

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE EL CICLO DE VIDA DE LA ESPECIE
NECRÓFAGA *Compsomyiops arequipensis* Mello, 1968 (DIPTERA: CALLIPHORIDAE)**

JOHANA PATRICIA CASTRO CHINGAL

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
SAN JUAN DE PASTO
2016**

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

JOHANA PATRICIA CASTRO CHINGAL

ASESORES:

GUILLERMO CASTILLO BELALCÁZAR
Esp. Ecología

MSc. JORGE SALAZAR ORTEGA
MSc. Entomología

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Biólogo

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
SAN JUAN DE PASTO
2016

“Las ideas y conclusiones aportados en el trabajo de grado, son responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1° del acuerdo N° 324 de Octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Directores

Guillermo Castillo Belalcázar
Esp. en Ecología

Jorge Salazar Ortega
MSc. Entomología

Jurados

Tito Bacca
Ph. D. en Entomología

Mauricio Rodríguez
Biólogo

*A mis padres Mary y José,
por su confianza, su apoyo incondicional,
su amor y por siempre motivarme para
conseguir cumplir las metas propuestas.*

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 mi trabajo de grado.

Al grupo de investigación en Ecología Evolutiva por su apoyo.

Al ingeniero Luis Bravo por permitirme desarrollar la fase de campo de este trabajo en las instalaciones del Centro Ambiental Chimayoy.

A mis directores de trabajo de grado el profesor Guillermo Castillo y Jorge Salazar por guiarme y acompañarme durante todo el proceso de elaboración del trabajo.

A mis jurados el Dr. Tito Bacca y Mauricio Rodríguez por su orientación y por sus aportes al documento.

A los Ingenieros Electrónicos Jesús Viveros y Jorge Chamorro por la elaboración de los intercambiadores térmicos necesarios para la fase experimental de mi proyecto, por su amistad y por los buenos momentos compartidos.

A Cristhian Mideros por su compañía y colaboración en las fases de campo y laboratorio, por su amistad y por el apoyo brindado en todo momento.

A Diego Martínez y Edwin Beltrán por su amistad y por su asesoría con el análisis estadístico del proyecto.

A los laboratoristas de la Universidad de Nariño Carlos Bernal, Mauricio Rodríguez, Osvaldo Arcos y Alirio Rodríguez por su colaboración con el préstamo de material de laboratorio.

A mis compañeros de la UDENAR y todas las personas que de alguna u otra forma hicieron parte de este proceso.

RESUMEN

Se evaluó el ciclo de desarrollo y los requerimientos calóricos de *Compsomyiops arequipensis* a cuatro temperaturas constantes: 25, 19, 13 y 7°C. A partir de esto, se obtuvo la duración del ciclo total y de cada fase de desarrollo, curvas de crecimiento y desarrollo, y los grados día acumulados necesarios para completar cada etapa. El ciclo total de huevo hasta adulto a 25°C tuvo una duración de 473 horas (19,7 días); a 19°C el tiempo requerido para completar el desarrollo fue de 621 horas (25,87 días); a 13°C el tiempo de desarrollo fue de 1487 horas (61,95 días). A 7°C la temperatura no fue óptima para la eclosión del 95% de los huevos, el 5% restante que logró eclosionar, murió en instar uno 96 horas después de la eclosión. Los grados día acumulados o ADDs a 25°C fueron 290,90; a 19°C, se acumularon 234,34 grados día y a 13°C, los grados día necesarios para completar el ciclo fueron 185,50 ADDs. A 7°C no fue posible realizar los cálculos para determinar las unidades de calor, puesto que esta temperatura se encuentra por debajo de la temperatura umbral mínima de desarrollo fijada para *C. arequipensis* según lo registrado para otras especies de la familia Calliphoridae.

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

ABSTRACT

The development cycle and the energy requirements of *Compsomyiops arequipensis* were evaluated for four constant temperatures: 25, 19, 13 and 7°C. Starting from this, the total cycle length and each phase of development, growth and development curves, and the degree days accumulated required to complete each stage were obtained. The total cycle from egg to adult at 25°C lasted 473 hours (19,7 days); at 19°C the time required to complete the development was 621 hours (25,87 days); at 13°C the development time was 1487 hours (61,95 days). At 7°C the temperature wasn't optimal for hatching of 95% the eggs, the remaining 5% that managed to hatch died in first larval stage, 96 hours after hatching. The accumulated degree day or ADDs at 25°C were 290.90; at 19°C, 234.34 degree days were accumulated and at 13°C, the degree days needed to complete the cycle were 185,50 ADDs. At 7°C was not possible to perform calculations to determine heat units, because this temperature is below the minimum threshold temperature of development established for *C. arequipensis* as recorded for other species of the Calliphoridae family.

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

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	23
3. OBJETIVOS GENERALES	23
3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
4. JUSTIFICACIÓN	24
5. MARCO TEORICO.....	27
6. ANTECEDENTES.....	31
6.1 Primeras aplicaciones:	31
6.2 <i>Compsomyiops</i> como indicador forense:	31
6.3 Estudios en Colombia	32
6.3.1 Investigaciones que incluyen al género <i>Compsomyiops</i>	33
6.3.2 Sucesión entomológica:	34
6.3.3 Listados de especies:.....	35
6.3.4 Ciclos de vida y evaluación de grados día acumulados:	35
6.3.5 Taxonomía:	36
6.3.6 Sinantropia:	37
6.3.7 Variación temporal en dípteros necrófagos:.....	38
6.3.8 Investigaciones en Nariño:	38
7 MATERIALES Y MÉTODOS	40
7.1 <i>Compsomyiops arequipensis</i> (Mello, 1968).....	40
7.2 Fase de campo	40
7.2.1 Captura de adultos y obtención de huevos.....	41

7.3 Fase de laboratorio	42
7.3.1 Determinación del tiempo de eclosión.....	46
7.3.2 Medición de la longitud larval:	46
7.3.3 Tiempo de pupación.....	47
7.4 Calculo de grados-día acumulados	47
7.5 Análisis estadístico.....	47
8 RESULTADOS	49
8.1 <i>Compsomyiops arequipensis</i> :	49
8.2 Tiempo de desarrollo	51
8.2.1 Evaluación de diferencias de tiempo para cada fase de desarrollo	53
8.3 Curvas de crecimiento larval:	54
8.4 Requerimientos calóricos:.....	59
8.4.1 Evaluación de diferencias significativas para cada tratamiento	61
9. DISCUSIÓN	62
9.1 <i>Compsomyiops arequipensis</i>	62
9.2 Tiempo de desarrollo	63
9.3 Curvas de crecimiento larval	64
9.4 Requerimientos calóricos.....	66
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES.....	69
LITERATURA CITADA	70
ANEXOS	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Duración de cada fase de desarrollo (horas) y D.E de <i>Compsomyiops arequipensis</i> desde huevo hasta pupa.....	51
Tabla 2. p valor de las pruebas pareadas de la prueba de Mann-Whitney para la duración del ciclo total a tres temperaturas. Los valores $p < 0,05$ presentan diferencias significativas.	53
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. ..	53
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.	54
Tabla 5. Valores p de los análisis pareados de la prueba de Mann-Whitney para los grados día acumulados de las fases de desarrollo larva 1 a pupa. Los valores $p < 0,05$ presentan diferencias significativas.	61

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** A. Intercambiador de calor. B. Esquema resumido del circuito de los intercambiadores de calor automáticos. C. Circuito electrónico del sistema. 44
- Figura 2.** Tiempo de desarrollo de la fase de huevo hasta la emergencia del adulto de *C. arequipensis* bajo cuatro regímenes de temperatura 52
- Figura 3.** 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 56
- Figura 4.** Comparación del tiempo de desarrollo de la fase larval a los cuatro tratamientos de temperatura 58
- Figura 5.** Grados-día acumulados por *C. arequipensis* bajo tres tratamientos de temperatura. .. 60

LISTA DE IMÁGENES

- Imagen 1.** Trampa tipo Ferreira para captura de moscas necrófagas. 41
- Imagen 2.** Caja Petri (100 x 15 mm) con sustrato alimenticio y huevos de *C. arequipensis*. La caja Petri de mayor tamaño (150 x 25 mm) contiene arena y aserrín para la pupación de las larvas en fase migratoria..... 43
- Imagen 3.** Macho de *C. arequipensis*, ojos subholópticos, cercos y surestilos característicos.... 50
- Imagen 4.** Hembra de *C. arequipensis*, ojos dicópticos, manchas metálicas laterales en el margen del tercer al quinto tergo características..... 50

ANEXOS

ANEXO 1. Etapas del ciclo de desarrollo de <i>Compsomyiops arequipensis</i> (Diptera: Calliphoridae) desde la oviposición, hasta la emergencia del adulto.	78
ANEXO 2. Temperatura registrada en cada muestreo.	85
ANEXO 3. Estadística de las regresiones lineales polinomiales bajo las cuatro temperaturas evaluadas.	88

GLOSARIO

ENTOMOLOGÍA FORENSE: es el estudio de los artrópodos asociados a cadáveres, se utiliza como herramienta forense para datar decesos y cuando es posible, estimar causas y lugar del evento.

CICLO DE VIDA: Fases de desarrollo que atraviesan los insectos desde huevo hasta adulto (huevo, larva, pupa, adulto o huevo, ninfa, adulto).

ADDs: abreviación para accumulated degree days (grados día acumulados).

DDs: abreviación para degree days (grados día).

GRADOS DÍA ACUMULADOS: unidades de calor acumuladas para que ocurra un evento determinado del ciclo de vida como la eclosión, mudas larvarias o ninfales, pupación o emergencia del adulto.

INTERVALO POST MORTEM (IPM): Tiempo transcurrido entre la muerte y el hallazgo del cadáver.

HUEVO: Primera fase de desarrollo de los insectos.

LARVA: Estado inmaduro de insectos holometábolos el cual ocurre entre el estadio de huevo y el estadio de pupa.

PREPUPA: Estado larval inactivo posterior a la etapa de alimentación, en el cual el cuerpo se contrae y se engrosa antes de comenzar el estadio de pupa.

PUPA: Estado de inactividad alimenticia donde existe una transformación metamórfica, ocurre entre el último estado larval y el estado adulto.

IMAGO: Etapa en la que el individuo ha llegado a su mayor desarrollo y posee plena capacidad reproductiva.

ESTADÍO DE DESARROLLO: Cada etapa del desarrollo de un organismo.

INSTAR: Cada uno de los estadios larvales que presentan los dípteros.

NECRÓFAGO: Animal que se alimenta de cadáveres o tejidos en descomposición.

RIGOR MORTIS: Rigidez o endurecimiento del cuerpo después de la muerte.

ALGOR MORTIS: Reducción de la temperatura corporal tras la muerte del individuo.

LIVOR MORTIS: Sedimentación de la sangre en el cuerpo.

INTRODUCCIÓN

La entomología forense es la disciplina que estudia los insectos asociados al proceso de descomposición cadavérica, convirtiéndola en una herramienta útil para esclarecer incógnitas que rodean a los cadáveres encontrados en circunstancias particulares, mediante la interpretación de la información obtenida a partir de los insectos como testigos indirectos de un deceso, donde la patología clásica no provee todos los datos necesarios para resolver un caso (Wolff *et al.*, 2001. Mavaréz *et al.*, 2005. Yusseff, 2007A).

El análisis de la entomofauna asociada a cadáveres busca cumplir con objetivos específicos de las investigaciones forenses, como: determinar el IPM (Intervalo Post Mortem) a través del estudio de la fauna cadavérica (donde se requiere la identificación del estado físico y duración de las fases de descomposición de un cadáver, además de la determinación de la fauna de insectos asociada y su ecología), establecer la época del año en que ocurrió la muerte y verificar si un individuo murió en el lugar donde fue encontrado o si fue trasladado hasta ahí. Esta información, da mayor certeza a otros medios de datación forense (Calderón *et al.*, 2005. Yusseff, 2007A. Rodes, 2013). De igual manera, esta herramienta puede ser utilizada para vincular al sospechoso con la escena del crimen o su presencia anterior en el lugar de los hechos, relacionando el IPM con el momento y lugar en donde se encontraba el sospechoso al momento del homicidio (Yusseff, 2007A).

Posterior al deceso, un cadáver sufre cambios naturales que lo llevan por diferentes estados de descomposición atractivos a los insectos necrófagos (Salazar-Ortega, 2008). Estos estados, son un proceso continuo que pueden ser aplicados en la mayoría de los estudios de entomología forense y a pesar de que las variables son dependientes de las condiciones medioambientales, se manifiestan de manera más o menos constante (Calderón *et al.*, 2005. Rodes, 2013).

Ante la presencia de un cadáver, la comunidad descomponedora atraviesa un proceso de sucesión ecológica. Por lo tanto, los insectos llegan en una secuencia determinada, produciendo

la adición o sustitución de especies. El conocimiento de esta secuencia, la preferencia de los insectos por diferentes estados de descomposición y los datos meteorológicos, aportan valiosa información en el establecimiento de un IPM más acertado (Salazar-Ortega, 2008).

Al igual que otros invertebrados, los insectos son ectotérmicos, por lo tanto, su desarrollo depende de las condiciones ambientales. Al ser la temperatura un factor relevante, influye significativamente en el comportamiento, distribución y desarrollo de los insectos y todos los aspectos de su fisiología. Así, temperaturas extremadamente bajas o altas son limitantes o incluso letales; de igual forma, las temperaturas entre estos límites críticos tienen notables efectos en el desarrollo y crecimiento de los insectos (Wall *et al.*, 1992. Lecheta, 2012. García *et al.*, 2012).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, en Colombia el intervalo postmortem se determina mediante el análisis de los restos cadavéricos por medio de la observación de características propias del cadáver como: la reducción de la temperatura corporal (*algor mortis*), lividez corporal (*livor mortis*), contracción muscular (*rigor mortis*), signos de deshidratación, entre otros; características físico-químicas como la estimación del deterioro producido por el paso del tiempo en ropa, zapatos, etc., y a través de la sucesión de los fenómenos cadavéricos de la putrefacción e insectos necrófagos asociados (Iriondo *et al.*, 2011).

Los parámetros médicos son utilizados para determinar el tiempo transcurrido desde la muerte cuando éste es corto, pero después de las 72 horas, la entomología forense puede llegar a ser más exacta y con frecuencia es el único método para determinar el intervalo post-mortem (Grassberger & Reiter, 2001).

Los cambios físico-químicos que se dan de manera natural en los cadáveres durante las diferentes fases de descomposición, inducen la colonización secuencial por parte de diferentes grupos de insectos necrófagos así como de sus respectivos depredadores (Calderón *et al.*, 2005); según Catts & Goff (1992) y Olaya (1999), las especies necrófagas son el grupo más importante debido a que incluyen los indicadores del IPM, entre estos está el orden Diptera con las familias: Calliphoridae y Sarcophagidae en los estados tempranos de descomposición y el orden Coleoptera con las familias: Silphidae y Dermestidae en las culminativas.

Según Catts & Goff (1992), las especies necrófilas son las que en primera instancia colonizan el cadáver, donde Diptera es considerado el principal orden necrófilo, pues son los primeros organismos en visitar el cuerpo llegando pocos minutos después de la muerte, donde depositan sus huevos y larvas alrededor de los orificios corporales naturales (ojos, oídos, nariz y boca) o en laceraciones.

Los dípteros son insectos heterotermos y holometábolos, por lo tanto sus estados metamórficos son predecibles, cuando la temperatura ambiental baja, su temperatura corporal

también lo hace y sus procesos fisiológicos se reducen, lo que puede hacer variar la duración de las etapas de sus ciclos biológicos (Yusseff, 2007A). Conocer los requerimientos calóricos o grados-día (DDs o degree days) y realizar el seguimiento del ciclo de vida de las moscas necrófagas de acuerdo con las variables ambientales como la temperatura, permiten determinar el IPM con mayor precisión (García *et al.*, 2012).

Investigadores como Olaya (1999), Battán *et al.*, (2005), Yusseff (2007A), Salazar-Ortega (2008) y Rodes (2013), confirman la relevancia del microclima y las condiciones medioambientales como factores determinantes en la colonización, sucesión y desarrollo de los insectos. Las variables esenciales a tener en cuenta cuando se va a estimar el IPM son la temperatura, condiciones de luz o sombra, humedad relativa, pluviosidad, nubosidad y región geográfica.

Algunos grupos de Diptera son aptos para ser utilizados en investigaciones forenses, principalmente porque son los primeros en llegar a un cuerpo en descomposición. Adicionalmente, sus estadíos larvarios presentan hábitos alimenticios necrófagos, otras características importantes se relacionan con su morfología y fisiología, como la capacidad de detectar el olor emanado por un cadáver a kilómetros de distancia, su ubicuidad derivado del tamaño pequeño que les facilita el acceso a casi cualquier lugar, ya sea un sótano, el baúl de un auto o una habitación cerrada, y su capacidad de volar que les permite desplazarse a grandes distancias en tiempos relativamente cortos (Yusseff, 2007A). Con base en estos criterios, las familias de dípteros con mayor importancia forense son: Calliphoridae, Sarcophagidae, Fannidae y Muscidae (Olaya, 1999. Yusseff, 2007A, Salazar-Ortega *et al.*, 2012. Ramírez *et al.*, 2012).

La familia Calliphoridae, constituye un grupo relevante en el área médico-sanitaria que puede ser usada en estudios de entomología forense (Ferraz *et al.*, 2010). Estos dípteros, son conocidos generalmente como moscas de la carroña, considerando que sus larvas se desarrollan en animales muertos donde el consumo de la necromasa permite su degradación, este comportamiento necrófago, constituye la línea base de la entomología forense, cuyo ciclo de desarrollo larval influenciado por la temperatura es fundamental para obtener estimaciones del IPM más precisas (Maes *et al.*, 1994. Vélez & Wolff, 2008. Ramírez *et al.*, 2012). De igual

forma, el uso de grados-día (DDs) es útil como herramienta para el cálculo del intervalo postmortem al permitir obtener una aproximación de cuándo empezaron los insectos su desarrollo en el cadáver, a partir de la suma acumulada de las unidades de energía expresadas en DDs que han sido necesarias para llegar al estadio de desarrollo larval en que se encuentran al momento de descubrir un cadáver (González *et al.*, 2011).

Según Olaya (1999); Camacho (2005); Ramírez *et al.*, (2012), al interior de la familia Calliphoridae se encuentran las especies de insectos más importantes involucradas en los procesos de descomposición, puesto que esta familia es conocida como pionera en la colonización dentro de la fauna sucesional en cadáveres humanos. Conocer la tasa de desarrollo de éstos organismos, permite obtener estimaciones precisas del IPM, pues el tiempo transcurrido desde la oviposición hasta la emergencia del imago varía dependiendo de diversos factores como la temperatura: las temperaturas elevadas aceleran el crecimiento y desarrollo, mientras que las temperaturas bajas lo retrasan (Yusseff, 2007A. Vélez & Wolff, 2008).

Especies de *Compsomyiops* Townsend 1918, se han reportado como las primeras en llegar a los cuerpos en descomposición y como las más abundantes, en diferentes zonas frías de Colombia (Daza & Yusseff 2003).

Actualmente, en Nariño, el conocimiento en entomología forense es limitado, y las investigaciones desarrolladas son el resultado de estudios de corte ecológico, entomofauna sucesional y oviposición nocturna. En particular para el municipio de Pasto no se cuenta con investigaciones que evalúen la influencia de la temperatura en el desarrollo de las especies de importancia forense que permitan determinar en forma confiable el IPM de un cadáver.

Teniendo en cuenta la importancia de conocer los requerimientos calóricos y la variación de la duración del ciclo de vida en especies necrófagas como respuesta a la variación de las temperaturas locales para la determinación de IPM acertados, esta investigación pretende establecer los grados-día necesarios para cada fase de desarrollo, así mismo, el efecto de la temperatura en la duración del ciclo de vida de la mosca necrófaga *C. arequipensis* (Diptera: Calliphoridae) bajo condiciones controladas de laboratorio.

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿En qué grado la variación de temperatura afecta la duración del ciclo de vida de la mosca necrófaga *Comptosyiops arequipensis* (Diptera: Calliphoridae)?

¿Cuáles son los requerimientos calóricos de *C. arequipensis* (Diptera: Calliphoridae) en cada fase de desarrollo?

3. OBJETIVOS GENERALES

Determinar cómo influye la variación de la temperatura en la duración de cada etapa del ciclo de vida de *C. arequipensis* (Diptera: Calliphoridae) bajo condiciones de laboratorio.

Establecer los requerimientos calóricos de *C. arequipensis* (Diptera: Calliphoridae) para cada estadio de desarrollo?

3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer la variación del ciclo vital de *C. arequipensis* en diferentes rangos de temperatura media en el municipio de Pasto.
- Realizar curvas de crecimiento del ciclo de desarrollo de *C. arequipensis* bajo condiciones controladas de temperatura semejantes a las que se presentan en el Municipio de Pasto, Nariño, Colombia.
- Determinar el número de grados-día requeridos por *C. arequipensis* para completar cada fase de desarrollo a las diferentes temperaturas evaluadas.

4. JUSTIFICACIÓN

La datación de la muerte es un problema fundamental en la investigación criminal y una de las herramientas para determinarla es la entomología forense (Castelló *et al.*, 2014). Ante la presencia de un cadáver, la causa, el lugar en el que se produjo la muerte y su datación son cuestiones que deben ser establecidas con la mayor precisión posible (Iriondo *et al.*, 2011).

Cuando el tiempo después de la muerte de un individuo es demasiado largo (mayor a 72 horas), los métodos de datación forense tradicionales 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 IPM (Grassberger & Reiter, 2001. Iriondo *et al.*, 2011). Por lo que investigadores como Nabity *et al.*, (2006), Yusseff (2007A), Vélez & Wolff (2008), consideran necesario realizar estudios detallados 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 muy preciso en la datación de la muerte, es estimar la edad de las larvas encontradas en cadáveres a través de la utilización de los grados-día, con este método, el desarrollo es medido como el tiempo térmico (grados día acumulados) requerido por los insectos para llegar a un determinado estadio, el supuesto esencial de este modelo, es que el tiempo de desarrollo de los insectos está directamente relacionado con la temperatura ambiente en la que se desarrollan (Lecheta, 2012). Lo anterior basado en el hecho de que al ser los insectos organismos poiquiloterms, la temperatura es entre los factores ambientales la que ejerce un mayor efecto sobre su desarrollo, debido a su incidencia considerable sobre sus procesos bioquímicos (Marco, 2001).

A partir de investigaciones asociadas al desarrollo de insectos de importancia forense que utilizan los criterios de ciclos de vida y el estudio de la acumulación de unidades de calor para diferentes especies de dípteros necrófagos, se espera que la entomología forense se fortalezca en el país para que pueda convertirse en una herramienta legal con valor probatorio y que además sea un componente fundamental en el análisis de las escenas de muerte (Yusseff, 2007A).

En la utilización de los insectos necrófagos como herramienta para el cálculo de la datación de muerte, los dípteros cobran relevancia en la sucesión por ser el primer grupo colonizador. Dentro del orden Diptera, las especies de Calliphoridae son pioneras al llegar a los pocos minutos del deceso e incluso durante la agonía para alimentarse e iniciar su proceso de oviposición (Olaya, 1999. Camacho, 2005, Calderón *et al.*, 2005. Salazar-Ortega, 2008, Pinilla *et al.*, 2012). Esta particularidad ha sido reconocida como fundamental para determinar el IPM con cierto grado de certeza (Olaya, 1999. Grassberger & Reiter, 2001).

Daza & Yusseff (2003), encontraron que *Compsomyiops* sp. es uno de los dípteros más importantes en el proceso de descomposición en la ciudad de Tunja (Boyacá, Colombia), el género se ha encontrado en zonas andinas altas y frías, y hasta el momento, no ha sido reportado en zonas bajas. Este género es de gran importancia forense en Bogotá ya que es uno de los primeros Calliphoridae colonizadores de cadáveres; pese a la importancia del género como indicador forense, los estudios en Colombia que incluyen a *Compsomyiops*, son de corte taxonómico, de evaluación de la sinantropía o de sucesión entomológica (Velásquez, 2007. Bello *et al.*, 2008).

Para conocer aspectos de la datación de la muerte en zonas andinas frías particulares como el municipio de Pasto, debe tenerse en cuenta que la tasa de desarrollo de un insecto, bajo determinada temperatura, es diferente entre especies, incluso entre aquellas estrechamente relacionadas, así mismo, el tiempo de desarrollo puede diferir entre regiones geográficas (Grassberger & Reiter, 2001. Lecheta, 2012). Por lo tanto, es necesario evaluar el ciclo de vida de una especie bajo condiciones climáticas específicas, de manera que los resultados obtenidos, sean aplicables en investigaciones médico-legales desarrolladas en la zona geográfica asociada al cadáver. Identificar con exactitud las especies que se encuentran en un cadáver, la reconstrucción de las temperaturas de la escena del crimen y conocer los datos del desarrollo de los insectos inmaduros de un cadáver, es esencial para permitir que el entomólogo calcule la edad de un insecto en la escena de muerte y con esto logre una determinación concluyente del IPM (Lecheta, 2012).

La importancia de los Calliphoridae radica en su biología; los estadios inmaduros, se alimentan de cadáveres y muestran preferencia por determinadas fases de descomposición en las que se encuentra el cuerpo (Flórez & Wolff, 2009); el análisis de estos estadios, permite determinar el intervalo post mortem a partir de la edad de las larvas presentes en el cadáver, mediante la correlación entre factores climáticos como la temperatura y el instar larval de las especies presentes desde el momento de la detección del occiso (Catts & Goff, 1992. Nabity *et al.*, 2006. Vélez & Wolff, 2008).

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 se propone determinar los grados-día acumulados necesarios para alcanzar cada fase de desarrollo de *C. arequipensis* y elaborar curvas de crecimiento y desarrollo para determinar el tiempo de su ciclo de vida en condiciones controladas de temperatura, teniendo en cuenta la temperatura promedio, máxima y mínima registrada para el municipio de Pasto que permitan la determinación de intervalos postmortem acertados en el entorno local. Los resultados obtenidos brindaran una herramienta confiable y aplicable que apoye los procesos investigativos de datación de la muerte en procesos propios de la medicina legal.

5. MARCO TEORICO

La muerte de un individuo lleva consigo una serie de cambios y transformaciones fisicoquímicas que hacen de él un ecosistema dinámico y único al que van asociados una serie de organismos necrófagos, depredadores, omnívoros y accidentales que llegan de forma sucesiva en el tiempo dependiendo del estado de descomposición del cadáver. Dentro de estos, las familias de Diptera: Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae; los Coleoptera: Silphidae, Dermestidae, Scarabaeidae y los Hymenoptera: Formicidae de hábitos necrófagos, son la categoría más importante pues permiten establecer el tiempo de muerte, al determinar el estado de sucesión (Catts & Goff, 1992. Wolff *et al.*, 2001. Daza & Yusseff, 2003).

Le siguen en importancia; los depredadores y parasitoides de las especies necrófagas, que pueden ser tan voraces como para eliminar las especies competitivas, y finalmente los incidentales, que usan el cadáver como una extensión de su hábitat. Estos organismos provienen de la vegetación circundante o del subsuelo (Catts & Goff, 1992. Wolff *et al.*, 2001. Daza & Yusseff, 2003).

El reconocimiento de las especies asociadas a un cadáver, el patrón y el tiempo de llegada de los insectos al lugar, la oviposición por parte de las hembras y el conocimiento de las tasas de desarrollo larval, dan un indicio del tiempo aproximado de muerte, el posible traslado de un cadáver y en algunos casos, la negligencia en el cuidado de niños o ancianos (Daza & Yusseff, 2003. Beltrán & Navarro, 2011).

Diptera es uno de los órdenes megadiversos de insectos incluyendo aproximadamente 152.000 especies descritas. Para la región neotropical, se han reportado cerca de 24.000 especies. Sumado a esto su morfología y hábitos diversos como polinizadores, depredadores, parasitoides, descomponedores de material orgánico animal y vegetal, les confiere un papel ecológico importante en el reciclaje de nutrientes en los ecosistemas; algunos de importancia médica y veterinaria corresponden a las especies que producen miasis en aves y mamíferos entre ellos al hombre, también pueden ser transmisores mecánicos de virus o bacterias causantes de enfermedades (Pape *et al.*, 2004. Salazar-Ortega *et al.*, 2012).

El proceso de descomposición de un cadáver, supone la ocurrencia de una serie de cambios químicos y físicos que resultan atractivos para grupos particulares de artrópodos. El análisis de las poblaciones de estos organismos ha sido utilizado como un criterio válido para el cálculo del intervalo postmortem, que consiste en la estimación de los tiempos máximo y mínimo probables que tienen lugar entre el deceso de un cuerpo y el hallazgo del cadáver (Calderón *et al.*, 2004).

El análisis de estos insectos se ha convertido en una herramienta de apoyo para las investigaciones legales y ha adquirido gran reconocimiento por los investigadores forenses. Los insectos, particularmente las moscas verde-azules (Calliphoridae), suelen ser las primeras en llegar al cadáver para ovipositar y alimentarse de heces, sangre, moco, orina, y otros fluidos. A medida que la descomposición continúa, otros insectos llegan al cuerpo para alimentarse y poner sus huevos. Para un lugar y época del año dados, las especies de insectos y otros artrópodos son relativamente constantes y sus patrones de desarrollo como los estadios larvales y el tiempo de duración de cada instar, son predecibles. Entendiendo estos patrones, el entomólogo puede dar al forense y a los funcionarios de medicina legal un tiempo de muerte notoriamente aproximado (Daza & Yusseff, 2003).

Las moscas de la familia Calliphoridae cuentan con aproximadamente 1000 especies, de las cuales 126 están en el Neotrópico, la familia está compuesta por cinco subfamilias: Calliphorinae, Luciliinae, Chrysomyiinae, Melanomyiinae y Mesembrinellinae además de algunas especies introducidas de Polleniinae (Pape *et al.*, 2004). Adicional a su amplia distribución, se caracterizan por colonizar rápidamente los cadáveres en intervalos que pueden ir desde minutos hasta unas cuantas horas a partir del momento de la muerte. Por esta razón, la presencia o ausencia de huevos, o formas larvales de estos dípteros constituyen hallazgos aplicables en los análisis forenses (Calderón *et al.*, 2004. Pinilla *et al.*, 2012).

La familia Calliphoridae está integrada por un grupo de dípteros muscoideos que en sus fases larvales se alimentan de materia orgánica proveniente de tejidos animales, aunque pueden hacerlo también de cualquier otro sustrato rico en proteínas. Pueden desarrollarse en cadáveres de vertebrados, residuos urbanos, excrementos humanos y de animales domésticos, alimento para mascotas, etc. Una hembra fertilizada coloca una puesta con varios huevos en lugares húmedos y

poco expuestos del sustrato. Si se trata del cadáver de un vertebrado, la oviposición se realiza en aberturas corporales naturales como la boca, la nariz u otras. Si es un animal vivo se efectúa en heridas y tejidos necrosados (Catts & Goff, 1992. Centeno, 2013).

El crecimiento de los insectos, por su condición ectotérmica, dependerá directamente de la temperatura externa: a mayor temperatura, habrá un desarrollo más rápido, en contraste, si la temperatura decrece, la velocidad de crecimiento lo hará también. Si la temperatura alcanza el umbral máximo o mínimo, el desarrollo se detiene hasta que las condiciones ambientales vuelvan a ser favorables. De ahí, que el conocimiento de la temperatura ambiental y los patrones de desarrollo, sean decisivos para el cálculo adecuado del periodo de actividad de los insectos (González *et al.*, 2011. García *et al.*, 2012).

Ya que los insectos no tienen control metabólico sobre su temperatura corporal, utilizan una porción de la energía ambiental (unidades térmicas) para crecer y desarrollarse, por lo tanto, uno de los métodos utilizados para la estimación del IPM, es el cálculo de los grados-día acumulados o ADDs, definidos como la cantidad de calor requerido por un organismo para completar los distintos estadios de desarrollo dentro de su ciclo vital. Los ADDs son el producto acumulado de tiempo y temperatura. Las temperaturas más altas generalmente aumentan las tasas de crecimiento y reducen el tiempo de desarrollo, sin embargo, existen dos umbrales que son limitantes, y por lo tanto, deben tenerse en cuenta debido a que el desarrollo se ve interrumpido por debajo o por encima de estas temperaturas, estos son, el umbral inferior de desarrollo o temperatura basal, y el umbral superior de desarrollo. Conociendo estos umbrales y los datos de las temperaturas diarias registradas en un lugar específico, es posible calcular el tiempo mínimo transcurrido desde la llegada de los insectos al cadáver (García & Honorato, 2006. González *et al.*, 2011. Lecheta, 2012. García *et al.*, 2012).

Los estadios inmaduros de Calliphoridae constituyen algunos de los hallazgos más importantes en el contexto de las investigaciones forenses, puesto que permiten determinar el IPM al funcionar como un reloj biológico si se considera el tiempo que tardan en pasar de un estadio a otro, sin embargo, para esto debe tenerse en cuenta las condiciones ambientales locales ya que el clima es un factor determinante tanto en el establecimiento de las especies como en la

duración del ciclo de vida de los insectos asociados a cadáveres. Por lo anterior, es importante realizar estudios en zonas delimitadas, con el fin de entender cómo se comporta la entomofauna ante condiciones climáticas específicas para una región (Catts & Goff, 1992. Daza & Yusseff, 2003).

Del huevo eclosiona una larva necrófaga de primer estadio (Larva I), que comienza a consumir la materia orgánica cadavérica y continúa su desarrollo hasta que muda y pasa al segundo estadio larval (Larva II). Muda nuevamente para continuar al tercer estadio larval (Larva III) donde alcanza su mayor tamaño. Transcurrido un tiempo, la larva III deja de alimentarse y generalmente se aleja del sustrato donde creció para enterrarse en el suelo, permaneciendo en quiescencia como prepupa que posteriormente se convertirá en pupa y finalmente en imago o adulto (Anexo 1) (Daza & Yusseff, 2003. Yusseff, 2007A. Centeno, 2013). Conocer estas fases y sus diferencias morfológicas es importante, ya que para pasar de una fase a otra, es necesario un tiempo determinado para cada temperatura (González *et al.*, 2011).

Sustentar los análisis con pruebas de carácter cuantitativo que se aplican a variables como la longitud de las muestras larvales y el tiempo de desarrollo, permite reunir elementos de interpretación, que sumados a otros análisis forenses como los requerimientos calóricos, logran generar una visión más precisa de la historia de exposición de un cadáver (Catts & Goff, 1992. Calderón *et al.*, 2004. Castelló *et al.*, 2014).

6. ANTECEDENTES

6.1 Primeras aplicaciones:

La utilización de insectos en la rama forense empezó a mediados del siglo XIX. En el año 1850 en Francia, Bergeret realizó la primera determinación del tiempo de muerte en un cadáver, basándose en el desarrollo de las larvas y pupas que contenía. Este fue uno de los primeros casos en que la evidencia entomológica fue admitida en un tribunal de justicia, el caso tuvo gran repercusión y potenció el interés por el conocimiento de la biología de los insectos y su contribución a la medicina forense (Yusseff, 2007A).

En 1894, Mégnin propone que un cuerpo expuesto al aire sufre una serie de cambios, y explica cómo los insectos, en forma de escuadras, van accediendo sucesivamente y en perfecto orden a los cadáveres (Yusseff, 2007A. Castelló *et al.*, 2014). Sin embargo, con el tiempo se obtuvieron evidencias que hicieron dudar de las escuadras de la muerte, y se puso de manifiesto la existencia de numerosos e incontrolables factores que pueden alterar el perfecto orden descrito por Mégnin, de esta manera, se hace visible que cada escenario es diferente y que merece un estudio individual. Con el fin de evaluar estos factores se trabajó con dos de ellos que en principio, suponían eran los más relevantes en los resultados del estudio entomológico, estos son el lugar y la temperatura; trabajos posteriores realizados en condiciones controladas de laboratorio complementaron los resultados, confirmando el efecto de la temperatura en la evolución de las larvas (Castelló *et al.*, 2014).

6.2 *Compsomyiops* como indicador forense:

Figuroa & Arício (2002), en su investigación desarrollada en Valdivia, Chile, determinaron que la presencia de *Compsomyiops fulvicrura* (Robineau-Desvoidy, 1830) es exclusiva de los meses de verano, donde se presenta con una fuerte heliofília (el 95,7% fue capturada en las trampas expuestas al sol). Adicionalmente encontraron que la especie mostró

especial atracción por el ambiente semirural, lo que la califica como una mosca hemisinantrópica.

Trigo (2006), describió larvas de segundo y tercer instar y el pupario de *C. fulvicrura*, a partir de material colectado en un área semirural de Tandil (Buenos Aires, Argentina), durante un experimento de sucesión de fauna sarcosaprófaga. Aportó nuevos caracteres diagnósticos de *C. fulvicrura*, *Calliphora vicina* Robineau-Desvoidy, 1830, *Phaenicia sericata* (Meigen, 1826), *Cochliomyia macellaria* (Fabricius, 1775) y *Paralucilia pseudolyrcea* (Mello, 1969), especies que se pueden hallar sobre un cadáver.

Velásquez (2007), estudio los artrópodos asociados con carroña en Venezuela usando ratas criadas en laboratorio las cuales fueron expuestas en ecosistema de sabana y hábitats de bosque de niebla en el estado de Miranda. Encontró diferencias en la composición taxonómica de los ecosistemas estudiados. Scarabaeidae, Silphidae, Micropezidae, Phoridae, Vespidae y una especie de hormiga fueron colectados solo en el bosque de niebla. *Dermestes maculatus* De Geer, 1774, *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819), Termitidae y diferentes especies de hormigas fueron encontradas solo en la sabana. Catorce especies fueron consideradas por ser las principales de importancia forense: *D. maculatus*, *Oxelytrum discicolle* (Brulle, 1840), *Compsomyiops* sp., *Calliphora* sp., *C. macellaria*, *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819), *Phaenicia cuprina* (Wiedemann, 1830), *Phaenicia sericata* (Meigen, 1826), *Phaenicia eximia* (Wiedemann, 1819), *Fannia* sp. Robineau-Desvoidy, 1830, *Puliciphora* sp. Dahl, *Megaselia scalaris* Loew, 1866, *Ravina* sp. Desvoidy 1863 y *Sarcophaga* sp. Meigen, 1826.

6.3 Estudios en Colombia

En Colombia, la mayoría de estudios que involucran la entomología forense se han realizado en Antioquia y Bogotá, además de algunos en Cali, Barranquilla, Santa Marta, Tunja, Popayán, Caquetá, Leticia y algunos municipios de Cundinamarca, y en menor medida en Nariño. Pese a que la entomología forense no es aún una herramienta legal en el país, cobra

relevancia dado que la recopilación de datos permite utilizarla como complemento en algunos casos forenses (Camacho, 2005. Beltrán & Navarro 2011).

6.3.1 Investigaciones que incluyen al género *Compsomyiops*

Daza & Yusseff (2003), caracterizaron la entomofauna asociada a la descomposición cadavérica empleando como biomodelo un cerdo (*Sus scrofa* Linneo, 1758) en el municipio de Tunja, en su investigación encontraron que los dípteros calliphoridos de los géneros *Compsomyiops* y *Chrysomya* Robineau-Desvoidy, 1830 constituyen el grupo más importante en el proceso de descomposición cadavérica por ser los principales consumidores del cadáver. El género *Compsomyiops* fue registrado como el más abundante en estado de larva, observación atribuida a las condiciones climáticas de la zona, consideradas como óptimas para la oviposición por parte de las hembras cuyas larvas son las principales consumidoras de tejidos blandos reportadas con frecuencia para latitudes elevadas.

Bello *et al.*, (2008), establecieron las primeras especies de Calliphoridae colonizadoras de cadáveres de cerdo doméstico en Bogotá, entre ellas están: *Compsomyiops verena* Walker, 1849, *Sarconesiopsis magellanica* (Le Guillou, 1842), *Lucilia sericata* (Meigen, 1826), *C. vicina*, y *Calliphora nigribasis* Macquart, 1851.

Pinilla *et al.*, (2012), evaluaron la sinantropía de Calliphoridae y Sarcophagidae (Diptera) durante la estación lluviosa y seca en Bogotá-Colombia en tres zonas: rural, urbana y boscosa. Encontraron que al interior de la familia Calliphoridae, la especie más abundante fue *C. vicina*, seguida por *L. sericata* y *C. verena*. *C. nigribasis* no fue asociada con asentamientos humanos es decir, fue considerada como especie asintrópica, mientras que *S. magellanica* estuvo en las tres zonas evaluadas por lo que fue considerada hemisintrópica. Registraron por primera vez en Bogotá a *Roraimomusca roraima* Townsend, 1935, especie asintrópica. En cuanto a la familia Sarcophagidae, colectaron tres especies *Ravinia rufipes* Townsend, 1917, *Ravinia colombiana* Lopes, 1962 y *Boettcheria* sp1 Parker, 1914, las cuales fueron abundantes en las zonas rurales y

boscosas; la primera fue caracterizada como hemisinantrópica, mientras que las dos restantes fueron sinantrópicas.

6.3.2 Sucesión entomológica:

El primer trabajo en Colombia relacionado con la entomología forense lo realizó Olaya (1999), determinando la sucesión entomológica en los cadáveres de dos canidos en la ciudad de Cali, encontró que los factores medioambientales del macrohábitat y el microhábitat son determinantes de la abundancia y frecuencia de aparición de los insectos asociados al cadáver así como también las características y la duración de cada etapa de descomposición.

Posteriormente Wolff *et al.*, (2001), determinaron la sucesión de insectos en carroña usando como modelo un cadáver de cerdo en Medellín, Colombia. Durante el muestreo, identificaron cinco fases de descomposición y colectaron los siguientes órdenes y familias: Diptera: Calliphoridae, Muscidae, Piophilidae, Sarcophagidae, Syrphidae, Otitidae. Hymenoptera: Apidae, Formicidae, Halictidae, Mutilidae, Vespidae. Coleoptera: Staphylinidae, Histeridae, Carabidae, Scarabaeidae, Silphidae, Dermestidae, Cleridae, Nitidulidae. Dermaptera: Forficulidae. Hemiptera: Gelastocoridae, Coreidae. Lepidoptera: Hesperidae.

Beltrán & Navarro (2011), estudiaron el patrón sucesional de insectos en cadáveres de ratas Wistar en un Bosque húmedo Premontano de Ibagué – Colombia donde evaluaron el patrón sucesional en los insectos, y el tiempo de aparición de cada una de las especies. Encontraron que la mayor abundancia de dipteros fue de la familia Calliphoridae, dentro de la cual, *Lucilia peruviana* (Robineau-Desvoidy, 1830) fue la especie colonizadora inicial y una de las más abundantes, *Lucilia eximia* (Wiedemann, 1819) presentó el mayor número de individuos y determinaron que *Piophila casei* (Linnaeus, 1758) puede considerarse relevante en estudios forenses, pues su presencia puede caracterizar el estado avanzado de descomposición.

6.3.3 Listados de especies:

Pape *et al.*, (2004), elaboraron listados de especies del orden Diptera pertenecientes a las familias Calliphoridae, Oestridae, Rhinophoridae y Sarcophagidae, donde incluyen la distribución neotropical por países así como la distribución geográfica dentro de Colombia.

Salazar-Ortega *et al.*, (2012), elaboraron una lista de moscas necrófagas del área urbana del municipio de Medellín, Colombia, en total registraron 27 especies distribuidas en cuatro familias de las cuales, Calliphoridae y Sarcophagidae fueron las que presentaron mayor riqueza. *Hemilucilia semidiaphana* Rondani, 1850 fue reportada por primera vez en Medellín.

6.3.4 Ciclos de vida y evaluación de grados día acumulados:

Camacho (2005), evaluó la sucesión de la entomofauna cadavérica y el ciclo vital de *C. vicina* de la familia Calliphoridae como primera especie colonizadora, utilizando cerdo blanco (*Sus scrofa*) en Bogotá. En su investigación realizó una aproximación al cálculo del Intervalo postmortem mediante la elaboración de una tabla de probabilidad de aparición de familias a lo largo de los días de muestreo y a través del seguimiento del ciclo de vida de *C. vicina*. Encontró que los órdenes Diptera y Coleoptera fueron los más abundantes (en número de familias y de individuos) y que la duración del ciclo de vida de la especie estudiada fue de 38 días. La investigación demostró la eficacia de las pruebas realizadas en la resolución de un caso forense al aplicar sus resultados a un caso real en el que se calculó el tiempo de muerte utilizando las curvas de crecimiento y desarrollo en conjunto con la tabla de probabilidad.

Vélez & Wolff (2008), estudiaron el crecimiento de cinco especies de Diptera (Calliphoridae) de importancia forense en Colombia en condiciones de campo semicontroladas, los muestreos se realizaron en la Isla Tintipan (Sucre), municipio de Gómez Plata (Antioquia), ciudad de Medellín y el Parque Nacional Chingaza (Cundinamarca). A partir de la longitud de las larvas y los intervalos de tiempo para cada estado inmaduro, elaboraron curvas de crecimiento larval de las especies *L. eximia*, *C. macellaria*, *C. albiceps*, *Chrysomya megacephala*

(Fabricius, 1794) y *C. nigribasis*. Encontraron que las altas temperaturas aceleran el crecimiento y desarrollo, mientras que las bajas temperaturas lo atrasan.

Lecheta (2012), determino el tiempo de desarrollo, las exigencias térmicas de las formas inmaduras y el modelo de crecimiento de *S. chlorogaster* usando el peso y longitud de las larvas en Curitiba, Brasil. Encontró que la temperatura afectó significativamente el tiempo de desarrollo de huevo a adulto donde se observó una variación de 98,7 días a 10°C a 15 días a una temperatura de 30°C.

García *et al.*, (2012), estudiaron en México el ciclo de vida de *C. rufifacies* durante primavera y verano a través de la evaluación de la longitud y diámetro larval, adicionalmente, calcularon las unidades de calor acumuladas necesarias para completar el ciclo de desarrollo de la especie.

Roe (2014), estudió en Estados Unidos los grados día acumulados en el ciclo de vida de *L. sericata* y *P. regina*, encontró que el umbral mínimo de desarrollo para las dos especies se encuentra entre 7,5 y 10°C.

6.3.5 Taxonomía:

Mello (1968), realiza la primera descripción de especies del género *Compsomyiops* bajo el género *Paralucilia* (*Paralucilia boliviana* Mello, 1968 y *Paralucilia arequipensis* Mello, 1968). Posteriormente, el género fue revisado por Dear (1985), quien reconoce seis especies válidas: *Compsomyiops boliviana* Mello, 1968. (sinonimiza a *Paralucilia boliviana* con *Paralucilia arequipensis* Mello, 1968), *C. fulvicrura*, *Compsomyiops callipes* (Bigot, 1877), *C. verena*, *Compsomyiops alvarengai* (Mello 1968) y *Compsomyiops melloi* (Dear. 1985).

González *et al.*, (1998), realizó una revisión del género *Compsomyiops*, donde hace una crítica de los caracteres utilizados en la descripción de sus especies realizadas por Mello en 1968 y Dear en 1985. Los autores afirman que las especies del género parecen agruparse en un

complejo de formas sólo distinguibles por los caracteres externos de los machos y que las hembras resultan inidentificables. A partir de esto, proporcionaron una clave de las formas distinguibles para cada especie. Adicionalmente, se sinonimizó a *C. boliviana* (Mello, 1968) con *C. arequipensis* (Mello, 1968), siendo esta última la especie válida.

Amat *et al.*, (2008), presentaron una clave dicotómica ilustrada para la identificación taxonómica de 12 géneros y 29 especies de califóridos (Diptera: Calliphoridae) presentes en Colombia entre las que se encuentra *C. arequipensis*.

Buenaventura *et al.*, (2009), presentaron una clave para la identificación de machos de 16 géneros de Sarcophagidae de importancia forense en Colombia, y realizaron observaciones acerca de su biología y distribución.

Flórez & Wolff, (2009), elaboraron una clave dicotómica ilustrada para identificar 13 especies de larvas de Calliphoridae de importancia forense en Colombia, donde se incluye el género *Compsomyiops* representado por la especie *C. verena*.

Amat, (2009), presentó información taxonómica, geográfica y ecológica de 21 especies de califóridos de las subfamilias Chrysomyinae y Toxotarsinae encontradas en Colombia. Incluye las especies *C. verena* y *C. arequipensis*.

6.3.6 Sinantropía:

Montoya *et al.*, (2009) hacen referencia a la sinantropía de Calliphoridae del municipio La Pintada, Antioquia. Donde colectaron 2406 individuos, pertenecientes a 10 especies. *C. megacephala* mostró fuerte preferencia por asentamientos urbanos densos. *C. macellaria*, *L. eximia* y *C. albiceps* fueron eusinantrópicas mostrando preferencia por asentamientos humanos. *H. semidiaphana* mostró rechazo por los asentamientos humanos (asinantrópica). Especies como *Cochliomyia hominivorax* (Coquerel, 1858), *Chloroprocta idioidea* (Robineau-Desvoidy, 1830), *L. cuprina*, *Hemilucilia segmentaria* (Fabricius, 1805) y *P. pseudolyrcea* fueron poco abundantes y no lograron determinar su índice de sinantropía. Registraron por primera vez en Colombia a *P.*

pseudolyrcea. Los investigadores proponen a *P. pseudolyrcea* y *H. segmentaria* como especies marcadoras de ambientes de bosque y a *L. cuprina* como especie marcadora de ambientes urbanos para su utilización en casos de entomología forense en el municipio.

Amat (2010), realizó un trabajo de moscas asinatóricas de las familias Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae y Fanniidae en tres paisajes diferentes en la Amazonia Colombiana. Encontró cuatro familias y 19 especies. Calliphoridae fue la familia más abundante y Sarcophagidae la que mostro mayores valores de riqueza, adicionalmente, registró por primera vez para Colombia las especies *Mesembrinella batesi* (Aldrich, 1922) y *Fannia femoralis* (Stein, 1898).

6.3.7 Variación temporal en dípteros necrófagos:

Amat *et al.*, (2013), determinaron la variación temporal de la abundancia en familias de moscas carroñeras (Diptera: Calyptratae) del Valle de Aburrá, departamento de Antioquia. Encontraron un total de 33.834 moscas; la tendencia de frecuencia de las familias Calliphoridae (39%), Sarcophagidae (23%), Fanniidae (18%), Muscidae (16%), otras familias (4%) se mantuvo a través del año excepto en marzo, mayo y agosto donde la familia más abundante fue Sarcophagidae. No se encontraron diferencias significativas de abundancia entre época climática, ni entre las localidades de muestreo, sin embargo, las diferencias fueron notorias por mes de muestreo, donde la familia Calliphoridae resulto ser la más frecuente.

6.3.8 Investigaciones en Nariño:

En el departamento de Nariño, las investigaciones en entomología forense han sido limitadas; en el 2008, Salazar-Ortega caracterizó la entomofauna sucesional asociada a la descomposición de un cadáver de cerdo *S. scrofa* en condiciones de campo, la investigación se llevó a cabo en Consacá, Nariño. En su trabajo encontró que las familias Calliphoridae y Sarcophagidae fueron las colonizadoras iniciales del cadáver. Para la familia Calliphoridae registró las especies *C. albiceps*, *C. rufifacies*, *C. putoria* y *Lucilia* sp., de las cuales *C. albiceps*

y *Lucilia* sp. Robineau-Desvoidy, 1830 fueron las más abundantes. El orden Coleoptera, estuvo representado por las familias: Histeridae, Staphylinidae, Silphidae, como depredadores y Dermestidae como necrófago.

Posteriormente, Granja (2008), evaluó la influencia de luz artificial nocturna y de variables ambientales en la oviposición de dípteros necrófagos (familia: Calliphoridae) de importancia forense en la vereda El Chorrillo, municipio de Chachagüí, Nariño. Encontró que la temperatura y la humedad relativa son variables determinantes en la actividad de vuelo y oviposición de *L. eximia*, la cual mostró mayor actividad durante el día, especialmente cuando la temperatura se encontraba en sus máximos umbrales y la humedad relativa era baja. Contrariamente, en la noche a temperaturas bajas y humedad relativa superior al 74%, encontró que la especie entra en estado de letargo el cual le impide desplazarse, observación que corroboró su marcada actividad diurna.

7 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 *Compsomyiops arequipensis* (Mello, 1968)

El género *Compsomyiops* se seleccionó con base en registros anteriores del género como buen indicador del intervalo postmortem para zonas andinas frías de Colombia similares a las encontradas en el municipio de Pasto, ya que se ha asociado a cadáveres en descomposición situados en zonas altas (Yusseff, 2007A), adicionalmente, se ha reportado al género como uno de los primeros calliphoridos en llegar a los cuerpos sin vida (Velásquez, 2007. Bello *et al.*, 2008). El género *Compsomyiops* y particularmente la especie *C. arequipensis* resulto ser la más abundante en el premuestreo realizado en el Centro Ambiental Chimayoy, además de ser una de las primeras especies en llegar a las trampas cebadas con vísceras en descomposición.

La identificación de la especie fue realizada mediante el análisis de caracteres morfológicos externos tanto de machos como de hembras, y confirmada mediante la observación de genitalias de los machos adultos obtenidos a partir de cada tratamiento de temperatura evaluado. La identificación de la especie, fue realizada teniendo en cuenta las claves de Gonzáles *et al.*, (1998) y Amat (2009).

7.2 Fase de campo

La fase de campo se llevó a cabo en el Centro Ambiental Chimayoy localizado en el corregimiento Morasurco, municipio de Pasto, departamento de Nariño a una altura de 2.700 msnm, los datos ambientales reportados por la estación meteorológica fueron 13.3°C temperatura promedio y 60-88% humedad relativa (IDEAM, 2014). Inicialmente, se realizó un premuestreo con el fin de obtener la información necesaria de *C. arequipensis* respecto a su efectividad en la detección de vísceras en descomposición y a su presencia en el municipio de Pasto.

7.2.1 Captura de adultos y obtención de huevos

Se realizaron capturas de moscas necrófagas de la familia Calliphoridae con trampas tipo Ferreira (Imagen 1) cebadas con pescado y vísceras de pollo en descomposición ubicadas en el Centro Ambiental Chimayoy perteneciente al municipio de Pasto.

Imagen 1. Trampa tipo Ferreira para captura de moscas necrófagas (Foto: Castro J. 2015).



Las trampas fueron elaboradas con botellas de refresco PET (polietileno tereftalato). Cada trampa contiene tres cámaras, la inferior donde se coloca el atrayente está cubierta con una malla de tal forma que las moscas no puedan acceder al cebo, la segunda cámara o cámara central contiene cuatro orificios por donde las moscas pueden ingresar y llegar hasta la tercer cámara (libre de alcohol) formada con un embudo invertido, donde se realiza la captura de los adultos.

Los ejemplares capturados fueron llevados al laboratorio de entomología de la Universidad de Nariño donde se sedaron con éter, se separaron los individuos pertenecientes a la especie *C. arequipensis*, se sexaron y se mantuvieron en una jaula con recipientes con carne de res cubierto

parcialmente con papel aluminio para proporcionar a las moscas un lugar oscuro, protegido y húmedo el cual es preferido para realizar sus oviposiciones, adicionalmente, en la jaula se introdujo papel absorbente humedecido con una solución de dos partes de miel de abejas y 10 partes de agua para la alimentación de las moscas adultas para garantizar que sobrevivan (Yusseff, 2007B). Las masas de huevos obtenidas fueron trasladadas a cajas Petri con sustrato alimenticio para el momento en que se dé la eclosión.

7.3 Fase de laboratorio

El sustrato para la cría de larvas se realizó con base en la metodología de Catts & Haskell (1990). La composición del medio se describe a continuación:

Componente	Cantidad
Carne de res	140 gr
Leche en polvo	30 gr
Albumina de huevo	30 gr
Agente gelificante (agar)	5 gr
Formaldehido	1 ml
Agua a 65°C	597 ml

Las cajas Petri (100 x 15 mm) con el sustrato alimenticio y los huevos se situaron en cajas Petri de mayor tamaño (150 x 25 mm) en la que se depositó arena y aserrín (Imagen 2) con el fin de proporcionar un lugar adecuado para la pupación de las larvas (Yusseff, 2007B). Las muestras se dividieron en cuatro grupos, cada uno con diez repeticiones; cada grupo recibió un tratamiento de temperatura constante diferente (7, 13, 19 y 25°C \pm 1), seleccionados con base en las fluctuaciones de temperatura en el municipio de Pasto con una variación de seis grados entre cada tratamiento, teniendo en cuenta la temperatura mínima, máxima y promedio (IDEAM, 2014).

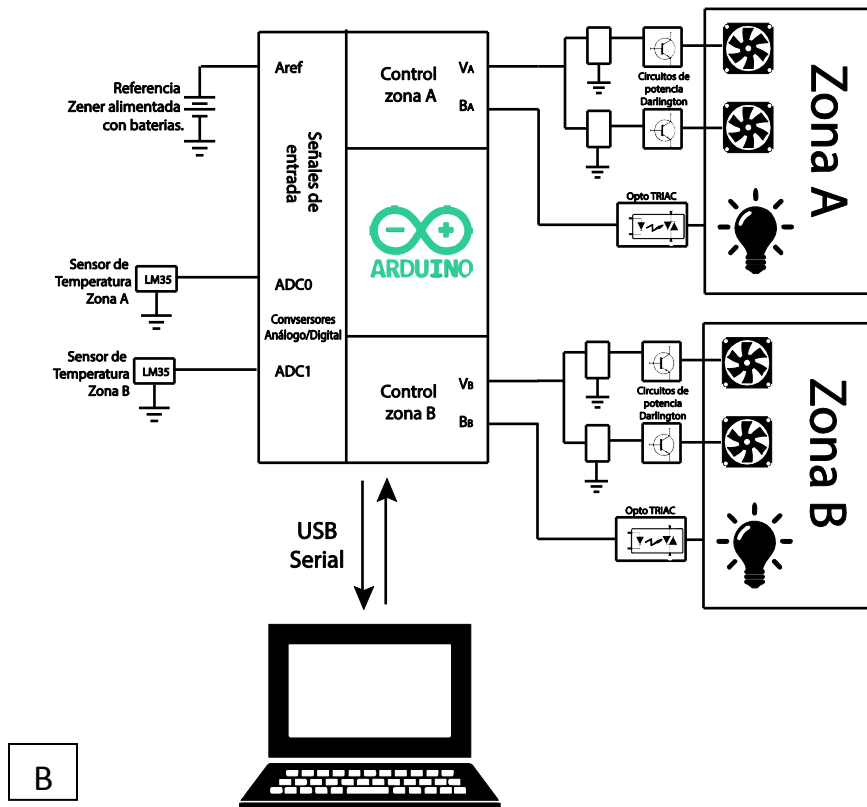
Imagen 2. Caja Petri (100 x 15 mm) con sustrato alimenticio y huevos de *C. arequipensis*. La caja Petri de mayor tamaño (150 x 25 mm) contiene arena y aserrín para la pupación de las larvas en fase migratoria. (Foto: Castro J. 2015).

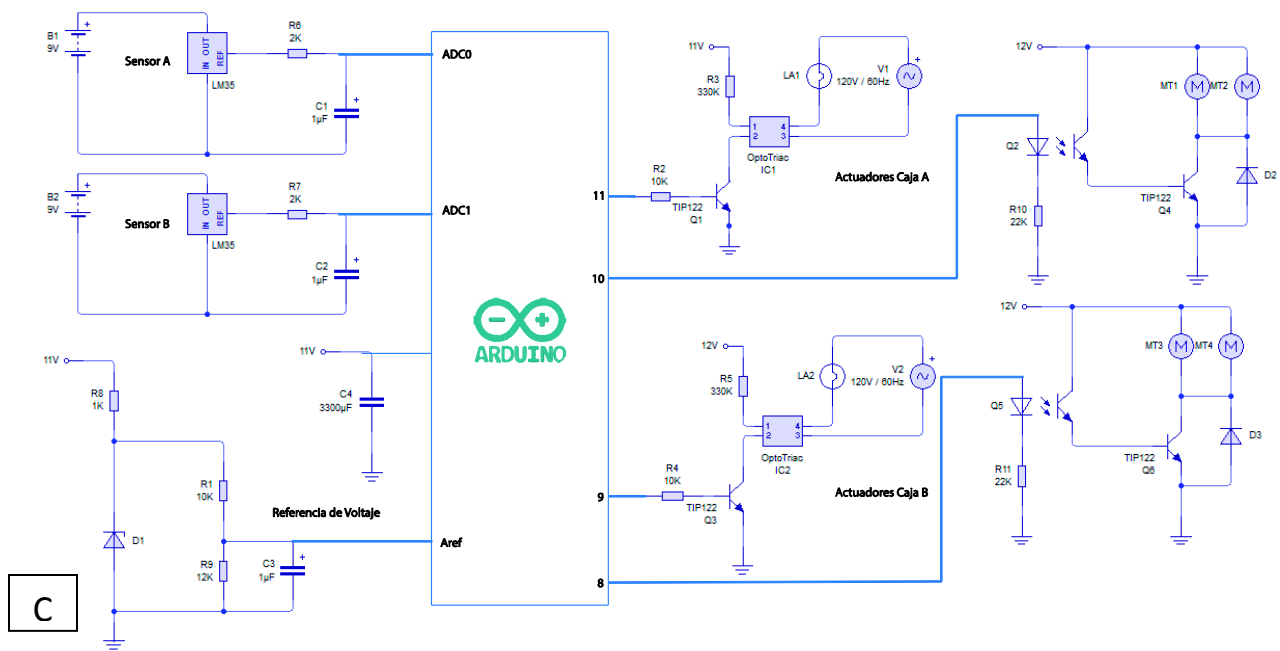


El seguimiento del ciclo de vida de *C. arequipensis* se realizó desde la oviposición hasta el momento de la emergencia del adulto.

Para obtener las temperaturas requeridas (7, 13, 19 y 25°C \pm 1), 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 (Figura 1).

Figura 1. A. Intercambiador de calor. B. Esquema resumido del circuito de los intercambiadores de calor automáticos. C. Circuito electrónico del sistema.





Para las temperaturas de 19°C y 25°C, el bombillo o los ventiladores se activan o desactivan automáticamente según la temperatura programada en cada nevera permitiendo mantener la temperatura constante, así, si ésta sube por encima de lo programado, se encienden los ventiladores para ingresar aire a temperatura ambiente (19°C aproximadamente), logrando disminuirla. En caso contrario, si la temperatura detectada por el sensor al interior del intercambiador térmico baja más de lo requerido, el bombillo enciende, aumentando la temperatura, en caso de que el interior de la caja se encuentre dentro de los valores deseados, el sensor lo detecta y hace que se desactiven tanto los ventiladores como el bombillo.

Las temperaturas bajas (7 y 13°C) se obtuvieron introduciendo hielo suficiente en cada caja para llevar la temperatura por debajo del nivel deseado, en caso que el valor bajara más de lo programado, los ventiladores se encienden haciendo que ingrese aire a temperatura ambiente (19°C aproximadamente) y de ser necesario encienden el bombillo permitiendo llegar a las neveras a la temperatura requerida; si la temperatura se encuentra por encima de la temperatura

programada, entonces el sistema desactiva bombillos y ventiladores hasta alcanzar la temperatura deseada con el hielo al interior de cada caja.

Los sensores LM35 dispuestos en cada intercambiador realizan un monitoreo permanente de temperatura (cada dos segundos) y según el valor evaluado, ejercen una acción: encender o apagar bombillos o ventiladores. En el anexo 2 se muestra la temperatura registrada en cada muestreo a los diferentes tratamientos de temperatura.

7.3.1 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 (Yusseff, 2007B. Ayón *et al.*, 2009).

7.3.2 Medición de la longitud larval:

Las larvas se midieron tres veces al día (7 am, 1 pm y 7 pm), para las mediciones, se tomó una larva por caja Petri para un total de 10 larvas por cada medición y por cada tratamiento de temperatura empleado, los datos de temperatura se registraron en cada muestreo. Las larvas fueron sacrificadas en agua caliente (80°/90°C) para evitar cambios en su longitud. La medición de la longitud larval se realizó con ayuda de un calibrador electrónico digital Stainless Hardened de 150 mm – Resolución 0.01mm. A partir de las medidas se obtuvieron curvas de crecimiento para cada tratamiento de temperatura. Paralelamente a esto, se elaboraron tablas de registro de la duración de cada estadio de desarrollo desde huevo hasta adulto. Los estadios de desarrollo larval se determinaron observando el número de aberturas estigmáticas de los espiráculos posteriores (anexo 2) (Grassberger & Reiter, 2001. Yusseff, 2007B. García *et al.*, 2012). Los inmaduros resultantes de las mediciones se preservaron en alcohol etílico al 70% (Yusseff, 2007B) y se depositaron en el Laboratorio de Entomología de la Universidad de Nariño.

7.3.3 Tiempo de pupación

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 (Yusseff, 2007B. Ayón *et al.*, 2009).

7.4 Cálculo de grados-día acumulados

Para el cálculo de los grados-día acumulados se utilizó la siguiente fórmula (Wall *et al.*, 1992).

$$\text{ADDs} : (T_a - T_o) * t$$

Donde :

T_a: temperatura ambiente

T_o: temperatura base

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

En esta investigación, la temperatura base o temperatura umbral mínima de desarrollo fue tomada como 10°C con base en lo referido para especies de Calliphoridae como *Chrysomya rufifacies* (Macquart, 1843) por García *et al.*, (2012), *L. sericata* y *Phormia regina* (Meigen, 1826) por Roe, (2014).

7.5 Análisis estadístico

Para estimar la edad de las masas larvales evaluadas en cada tratamiento de temperatura 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 (Yusseff, 2007B).

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%, posteriormente, se complementó el análisis 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 (25, 19, 13 y 7°C). El análisis fue realizado en el programa estadístico Past 2.16.

Los individuos pertenecientes a la especie *C. arequipensis* en cada fase de desarrollo (huevos, larvas instar uno, dos y tres, pupas y adultos) 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.

8 RESULTADOS

8.1 *Compsomyiops arequipensis*:

Las características principales según González *et al.*, (1998), y Amat (2009) para la determinación de la especie son:

Machos:

Ojos subholópticos y facetas oculares no llamativamente grandes; la frente en su parte más estrecha con cada parafacial igual o ligeramente más ancha que el diámetro del ocelo anterior, facetas anteriores normales, cercos y surestilos como en la imagen 3.

Hembras:

Manchas metálicas laterales presentes únicamente en el margen y en la superficie ventral del tercer al quinto tergo (Imagen 4).

Imagen 3. Macho de *C. arequipensis*, ojos subholópticos, cercos y surestilos característicos (González *et al.*, 1998, Amat 2009). (Foto: Castro J. 2015)



Imagen 4. Hembra de *C. arequipensis*, ojos dicópticos, manchas metálicas laterales en el margen del tercer al quinto tergo características (González *et al.*, 1998, Amat 2009). (Foto: Castro J. 2015).



8.2 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 473 horas (19,7 días); a 19°C el tiempo total de desarrollo fue de 621 horas (25,87 días); para el ciclo de desarrollo a 13°C el tiempo requerido fue de 1487 horas (61,95 días), los anteriores datos, se obtuvieron con un promedio de diez repeticiones. 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 1.

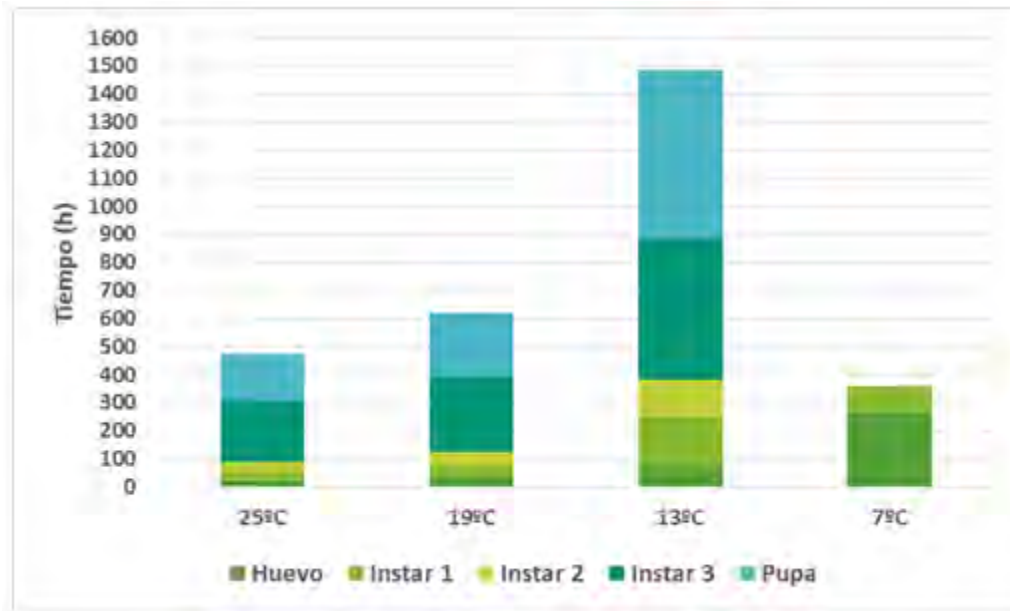
La duración promedio de la etapa larval a 25°C fue de 284 horas (11,8 días), a 19°C la fase larval duró 360 horas (15 días) y a 13°C fue de 819 horas (34.125 días).

A continuación se presenta el tiempo requerido a las cuatro temperaturas evaluadas para completar cada fase de desarrollo (tabla 1, figura 2).

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	-	-	-	-

Figura 2. Tiempo de desarrollo de la fase de huevo hasta la emergencia del adulto de *C. arequipensis* bajo cuatro regímenes de temperatura (a 7°C hubo muerte larval 96 horas después de la eclosión).



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 ($H_c=24.82$, $gl=9$, $p=4,07 \times 10^{-06}$). 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 la prueba 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

8.2.1 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 posterior 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 ($H_c=22.66$, $gl=9$, $p=1,202 \times 10^{-05}$), 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.

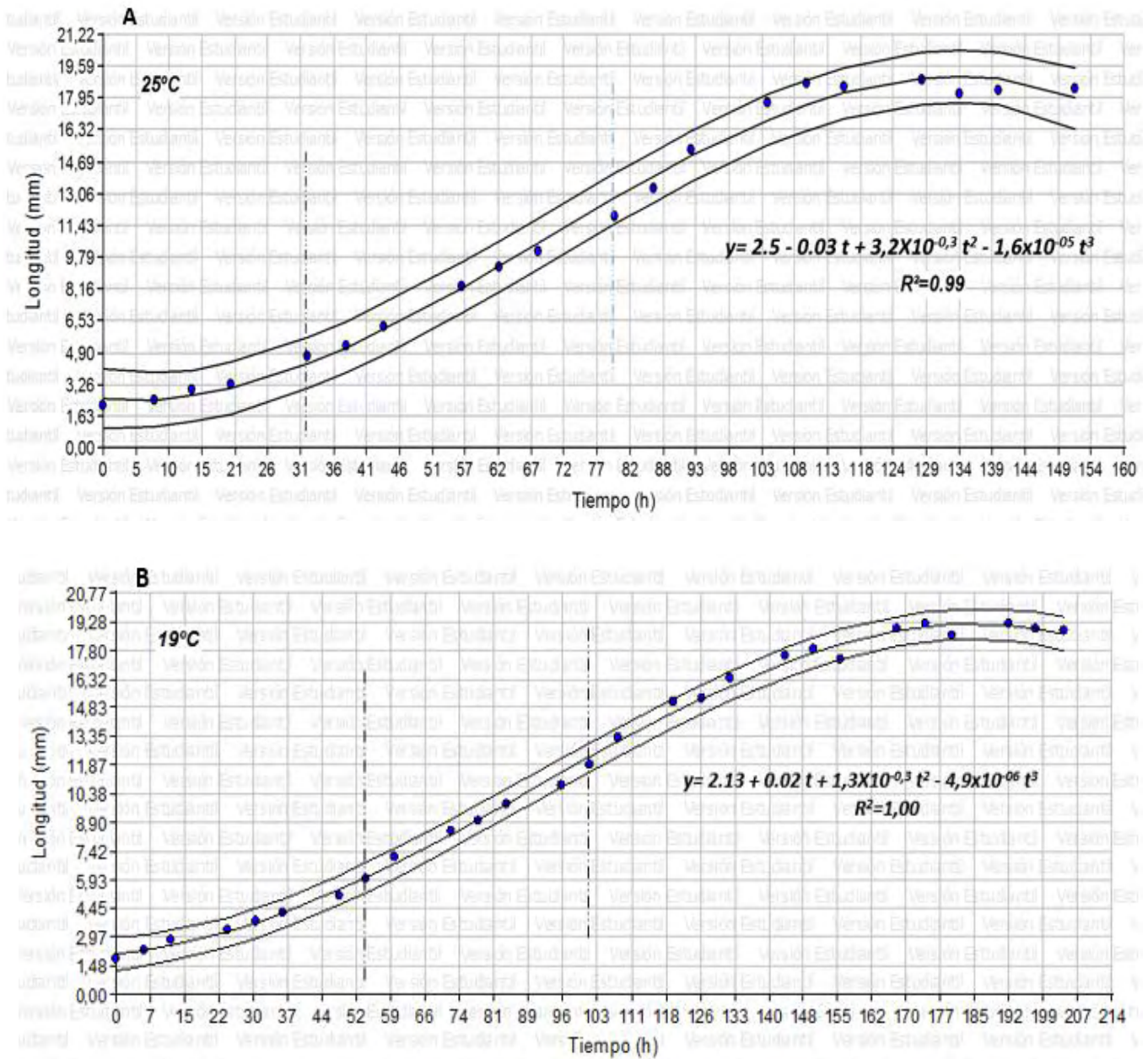
Temperatura	Instar 1	Instar 2	Instar 3	Pupa
25 y 13°C	0,0001254	0,0001659	0,0001538	0,0001383
25 y 19°C	0,05756	0,009089	0,03275	0,0001659
19 y 13°C	0,0001142	0,000164	0,0001707	0,0001293

8.3 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 3 A, B, C, D). De acuerdo con los anteriores valores, se comprobó que a mayor temperatura la duración del ciclo de desarrollo fue 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 4).

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 3. 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 Prepupa). Las líneas punteadas indican el cambio de estadio larval. En el anexo 3 se muestran los estadísticos asociados de cada curva de crecimiento y desarrollo.



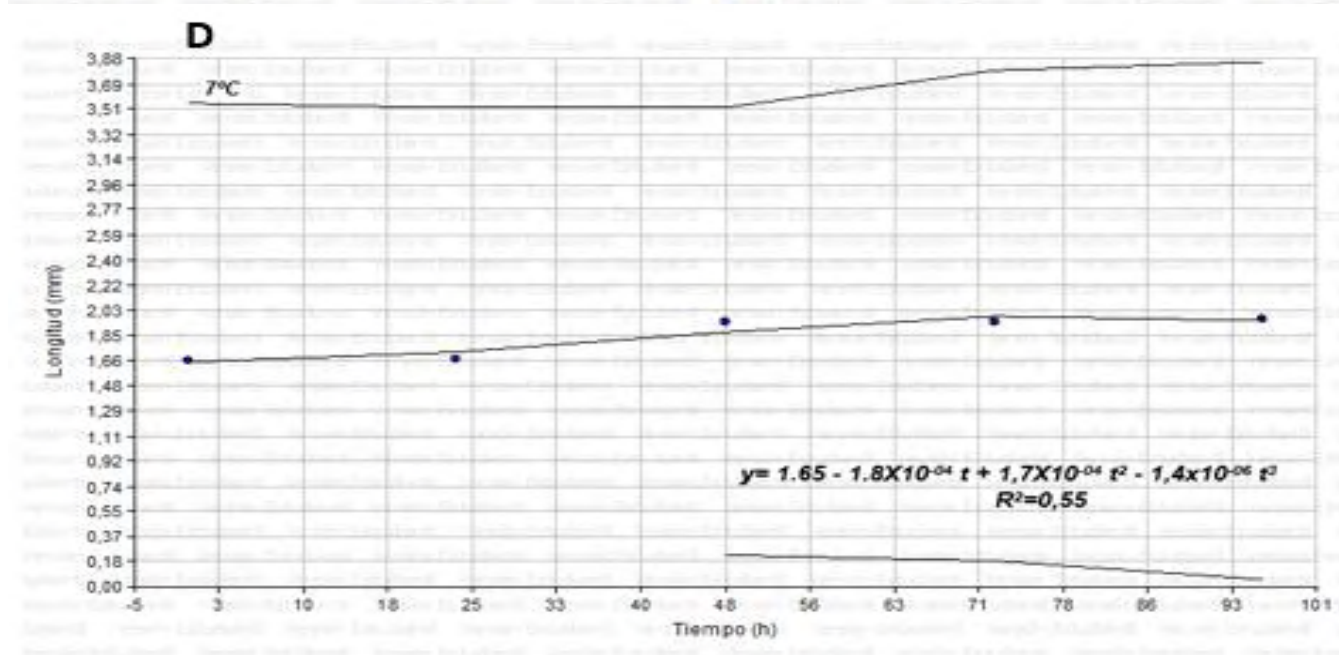
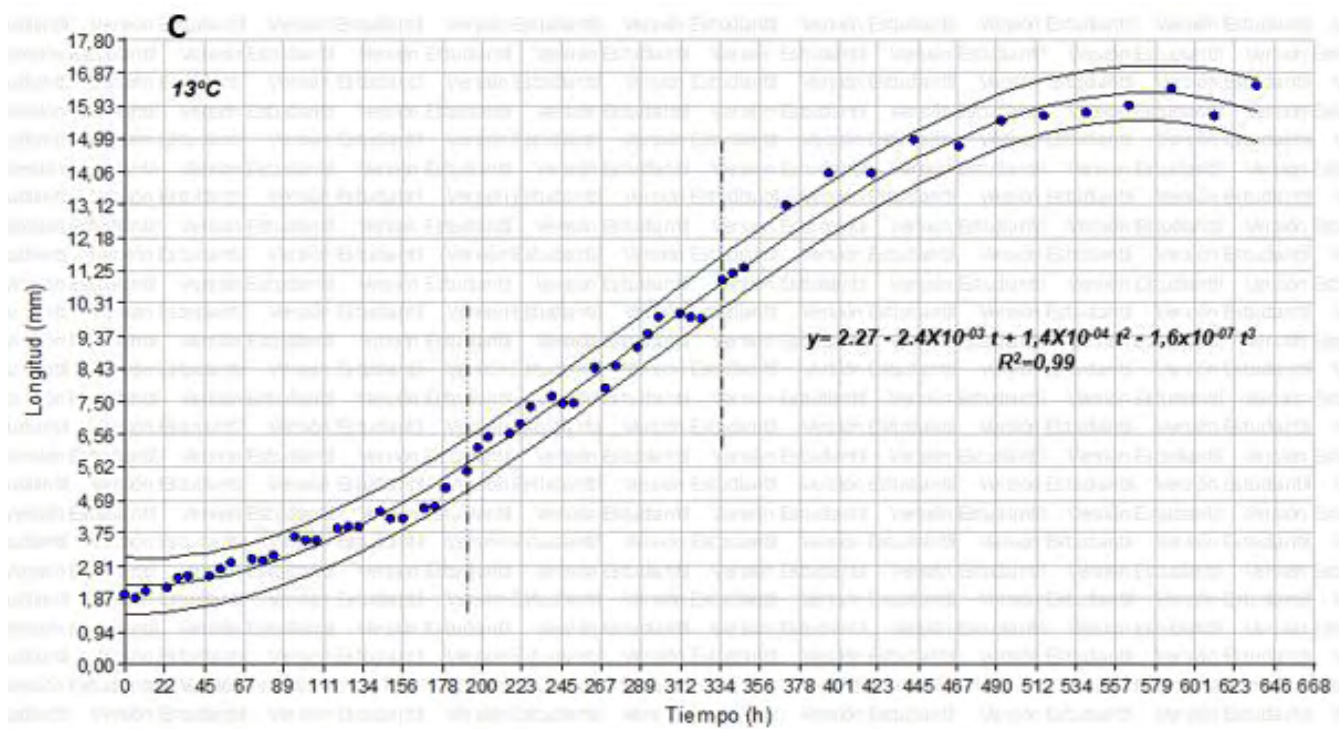
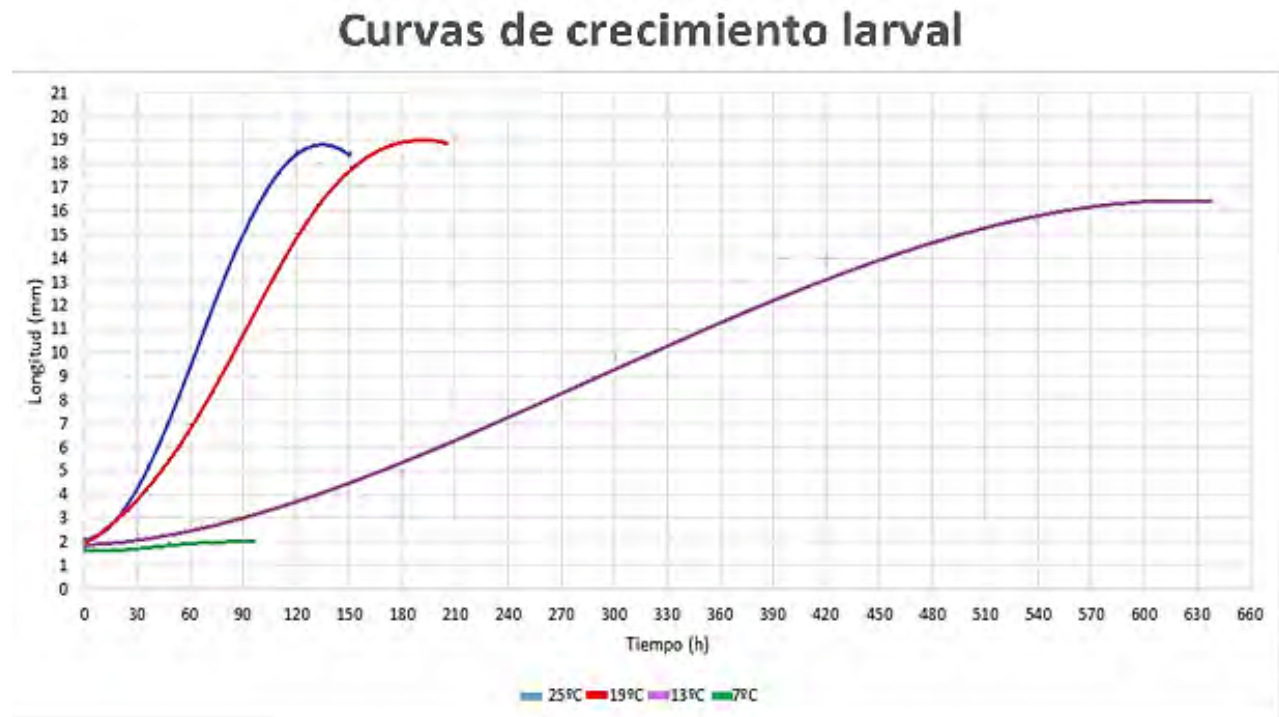


Figura 4. Comparación del tiempo de desarrollo de la fase larval a los cuatro tratamientos de temperatura (No incluye etapa post-alimentaria).

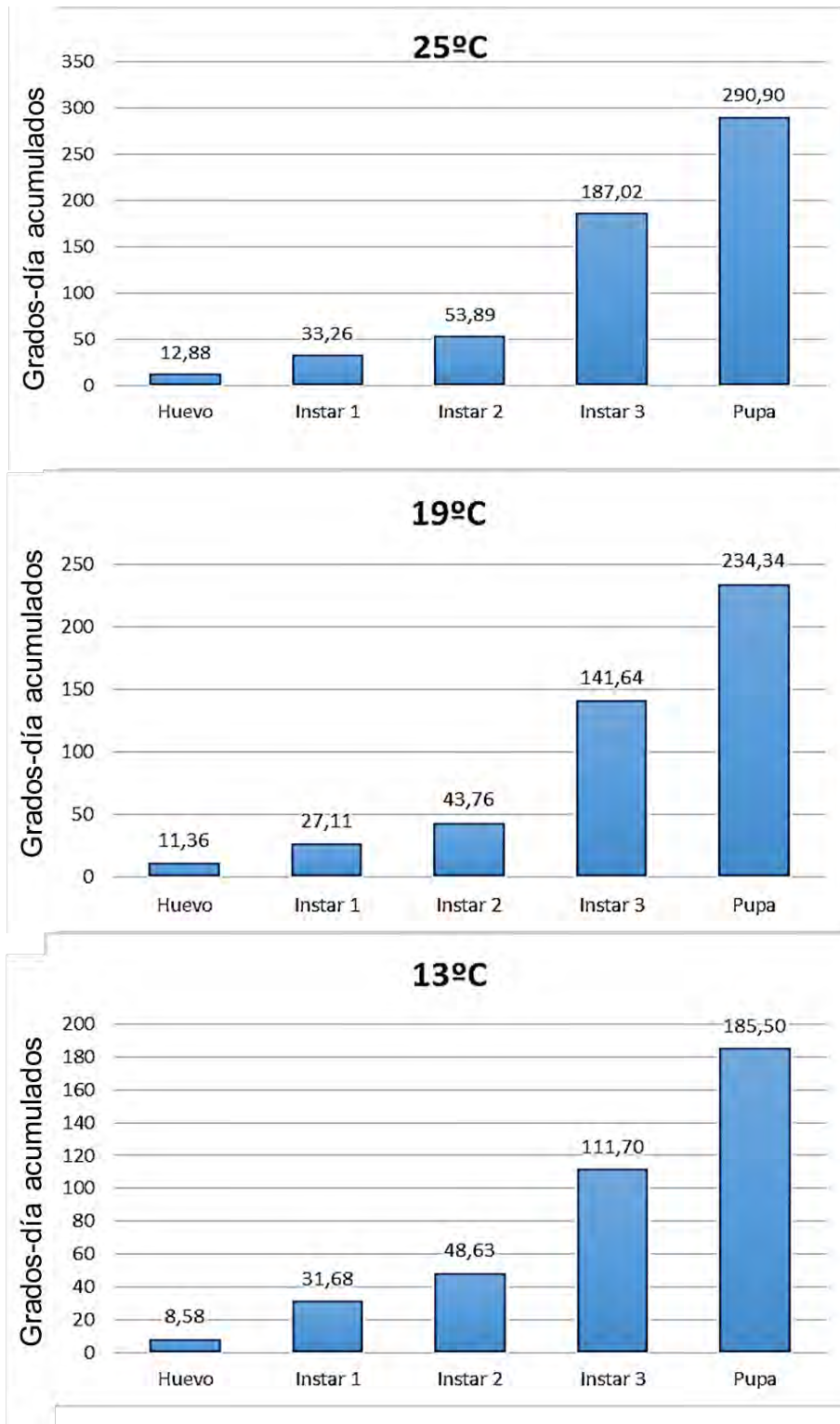


En la figura 4, se observa que a las temperaturas más altas (25 y 19°C) existe un crecimiento larval rápido evidenciando en las curvas cortas y con menor inclinación, en contraste a temperatura baja de 13°C, se observa una curva larga y bastante inclinada debido al mayor tiempo requerido para completar 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.

8.4 Requerimientos calóricos:

Los requerimientos calóricos expresados como grados-día acumulados para cada fase de desarrollo desde huevo hasta pupa, se muestran en la figura 5. 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 5. Grados-día acumulados por *C. arequipensis* bajo tres tratamientos de temperatura, el umbral mínimo de desarrollo fue tomado como 10°C.



8.4.1 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 ($H_c=18.1$, $gl=9$, $p=0,0001171$), en instar uno ($H_c=26.24$, $gl=9$, $p=2 \times 10^{-06}$), en instar tres ($H_c=24.04$, $gl=9$, $p=6,036 \times 10^{-06}$) y en pupa ($H_c=22.06$, $gl=9$, $p=1,617 \times 10^{-05}$). 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 ($H_c=3.913$, $gl=9$, $p=0,1413$).

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

9. DISCUSIÓN

9.1 *Compsomyiops arequipensis*

Tras el deceso de una persona, los insectos llegan al cadáver atraídos por el olor de los gases producto de la descomposición del cuerpo, el olor, es detectado por los insectos mucho antes de que el olfato humano pueda percibirlo (Bello *et al.*, 2008); el grupo reconocido por ser el primero en descubrir y colonizar el cuerpo sin vida, es la familia Calliphoridae (Camacho, 2005). Sin embargo, es importante conocer información específica para cada especie del grupo como la tasa de desarrollo, el tiempo de llegada al cadáver u orden de sucesión, las preferencias por el estado de descomposición del cuerpo y las preferencias por ciertas condiciones ambientales ya que cada especie se comporta de manera particular (Yusseff, 2007B).

En Colombia, Daza & Yusseff (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, sobre todo 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 dipteros necrófagos. Bello *et al.*, (2008), estableció las primeras especies colonizadoras de cadáveres de cerdo doméstico en Bogotá, entre las que encontró a *C. verena*.

En esta investigación, se encontró resultados similares a los de Daza & Yusseff (2003), y Bello *et al.*, (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 (2003) para el género *Compsomyiops*.

9.2 Tiempo de desarrollo

Según Bello *et al.*, (2008), el conocimiento de los datos de las especies colonizadoras y su estado de desarrollo, así como la información del estado de descomposición del cadáver, constituyen información útil para el forense en la identificación de la data de muerte.

Al ser los insectos organismos poiquiloterms, su desarrollo está fuertemente influenciado por la temperatura ambiental. Por lo que cuanto mayor es la temperatura, el desarrollo será más rápido y en consecuencia, el ciclo de huevo a adulto será más corto (Bello *et al.*, 2008), 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, esto no ocurrió a 7°C donde las pocas larvas que lograron eclosionar, murieron en instar uno. Bello *et al.*, (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 ectoterms, las temperaturas extremas interfieren con los procesos biológicos incluyendo el metabolismo y la regulación de las hormonas de crecimiento (Roe, 2014).

Lecheta, en su estudio encontró que *Sarconesia 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, (2007B), determino 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 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 (Byrd & Castner, 2001).

9.3 Curvas de crecimiento larval

En la estimación del intervalo post mortem, 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 largo (Bello *et al.*, 2008).

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 tener estas curvas, permite comparar el tamaño de las larvas encontradas en el cadáver con los valores obtenidos previamente y con esto estimar el intervalo postmortem de manera más precisa (Yusseff, 2007B).

Igual que lo encontrado por Yusseff (2007B) y García *et al.*, (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. Las larvas en fase migratoria, pueden también ser reconocidas mediante una disección dorsal de las larvas, donde se comprueba si existe un depósito de grasa subcuticular que impida la observación dorsal del tracto digestivo, dicho depósito es observable únicamente en las larvas migratorias, adicionalmente, es posible observar un vaciado del contenido digestivo que implica un acortamiento de la longitud de tracto digestivo relleno. Lo anterior es útil para determinar la llegada a la etapa post alimentaria cuando las larvas no pueden abandonar el cadáver por no encontrar condiciones adecuadas fuera de éste, por ejemplo, si el cuerpo se encontrara parcialmente sumergido en agua (González *et al.*, 2011).

En general, las temperaturas más bajas disminuyen la tasa de crecimiento y desarrollo de los insectos haciendo que se alargue el ciclo de vida (García *et al.*, 2012). En la tabla 1, se muestra el tiempo de desarrollo de cada una de las fases del ciclo desde huevo hasta la emergencia del imago y se observa que 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, (2008), García *et al.*, (2012) y Rodas, (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 (Yusseff, 2007B).

Resultados similares obtuvo Roe (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.*, (2010) encontró que los límites superiores de temperatura pueden producir pérdida de agua en el organismo, así como también la desnaturalización 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.

9.4 Requerimientos calóricos

Según Lecheta (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 5, 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.*, (2012) y *L. sericata* y *P. regina* por Roe, (2014).

García *et al.*, (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 prepupa, necesitaron 87 unidades de calor.

Gullan & Cranston (2005), sugieren que *Aedes aegypti* (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 ($14^{\circ}\text{C}=1008$ grados día), mientras que a mayor temperatura, el valor de los grados-día acumulados fue mayor ($36^{\circ}\text{C}=3882$ 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 (2005) y García *et al.*, (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.
- Se determinó que la duración del ciclo de vida de *C. arequipensis* a 25°C es de 19.7 días; a 19°C la duración es de 25.87 días y a 13°C el ciclo total es de 61.95 días y que los GDA a 25, 19 y 13°C, fueron 290.90, 234.34 y 185.50 respectivamente.
- 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*.
- Es fundamental tener en cuenta la temperatura ambiente y la temperatura del cadáver en la determinación del IPM ya que cada temperatura produce diferencias en la duración de los ciclos de vida y los requerimientos calóricos de *C. arequipensis*.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de la sucesión entomológica en el municipio de Pasto para determinar el tiempo de llegada de *C. arequipensis* a un cadáver y realizar la descripción de los estados inmaduros de esta especie con el objetivo de generar nuevo conocimiento en taxonomía que complementará los estudios previos para la identificación de la especie.
- Evaluar ciclos de desarrollo de *C. arequipensis* a temperaturas entre 8 y 12°C y a temperaturas superiores a 25°C con el fin de establecer los valores reales de los umbrales inferior y superior de desarrollo de esta especie.
- Realizar muestreos en diferentes zonas del departamento de Nariño donde se presume la presencia de *C. arequipensis*, con la finalidad de establecer su distribución geográfica para potencializar su importancia forense local.
- Estructurar una línea de investigación en entomología forense, con énfasis en Díptera que genere nuevo conocimiento en ciencia básica y aplicada dado el potencial de esta área en medicina legal.

LITERATURA CITADA

- Amat, E. (2009). Contribución al conocimiento de las Chrysomyinae y Toxotarsinae (Diptera: Calliphoridae) de Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80, 693-708.
- Amat, E. (2010). Notes on necrophagous flies (Diptera: Calyptratae) associated to fish carrion in Colombian Amazon. *Acta Amazonica*, 40(2), 397-400.
- Amat, E., Ramirez-Mora, M., Buenaventura , E., & Gómez-Piñerez, L. (2013). VARIACIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA EN FAMILIAS DE MOSCAS CARROÑERAS (DIPTERA, CALYPTRATAE) EN UN VALLE ANDINO ANTROPIZADO DE COLOMBIA. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(3), 463-472.
- Amat, E., Vélez , M., & Wolff, M. (2008). CLAVE ILUSTRADA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS GÉNEROS Y LAS ESPECIES DE CALIFÓRIDOS (DIPTERA: CALLIPHORIDAE) DE COLOMBIA. *Caldasia*, 30(1), 231-244.
- 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)
- Battán , M., Arnaldos, M., Rosso, B., & García , M. (2005). Estudio preliminar de la comunidad sarcosaprófaga en Córdoba (Argentina): aplicación a la entomología forense. *Anales de Biología*, 27, 191-201.

- 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.
- Beltrán, A., & Navarro, F. (2011). Sucesión de insectos en cadáveres de ratas Wistar (Muridae: *Rattus norvegicus*) (Berkenhout, 1769) en bosque húmedo premontano (Ibagué - Colombia). *Revista Tumbaga*, 6, 93-105.
- Buenaventura, E., Camacho, G., García, A., & Wolff, M. (2009). Sarcophagidae (Diptera) de importancia forense en Colombia: claves taxonómicas, notas sobre su biología y distribución. *Revista Colombiana de Entomología*, 35(2), 189-196.
- Byrd, J., & Castner, J. (2001). Forensic Entomology. The utility of arthropods in legal investigation. Washington D.C: CRC.
- Calderon, O., Troyo, A., & Solano, M. (2004). Poblaciones larvales de Califóridos como estimadores del intervalo post-mortem en un modelo experimental. Centro de Investigación en Enfermedades Tropicales (CIET). *Rev. Latinoam. de Derecho Médico y Medicina Legal*, 8(2), 43-51.
- 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.
- 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.

- Castelló, A., Adam, A., & Fancès, F. (2014). La entomología como ciencia forense: desde su origen a las granjas de cuerpos. *Gaceta Internacional de Ciencias Forenses*. Universitat de València. España. Unidad Docente de Medicina Legal.
- Catts, & Haskell. (1990). *Entomology and death: a procedural guide*. C. Clemson, South California. *Joyce's Print Shop*, 111-123.
- Catts, E., & Goff, M. (1992). Forensic entomology in criminal investigations. *Rev. Entomol*, 37, 253-272.
- Centeno, N. (2013). *Biología de las moscas Calliphoridae*. Tesis Doctoral (UNLP).
- 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.
- Dear, J. (1985). A revision of the new world Chrysomyini (Diptera: Calliphoridae). *Revta bras. Zool., S Paulo*, 3(3), 109-169.
- Ferraz, A., Gadelha, B., & Aguiar, V. (2010). Influência Climática e Antrópica na Abundância e Riqueza de Calliphoridae (Diptera) em Fragmento Florestal da Reserva Biológica do Tinguá, RJ. *Edited by Kleber Del Claro – UFU. Neotropical Entomology*, 39(4), 476-485.
- Figuerola, L., & Arício, E. (2002). Sinantropia de los Calliphoridae (Diptera) de Valdivia, Chile. *Neotropical Entomology*, 31(2), 233-239.

- Flórez, E., & Wolff, M. (2009). Descripción y Clave de los Estadios Inmaduros de las Principales Especies de Calliphoridae (Diptera) de Importancia Forense en Colombia. *Neotropical Entomology*, 38(3), 418-429.
- 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.
- 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 Zoológica Mexicana*, 28(1), 172-184.
- González , A., González , 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).
- González, D., Peris, S., & Mariluis, J. (1998). Notas sobre la taxonomía y distribución del género *Comptosyiops* TOWNSEND, 1918 (Diptera, Calliphoridae). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.)*, 94(1-2), 15-21.
- Granja , D. (2008). Influencia de luz artificial nocturna y de variables ambientales en la oviposición de dípteros necrófagos (familia Calliphoridae) de importancia forense en el municipio de Chachagüí, Vereda El Chorrillo. Universidad de Nariño.
- Grassberger, M., & Reiter, C. (2001). Effect of temperatura on *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) developmente with special reference to the isomegalen- and isomorphen-diagram. *Forensic Science International*, 120, 32-36.

Gullan, P., & Cranston, P. (2005). *The insects an outline of entomology* (3 ed.). (B. Publishing., Ed.)

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.

Iriondo, P., Ledezma, A., & Ramírez, J. (2011). *Datación de Muerte por Sucesión de Insectos en Cadáveres de Cerdos, Sector Costero de Iquique*. Investigación Forense. Servicio Médico Legal. Instituto Dr. Carlos Ybar.

Krüger, R., Kirst, F., & Souza, A. (2010). Rate of development of forensically-important Dipterain southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 54(4), 624-629.

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, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas*.

Maes, J., Peris, S., & Gonzáles, D. (1994). Catálogo de los Calliphoridae (Diptera) de Nicaragua. *Rev. Nica. Ent.*, 29, 15-20.

Marco, V. (2001). Modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al Manejo Integrado de Plagas mediante el método de grados-día. Departamento de Agricultura y Alimentación. *Aracnet 7 -Bol. S.E.A*, 28, 147-150.

- Mavaréz, M., Espina, A., Barrios, F., & Ferreira J. (2005). La Entomología Forense y el Neotrópico. *Cuad. med. Forense*(39), 23-33.
- Mello, R. (1968). Contribuição ao estudo do gênero “Paralucilia” Brauer y Bergenstamm, 1891 (Diptera, Calliphoridae). *Revista Brasileira de Biologia*, 28, 177-192.
- Montoya, A., Sánchez , J., & Wolff, M. (2009). Sinantropía de Calliphoridae (Diptera) del Municipio La Pintada, Antioquia. *Revista Colombiana de Entomología*, 35(1), 73-82.
- Nabity, 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.
- Olaya , L. (1999). Estudio de la entomofauna sucesional en los cadáveres de dos canidos en condiciones de campo. Trabajo de grado. Universidad del Valle, Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Santiago de Cali, Colombia.
- Pape, T., Wolff, M., & Amat, E. (2004). Los califóridos, éstridos, rinofóridos y sarcófagidos (Diptera: Calliphoridae, Oestridae, Rhinophoridae, Sarcophagidae) de Colombia. *Biota Colombiana*, 5(2), 201 – 208.
- Pinilla, Y., Segura, N., & Bello, F. (2012). Synanthropy of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera) in Bogotá, Colombia. *Neotrop Entomol*, 41, 237–242.
- Ramírez , M., Buenaventura , E., Gómez , L., & Amat , E. (2012). Updated checklist and new records of Calyptratae carrion flies (Diptera, Schizophora) from Valle de Aburrá and other localities in Colombia. *Entomotropica*, 27(1), 27-35.

- Rodes, F. (2013). Laboratorio forense, Textos docentes. Criminología. Universidad de Alicante. 239 pág.
- Roe, A. (2014). Development modeling of *Lucilia sericata* and *Phormia regina* (Diptera: Calliphoridae). Dissertations & Theses in Natural Resources. Paper 93. Forensic Entomology.
- 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. *Universitas Scientiarum*, 13(1).
- Trigo, A. (2006). Descripción de las larvas II, III y el pupario de *Comptosomyiops fulvicrura* (Diptera: Calliphoridae). *Rev. Soc. Entomol. Argent*, 65(1-2), 87-99.
- Velásquez, Y. (2008). A checklist of arthropods associated with rat carrion in a montane locality of northern Venezuela. *Forensic Sci Int*, 174(1), 68-70.
- Vélez, M., & Wolff, M. (2008). Rearing five species of Diptera (Calliphoridae) of forensic importance in Colombia in semicontrolled field conditions. *Papéis Avulsos de Zoología*, 48(6), 41-47.
- Wall, R., French, N., & Morgan, K. (1992). Effects of temperature on the development and abundance of the sheep blowfly *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). *Bulletin of Entomological Research*, 82, 125-131.
- Wolff, M., Uribe, A., Ortiz, A., & Duque, P. (2001). A preliminary study of forensic entomology in Medellin, Colombia. *Forensic Science International*, 120, 53-59.

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. Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de MAESTRO EN CIENCIAS en BIOLOGÍA.

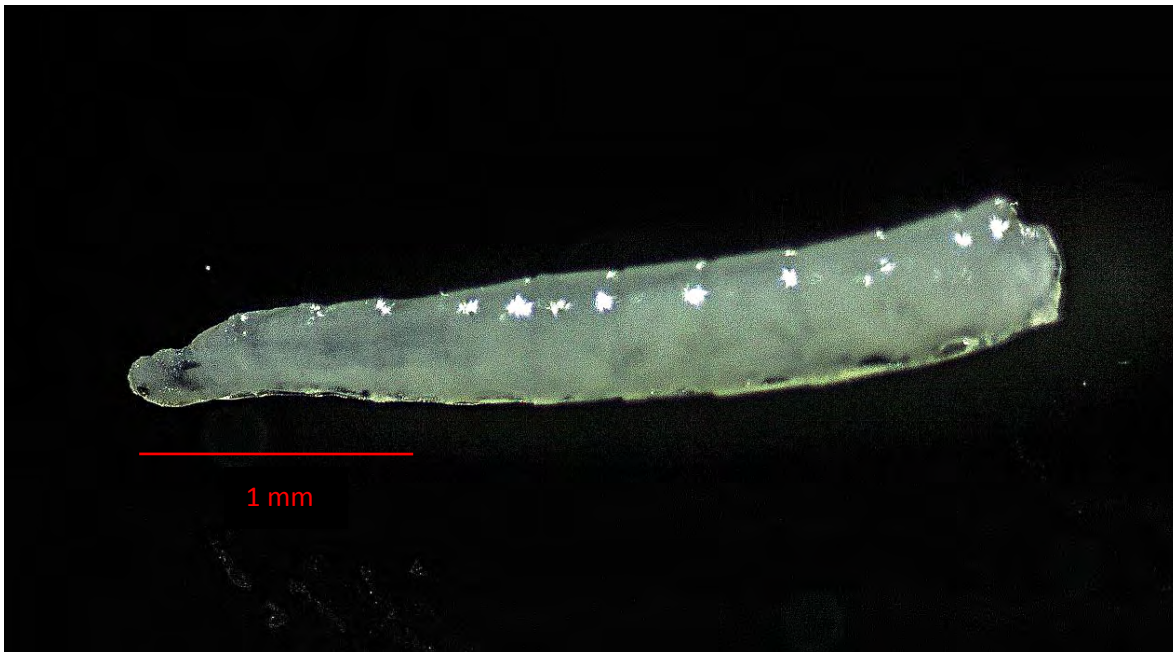
Yusseff, S. (2007A). Entomología forense: los insectos en la escena del crimen. *Luna Azul*(23), 42-49.

ANEXOS

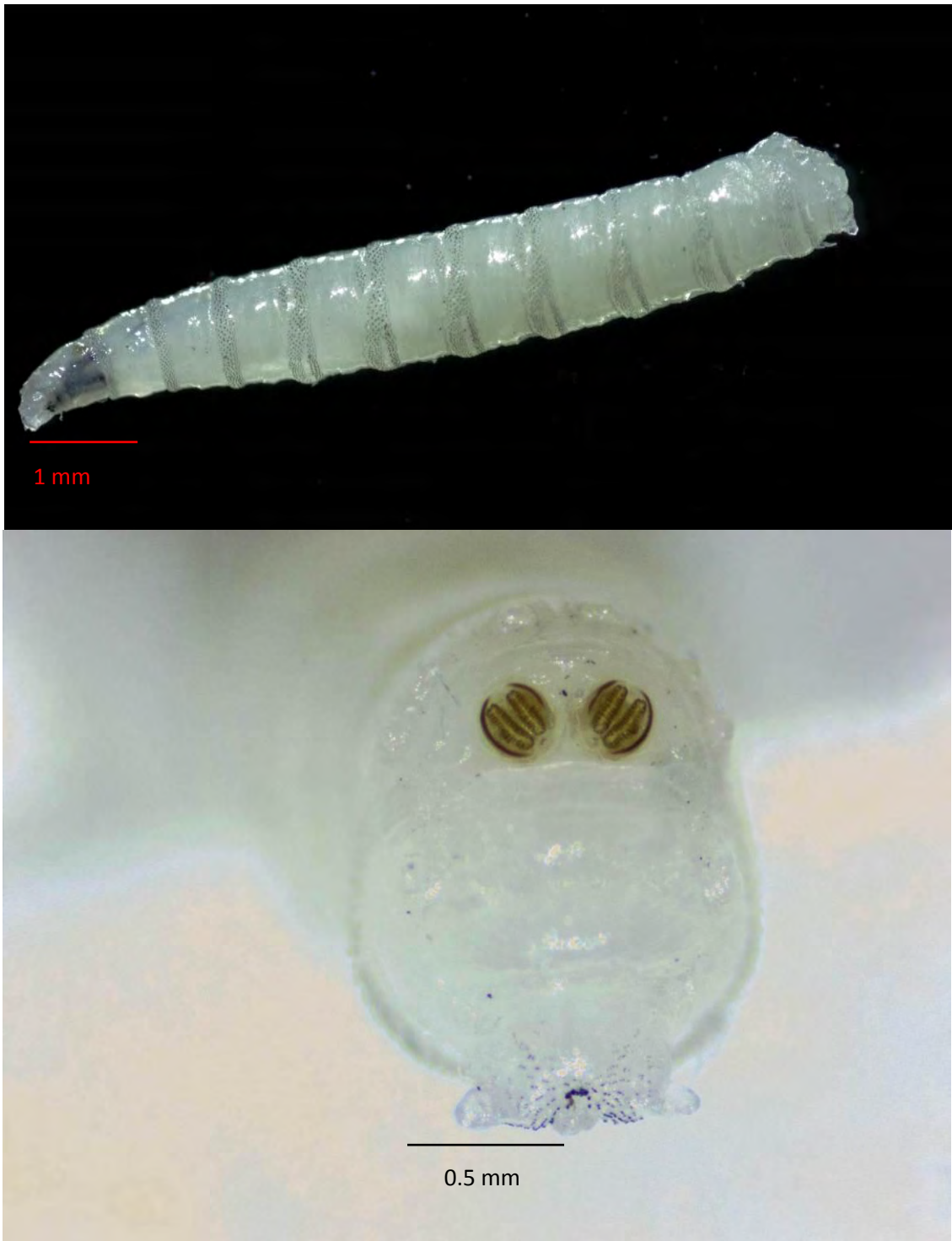
ANEXO 1. Etapas del ciclo de desarrollo de *Compsomyiops arequipensis* (Diptera: Calliphoridae) desde la oviposición, hasta la emergencia del adulto.



Hembra de *C. arequipensis* en proceso de oviposición bajo sustrato en descomposición (Foto: Castro J, 2015).



Larva de *C. arequipensis* en instar uno (Foto: Castro J. 2015).



Larva de *C. arequipensis* en *instar dos*, detalle de lo espiráculos posteriores con dos aberturas estigmáticas (Foto: Castro J. 2015).



Larva de *C. arequipensis* en instar tres, detalle de los espiráculos posteriores con tres aberturas estigmáticas (Foto: Castro J. 2015).



C. arequipensis en fase de pupa (Foto: Castro J. 2015).



Hembra adulta de *C. arequipensis*, detalle ampliado del abdomen donde se observan las manchas metálicas laterales presentes en el margen del tercer al quinto tergo, características de la especie (Foto: Castro J. 2015).



Macho adulto de *C. arequipensis*, detalle de la cabeza con característica subholóptica distintiva de la especie (Foto: Castro J. Castillo G. 2016).

ANEXO 2. Temperatura registrada en cada muestreo.

25°C	19°C	13°C	7°C
24,2	19,6	13,01	7,2
25,3	19,2	12,45	7,0
26	19,3	13,08	6,5
24	19,4	12,4	7,3
25,6	19,5	12,6	7,0
26,1	18,7	13,85	7,4
26,2	18,7	13,2	7,3
25,5	18,8	13,5	6,4
25,2	18,8	12,97	7,1
25,4	19,5	13,16	6,7
25,6	19,5	12,48	7,2
24,74	19,1	12,49	7,0
25,05	18,7	13,2	6,8
25,7	19,7	12,56	6,5
26	20	12,28	6,9
26	19,8	14,26	7,3
24,91	19,7	13,6	
24,91	19,2	12,58	
23,7	19,7	13,7	
25,6	21	13,3	
25,1	20	12,2	
24,7	19	14,9	
24,45	18,2	12,2	
24,89	19	12,99	
25,6	19,1	13,02	
25,21	18,7	13,3	
25,6	19	12,97	
23,15	19	12,97	
24,4	20	13,01	
25,1	19,4	13,3	
24,9	19,9	13,01	

Continuación Anexo 2

25°C	19°C	13°C	7°C
24,6	18,9	13,65	
25	18,2	14,6	
24,3	19	12,68	
24,7	19,7	13,33	
23,5	18,7	13,1	
25,4	19,4	13,9	
24	19,2	13,62	
23,5	19,1	13,4	
24,7	19,6	13,9	
24	19	13,09	
24,8	18	13,52	
24,9	19,5	13,7	
25	20	12,93	
24	19,4	12,9	
25,2	19	12,88	
24	18,8	13,12	
24,5	18,9	13,14	
24,8	19,9	12,55	
25,7	18	12,3	
25,8	17,8	12,8	
24,9	18,4	12,7	
25,2	19,7	12,69	
24,5	19,4	13,1	
24,7	19	12,3	
25	17,8	12,9	
24,5	19,5	13,2	
25,5	19,8	13,1	
25	18,6	12,8	
25,3	19,3	13,4	
	18,8	13,6	
	20	12,8	
	20	13,5	

Continuación Anexo 2

	25°C	19°C	13°C	7°C
		20	12,1	
		19,4	13,6	
		19,7	13,9	
		18,3	12,5	
		18,5	12,7	
		18,8	13,2	
		18,9	13,6	
		19,9	13	
		18	13,2	
		17,8	13,11	
		19,4	13,6	
		19	13,72	
		19,3	12,56	
		18,8	13,1	
		19,4	13,6	
		19	13,5	
		18,8	12,7	
		18,9	12,5	
			13	
			13	
			13,4	
			13,2	
			13,16	
			12,98	
			12,62	
			12,38	
			12,6	
Promedio	24,93	19,15	13,09	7

**ANEXO 3. ESTADÍSTICA DE LAS REGRESIONES LINEALES POLINOMIALES
BAJO LAS CUATRO TEMPERATURAS EVALUADAS.**

CURVA DE CRECIMIENTO A 25°C

Análisis de regresión lineal polinomial

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Longitud (mm)	20	0,99	0,99	0,6	40,39	45,37

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallovs
const	2,5	0,42	1,6	3,4	5,91	<0,0001	
Tiempo (h)	-0,03	0,03	-0,08	0,02	-1,21	0,2453	4,43
Tiempo (h) ²	3,20E-03	4,00E-04	2,40E-03	4,10E-03	8,17	<0,0001	65,81
Tiempo (h) ³	-1,60E-05	1,70E-06	-1,90E-05	-1,20E-05	-9,03	<0,0001	79,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	787,52	3	262,51	784,83	<0,0001
Tiempo (h)	754,46	1	754,46	2255,64	<0,0001
Tiempo (h) ²	5,8	1	5,8	17,33	0,0007
Tiempo (h) ³	27,26	1	27,26	81,51	<0,0001
Error	5,35	16	0,33		
Total	792,87	19			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	787,52	3	262,51	784,83	<0,0001
Tiempo (h)	787,52	3	262,51	784,83	<0,0001
Error	5,35	16	0,33		
Total	792,87	19			

CURVA DE CRECIMIENTO A 19°C

Análisis de regresión lineal polinomial

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Longitud (mm)	27	1	1	0,17	25,95	32,43

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	
const		2,13	0,23	1,66	2,6	9,4	<0,0001	
Tiempo (h)		0,02	0,01	-4,00E-03	0,04	1,66	0,1099	5,69
Tiempo (h)^2		1,30E-03	1,20E-04	1,10E-03	1,60E-03	11,37	<0,0001	127
Tiempo (h)^3		-4,90E-06	3,70E-07	-5,70E-06	-4,10E-06	-	<0,0001	168,74
						13,15		

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1037,25	3	345,75	2786,42	<0,0001
Tiempo (h)	1005,24	1	1005,24	8101,29	<0,0001
Tiempo (h)^2	10,55	1	10,55	85,05	<0,0001
Tiempo (h)^3	21,45	1	21,45	172,91	<0,0001
Error	2,85	23	0,12		
Total	1040,1	26			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1037,25	3	345,75	2786,42	<0,0001
Tiempo (h)	1037,25	3	345,75	2786,42	<0,0001
Error	2,85	23	0,12		
Total	1040,1	26			

CURVA DE CRECIMIENTO A 13°C

Análisis de regresión lineal polinomial

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Longitud (mm)	57	0,99	0,99	0,17	53,74	63,96

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	2,27	0,16	1,95	2,58	14,33	<0,0001	
Tiempo (h)	-2,40E-03	2,40E-03	-0,01	2,30E-03	-1,03	0,3087	4,06
Tiempo (h) ²	1,40E-04	9,40E-06	1,20E-04	1,60E-04	14,45	<0,0001	208,06
Tiempo (h) ³	-1,60E-07	1,00E-08	-1,80E-07	-1,30E-07	-15,17	<0,0001	228,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1230,94	3	410,31	3024,93	<0,0001
Tiempo (h)	1198,54	1	1198,54	8835,97	<0,0001
Tiempo (h) ²	1,18	1	1,18	8,68	0,0048
Tiempo (h) ³	31,22	1	31,22	230,15	<0,0001
Error	7,19	53	0,14		
Total	1238,13	56			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1230,94	3	410,31	3024,93	<0,0001
Tiempo (h)	1230,94	3	410,31	3024,93	<0,0001
Error	7,19	53	0,14		
Total	1238,13	56			

CURVA DE CRECIMIENTO A 7°C

Análisis de regresión lineal polinomial

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Longitud (mm)	5	0,89	0,55	1,71	- 6,27	- 8,22

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	1,65	0,11	0,31	2,99	15,6	0,0408	
Tiempo (h)	-1,80E-04	0,01	-0,14	0,14	-0,02	0,9896	3,5
Tiempo (h) ²	1,70E-04	3,00E-04	-3,60E-03	3,90E-03	0,57	0,6704	3,66
Tiempo (h) ³	-1,40E-06	2,00E-06	-2,70E-05	2,40E-05	-0,68	0,6182	3,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,09	3	0,03	2,62	0,4195
Tiempo (h)	0,08	1	0,08	7	0,2301
Tiempo (h) ²	4,50E-03	1	4,50E-03	0,39	0,643
Tiempo (h) ³	0,01	1	0,01	0,47	0,6182
Error	0,01	1	0,01		
Total	0,1	4			

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,09	3	0,03	2,62	0,4195
Tiempo (h)	0,09	3	0,03	2,62	0,4195
Error	0,01	1	0,01		
Total	0,1	4			