta última fase de desarrollo las larvas dejaron de crecer, e incluso presentaron una lenta disminución del tamaño larval, indicando la llegada a la etapa de prepupa donde dejan de alimentarse para iniciar la migración larval en busca de un lugar seco para empupar.

En general, las temperaturas más bajas disminuyen la tasa de crecimiento y desarrollo de los insectos haciendo que se alargue el ciclo de vida (5). En esta investigación, cada temperatura produjo diferencias en el tiempo de desarrollo, a 25°C el ciclo de vida duró 19,7 días, a 19°C tuvo una duración de 25,87 días y a 13°C 61,95 días, es decir, a 25°C el tiempo de desarrollo es menor que el de 19°C por 6,17 días, la diferencia de tiempo entre 19 y 13°C es de 36,08 días; y entre 25 y 13°C, la diferencia fue de 42,25 días. Dada la importancia de la temperatura en la duración de los ciclos de vida, se corrobora la necesidad de establecer los tiempos de desarrollo para las diferentes especies ante diferentes temperaturas y en cada región tal como lo señala Vélez & Wolff, (7) (2008), García *et al.*, (5) (2012) y Rodes, (24) (2013).

A 7°C, la eclosión de los huevos no fue óptima obteniendo un porcentaje mínimo de larvas emergentes. Esto podría deberse a que las enzimas que actúan durante el proceso de eclosión en *C. arequipensis* no toleran temperaturas demasiado bajas provocando que éstas se inactiven debido a la sensibilidad que tienen frente a factores como la temperatura (17). Resultados similares obtuvo Roe (21) (2014), en su estudio del ciclo de vida de *L. sericata* y *P. regina* donde encontró que el mínimo biológico para ambas especies estuvo entre 7,5 y 10°C, con la no emergencia a la primera temperatura, y con pocos huevos desarrollados a 10°C similar a lo ocurrido en la presente investigación a 7°C.

La cercanía a los umbrales tanto mínimo como máximo de temperatura, afectan el desarrollo de los insectos, Krüger *et al.*, (25) (2010) encontró que los límites

superiores de temperatura pueden producir pérdida de agua en el organismo, así como también la desnaturación de las proteínas necesarias para el metabolismo, mientras que las temperaturas bajas pueden causar un aumento de los cristales procedentes de los líquidos corporales que causan la ruptura de tejido, produciendo alteraciones en la tasa de desarrollo de los estados inmaduros.

### Requerimientos calóricos

Según Lecheta (4) (2012), la tasa de desarrollo de los artrópodos se basa en la acumulación de unidades calóricas, por lo que al evaluar los grados-día, se está obteniendo el tiempo fisiológico y no cronológico. En la figura 3, se observa los grados-día acumulados por *C. arequipensis* bajo los tratamientos de temperatura de 25, 19 y 13°C, a 7°C no se obtuvieron resultados por estar ésta temperatura por debajo del umbral mínimo de desarrollo que en este caso fue tomado como 10°C de acuerdo con lo reportado para otras especies de la familia Calliphoridae como *C. rufifacies* por García *et al.*, (5) (2012) y *L. sericata* y *P. regina* por Roe, (21) (2014).

García *et al.*, (5) (2012), evaluó los grados día acumulados para *C. rufifacies* en primavera y verano en el año 2010, a una temperatura promedio de 28,76 y 28,36°C respectivamente. Encontraron que para primavera, *C. rufifacies* acumuló un total 192,57 unidades de calor (UC) en un periodo de 10 días para que las moscas emergieran. Para la eclosión, acumularon un total de 8,55 UC; para llegar a segundo instar acumularon 28,08 UC; al pasar a instar tres necesitaron 52,76 UC y para llegar a la fase migrante se acumularon 88,37 UC. En verano el tiempo requerido para completar el ciclo de desarrollo de *C. rufifacies*, fue de 10 días, donde se acumuló 191 UC. Para la eclosión de las larvas se acumularon en promedio 7,26 UC; para alcanzar el segundo estadio necesitaron 28,14 UC; desde huevo hasta instar tres, acumularon 46,90 UC y para llegar a la fase de pupa, necesitaron 87 unidades de calor.

Gullan & Cranston (26) (2005), sugieren que *Aedes ae-*

*gypti* (Linnaeus, 1762) presenta una relación “aproximadamente independiente” de la constante térmica respecto a la temperatura, exceptuando los extremos donde a menor temperatura hubo un menor valor de unidades de calor acumuladas (14°C = 1008 grados día), mientras que a mayor temperatura, el valor de los grados-día acumulados fue mayor (36°C = 3882 grados día); en los valores intermedios se observó una tendencia a incrementar las unidades calóricas acumuladas por *A. aegypti* en la medida en que se aumentaba la temperatura, sin embargo, esto no se cumplió estrictamente. En los resultados obtenidos en la presente investigación, se observa una tendencia similar a la reportada por Gullan & Cranston (26) (2005) y García *et al.*, (5) (2012), pues en general, a mayor temperatura, se observó una mayor acumulación de grados día.

### Conclusiones

- Se confirma a *C. arequipensis* como especie necrófaga útil en las investigaciones forenses para la determinación del IPM en el municipio de Pasto.
- La temperatura de 7°C fue letal para el desarrollo de *C. arequipensis* produciendo mortalidad al 95% de huevos y posteriormente al 5% de larvas emergidas.
- El conocimiento de los ADDs, las curvas de crecimiento y la duración de cada fase del ciclo vital son una herramienta adecuada para calcular el IPM con *C. arequipensis*.

### Agradecimientos

Al Sistema de Investigaciones de la Vicerrectoría de Investigaciones, Posgrados y Relaciones Internacionales (VIPRI) de la Universidad de Nariño por la aprobación y financiación de este trabajo. Al grupo de investigación en Ecología Evolutiva GIEE. Al ingeniero Luis Bravo por permitirme desarrollar la fase de campo en las instalaciones del Centro Ambiental Chimayoy. Al Dr. Tito Bacca y Mauricio Rodríguez por su orientación y por sus aportes al documento. Al Biólogo Diego Martínez por su colaboración con el análisis estadístico. A los Ingenieros Electrónicos Jesús Viveros y Jorge Chamorro por la elaboración de los intercambiadores térmicos.

## REFERENCIAS

1. Wolff, M., Uribe, A., Ortiz, A., & Duque, P. (2001). A preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. *Forensic Sci Int*, 120, 53-59.
2. García, A., & Honorato, L. (2006). La entomología forense y la práctica policial en España: estimación del intervalo post-mortem en un cadáver hallado en el interior de una arqueta en la comunidad de Madrid. *Ciencia Forense*, 57-62.
3. Gonzáles, A., Gonzáles, L., Martínez, I., Archilla, F., Higuera, J., & Jiménez, G. (2011). Estimación del intervalo post-emersión de un cadáver hallado en un embalse en Granada (España). *Cuad. med. forense*, 17(3).
4. Lecheta, M. (2012). Efeitos da temperatura no desenvolvimento de *sarconesia chlorogaster* (wiedemann, 1830) (Diptera, Calliphoridae) e sua possível utilização na entomologia forense. Área de Concentração em Entomologia, do Departamento de Zoologia da Universidade Federal do Paraná.
5. García, F., Valdés M, Sánchez, J., Yusseff, V., & Quintero, M. (2012). Desarrollo larval y requerimientos calóricos de *Chrysomya rufifacies* (Diptera: Calliphoridae) durante primavera y verano en Torreón, Coahuila. *Acta Zool Mex*, 28(1), 172-184.
6. Nability, P., Higley, L., & Heng-Moss, T. (2006). Effects of Temperature on Development of *Phormia regina* (Diptera: Calliphoridae) and Use of Developmental Data in Determining Time Intervals in Forensic Entomology. *J. Med. Entomol.*, 43(6), 1276-1286.
7. Vélez, M., & Wolff, M. (2008). Rearing five species of Diptera (Calliphoridae) of forensic importance in Colombia in semicontrolled field conditions. *Pap Avulsos Zool*, 48(6), 41-47.
8. Calderón, O., Troyo, A., & Solano, M. (2005). Sucesión de larvas de muscoideos durante la degradación cadavérica en un bosque premontano húmedo tropical. *Rev Biomed*, 16, 79-85.
9. Salazar-Ortega, J. (2008). Estudio de la entomofauna sucesional asociada a la descomposición de un cadáver de cerdo doméstico (*Sus scrofa*) en condiciones de campo. *Univ Sci (Bogota)*, 13(1).
10. Pinilla, Y., Segura, N., & Bello, F. (2012). Synanthropy of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera) in Bogotá, Colombia. *Neotrop Entomol*, 41, 237-242.
11. Daza, M., & Yusseff, S. (2003). Caracterización de la entomofauna asociada a la descomposición cadavérica empleando como biomodelo cerdo (*Sus scrofa*) en el municipio de Tunja. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias. Escuela de Ciencias Biológicas, Tunja.
12. Velásquez, Y. (2007). A checklist of arthropods associated with rat carrion in a montane locality of northern Venezuela. *Forensic Sci Int*, 174(1), 68-70.
13. Bello, F., Segura, A., Chuairé, L., & Sánchez, M. (2008). Entomología forense: insectos al servicio de la justicia. Facultad de Medicina. Fascículo Interactivo 14. Universidad del Rosario.
14. Gonzáles, D., Peris, S., & Mariluis, J. (1998). Notas sobre la taxonomía y distribución del género *Compsomyiops* TOWNSEND, 1918 (Diptera, Calliphoridae). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.)*, 94(1-2), 15-21.
15. Amat, E. (2009). Contribución al conocimiento de las *Chrysomyinae* y *Toxotarsinae* (Diptera: Calliphoridae) de Colombia. *Rev Mex Biodivers*, 80, 693-708.
16. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y Servicio de Información Meteorológica Mundial (IDEAM). (2014). Información de temperatura promedio diaria en la estación meteorológica Chimayoy.
17. Yusseff, S. (2007B). Efectos de la temperatura sobre el desarrollo de *Chrysomya rufifacies* y *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae), dos especies importantes para la entomología forense en Puerto Rico.
18. Catts, & Haskell. (1990). *Entomology and death: a procedural guide*. C Clemson, South California. Joyce's Print Shop., 111-123.
19. Ayón, M., Cacharani, D., Torres, V., Corronca, J., & Centeno, N. (2009). tiempo de desarrollo y curvas de crecimiento de *Lucilia cluvia* (Walker 1849) y *Cochliomyia macellaria* (Fabricius 1775) (Diptera: Calliphoridae): herramientas para la estimación del intervalo post-mortem (PMI). (I. J. Salta, Recopilador).

20. Wall, R., French, N., & Morgan, K. (1992). Effects of temperature on the development and abundance of the sheep blowfly *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). *Bull Entomol Res*, 82, 125-131.
21. Roe, A. (2014). Development modeling of *Lucilia sericata* and *Phormia regina* (Diptera: Calliphoridae). *Dissertations & Theses in Natural Resources*. Paper 93. Forensic Entomology.
22. Camacho, G. (2005). Sucesión de la entomofauna cadavérica y ciclo vital de *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) como primera especie colonizadora, utilizando cerdo blanco (*Sus scrofa*) en Bogotá. *Rev. Colomb. Entomol*, 31(2), 189-197.
23. Byrd, J., & Castner, J. (2001). *Forensic Entomology. The utility of arthropods in legal investigation*. Washington D.C: CRC.
24. Rodes, F. (2013). *Laboratorio forense, Textos docentes. Criminología*. Universidad de Alicante. 239 pág.
25. Krüger, R., Kirst, F., & Souza, A. (2010). Rate of development of forensically-important Diptera in southern Brazil. *Rev bras entomol*, 54(4), 624-629.
26. Gullan, P., & Cranston, P. (2005). *The insects an outline of entomology* (3 ed.). (B. Publishing., Ed.)