

**Extracción de Características Descriptoras en Imágenes de  
Alas de Insectos Pertenecientes al Orden de los Dípteros para  
la Verificación de su Género y Especie Mediante  
Procesamiento Digital de Imágenes.**

NAIROBI ALEJANDRA SOLÓRZANO SANCHEZ  
YAZMIN VASQUEZ BARRERA



Universidad Industrial de Santander  
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones  
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.

Bucaramanga

2012

**Extracción de Características Descriptoras en Imágenes de  
Alas de Insectos Pertenecientes al Orden de los Dípteros para  
la Verificación de su Género y Especie Mediante  
Procesamiento Digital de Imágenes.**

NAIROBI ALEJANDRA SOLÓRZANO SANCHEZ

YAZMIN VASQUEZ BARRERA

Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniera Electrónica

Director

PhD Daniel A. Sierra

Codirectores

MS Carlos Andrés Niño Niño

Dr Ascanio Rojas



Universidad Industrial de Santander  
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones  
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.

Bucaramanga

2012

*“En primer lugar agradezco de todo corazón a Dios, por acompañarme y guiar cada paso de  
mi vida,*

*A mis amados padres, Vilma y Sergio, que con su amor, comprensión y motivación me  
enseñaron a luchar incansablemente por mis sueños, ustedes hicieron este logro posible,*

*A Carlos, por su amor incondicional, enseñanzas y apoyo que hicieron más fácil alcanzar  
este éxito profesional,*

*A Yaz, por su dedicación, esfuerzo y compañerismo, trabajar en equipo fue un placer,  
A mi familia quienes me han acompañado y apoyado en todos los momentos de mi vida,*

*Y finalmente, gracias a mis amigos con los que he compartido momentos inolvidables y  
valiosos de los que puede aprender e inspirarme para continuar luchando por mis metas  
personales y profesionales.”*

*Nairobi Alejandra*

*“A mi Dios todo poderoso por no desampararme e iluminarme en esta etapa de mi vida,  
dandome las fuerzas necesarias para hacer realidad mis sueños,  
A mis queridos padres Joaquin e Isabel de quienes he aprendido y me han guiado  
ofreciendome su apoyo incondicional y fundamental, brindandome día a día su valioso amor,  
A mi hermano Robert a quien quiero mucho, le agradezco por su confianza y apoyo,  
A Sergio por ser el dueño de mi corazón y la luz que me inspira entregandome su amor,  
A la familia Reyes Sierra por abrirme las puertas de su casa y corazón haciendome un  
miembro más de su grandiosa familia,  
A Nairobi por aguantarme en mis momentos difíciles y esforzarse por que la realización de  
este proyecto fuera exitoso ,  
A mis amigas y amigos que son personas maravillosas que han estado a mi lado a lo largo  
de mi camino compartiendo bellos momentos...”*

*Yazmin,*

# Agradecimientos

Quisieramos agradecer muy especialmente al docente Daniel Alfonso Sierra por que estuvo acompañandonos en el proceso de culminación de nuestra carrera, porque nos brindó grandes aportes a nuestro proyecto haciendo que este fuera exitoso, y además de la ayuda academica nos brindo su bonita amistad la cual deseamos conservar por muchisimo tiempo. Para nosotras fue todo un honor que fuera nuestro director de proyecto.

A el docente Carlos Niño porque nos brindo grandes aportes a nuestro proyecto dedicandonos tiempo para resolver dudas y trabajar en equipo.

A Carlos Angulo, por los conocimientos aportados en el desarrollo del presente proyecto de grado, para nosotras su ayuda fue de vital importancia para que el proyecto llegará a feliz término, fue para nosotras una bendición de mi Dios todo el conocimiento que nos brindó.

A la Universidad Industrial de Santander .

A todos los que de una u otra forma estuvieron presentes en la culminación de esta etapa.



# Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
<b>2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>20</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	<b>21</b>
3.1. Dípteros . . . . .	21
3.2. Calliphoridae . . . . .	22
<b>4. MORFOLOGÍA</b>	<b>23</b>
4.1. Morfometría geométrica . . . . .	23
<b>5. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES</b>	<b>25</b>
<b>6. PREPROCESADO DE IMÁGENES</b>	<b>27</b>
6.1. Segmentación . . . . .	27
6.2. Contraste de color . . . . .	29
6.3. Filtrado . . . . .	29
6.4. Variación del rango dinámico . . . . .	30
6.5. Detección de Bordes . . . . .	31
<b>7. PROCESADO DE IMÁGENES</b>	<b>33</b>
7.1. Landmark . . . . .	33
7.1.1. Tipos de landmark . . . . .	33
7.2. Detección de Esquinas . . . . .	35
<b>8. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS</b>	<b>38</b>
8.1. Transformación a coordenadas Procrustes . . . . .	38
8.2. Tamaño y el concepto de <i>centroid size</i> en MG . . . . .	42
8.3. Radio mínimo de curvatura . . . . .	42

---

<b>9. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>44</b>
9.1. Presentación de resultados obtenidos de forma manual . . . . .	44
9.1.1. Trasformación a coordenadas Procrustes . . . . .	44
9.1.2. <i>Centroid size</i> . . . . .	46
9.1.3. Radio mínimo de curvatura . . . . .	49
9.2. Presentación de resultados obtenidos de forma automática . . . . .	51
9.2.1. Identificación automática de landmarks . . . . .	51
9.2.2. Cuantificación de variables diferenciadoras . . . . .	52
<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>58</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>60</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>61</b>

# Lista de Figuras

3.1. Algunos ejemplos de los sistemas de venas en las alas. Adaptada. Fuente: [1] . . .	21
4.1. Venación típica del ala de un califórido. Fuente: [2] . . . . .	23
5.1. Base de datos. (izquierda) Alas de la especie <i>Lucilia sericata</i> . (central) Alas de la especie <i>chrysomia megacephala</i> (derecha) Alas de la especie <i>Calliphora vicina</i> . Fuente: Docente Ascanio Rojas . . . . .	25
5.2. Elementos extraños presentes en las imágenes. Fuente: Autoras . . . . .	26
6.1. Etapas de preprocesado de las imágenes. Fuente: Autoras . . . . .	27
6.2. Imagen binarizada de la especie <i>Lucilia sericata</i> . Fuente: Autoras . . . . .	28
6.3. Alas con diferente orientación. Fuente: Autoras . . . . .	28
6.4. Alas luego de ser tratadas para tener la misma orientación. Fuente: Autoras . . .	29
6.5. Ala <i>Lucilia sericata</i> antes del filtrado. Fuente: Autoras . . . . .	30
6.6. Ala <i>Lucilia sericata</i> después de aplicar el filtro no lineal. Fuente: Autoras . . . . .	30
6.7. Variación de rango de la imagen. a) Imagen de entrada. b) Imagen de salida. Fuente: Autoras . . . . .	31
6.8. Resultado del filtro Laplaciano del Gaussiano. Fuente: Autoras . . . . .	31
6.9. Imagen binarizada antes de realizarse las operaciones morfológicas para el ruido. Fuente: Autoras . . . . .	32
6.10. Imagen con los bordes detectados y minimización de ruido. Fuente: Autoras . . .	32
7.1. <i>Landmarks</i> ubicadas en el ala Calliphoridae. Fuente: Autoras. . . . .	34
7.2. Imagen en donde se detectarán los <i>landmarks</i> . Fuente: Autoras. . . . .	35
7.3. Área de interés para <i>landmarks</i> tipo I. Fuente: Autoras. . . . .	35
7.4. Área de interés para <i>landmarks</i> tipo II. Fuente: Autoras. . . . .	36
7.5. Patrones de las esquinas 6, 7, 16 ( <i>Landmarks</i> tipo II). Fuente: Autoras. . . . .	36
7.6. Detección de <i>landmarks</i> Tipo I (rojo) y Tipo II (verde), además de falsas detecciones. Fuente: Autoras. . . . .	37

7.7. Reducción de falsas esquinas. Fuente: Autoras. . . . .	37
8.1. Reducción de falsas esquinas. Fuente: Autoras. . . . .	39
8.2. a) Triángulo $\Delta W_1W_2W_3$ , con la distribución. b) Transformación respecto a su traslación. Fuente: [3]. . . . .	40
8.3. Transformación respecto a su rotación. Fuente: [3]. . . . .	41
8.4. Transformada con respecto al escalamiento. Fuente: [3]. . . . .	41
9.1. Ala de la especie <i>Lucilia sericata</i> con los landmarks detectados manualmente. Fuente: Autoras . . . . .	44
9.2. Landmarks en transformada Procrustes de las alas <i>Lucilias sericata</i> . Fuente: Autoras . . . . .	45
9.3. Landmarks con la transformada Procrustes de las alas <i>chrysomia megacephala</i> . Fuente: Autoras . . . . .	45
9.4. Landmarks con la transformada Procrustes de alas <i>Calliphora vicina</i> . Fuente: Autoras . . . . .	45
9.5. Rangos de los centroid size de cada especie. Fuente: Autoras . . . . .	48
9.6. Ala de la especie <i>Lucilia sericata</i> con los landmarks 2 a 6. Fuente: Autoras . . . . .	49
9.7. Rangos del radio mínimo de cada especie. Fuente: Autoras . . . . .	50
9.8. Transformada Procrustes de los <i>landmarks</i> de las alas <i>Lucilia sericata</i> . Fuente: Autoras . . . . .	52
9.9. Transformada Procrustes de los <i>landmarks</i> de las alas <i>Chrysomia megacephala</i> . Fuente: Autoras . . . . .	52
9.10. Transformada Procrustes de los <i>landmarks</i> de las alas <i>Calliphora vicina</i> . Fuente: Autoras . . . . .	53
9.11. <i>Landmarks</i> en coordenadas Procrustes de las 3 especies divididas por zonas. a) Especie <i>Lucilia sericata</i> . b) Especie <i>Chrysomia megacephala</i> . c) Especie <i>Callip- hora vicina</i> . Fuente: Autoras . . . . .	53
9.12. Rangos del <i>centroid size</i> de cada especie. Fuente: Autoras . . . . .	55
9.13. Rangos de la radio mínimo de cada especie. Fuente: Autoras . . . . .	56

# Lista de Tablas

9.1. Distancias euclidianas de cada <i>landmark</i> de la especie <i>Lucilia sericata</i> con respecto al centroide que entre ellas definen y <i>centroid size</i> en coordenadas Procrustes. . . . .	46
9.2. Distancias euclidianas de cada <i>landmark</i> de la especie <i>Chrysomia megacephala</i> con respecto al centroide que entre ellas definen y <i>centroid size</i> en coordenadas Procrustes. . . . .	47
9.3. Distancias euclidianas de cada <i>landmark</i> de la especie <i>Calliphora vicina</i> con respecto al centroide que entre ellas definen y <i>centroid size</i> en coordenadas Procrustes. . . . .	48
9.4. Media geométrica del <i>centroid size</i> de las tres especies con sus respectivas desviaciones estándares. . . . .	49
9.5. Radio mínimo para una muestra de cada especie. . . . .	50
9.6. Media geométrica del radio mínimo con su respectiva desviación estándar. . . . .	50
9.7. Porcentajes de <i>landmarks</i> acertadas y falsas detecciones para las alas <i>Lucilia sericata</i> . . . . .	51
9.8. Porcentajes de <i>landmarks</i> acertadas y falsas detecciones para las alas <i>Chrysomia megacephala</i> . . . . .	51
9.9. Porcentajes de <i>landmarks</i> acertadas y falsas detecciones para las alas <i>Calliphora vicina</i> . . . . .	51
9.10. Rangos para los puntos de la zona 3. . . . .	54
9.11. <i>Centroid size</i> de cada ala de todas las especies <i>Lucilia sericata</i> , <i>Chrysomia megacephala</i> y 10 de la <i>Calliphora vicina</i> . . . . .	54
9.12. Media geométrica del <i>centroid size</i> con su respectiva desviación estándar. . . . .	55
9.13. Porcentajes de error al comparar <i>Centroid Size</i> . . . . .	55
9.14. Radio mínimo para todas las especies <i>Lucilia sericata</i> y <i>Chrysomia megacephala</i> ; 10 de la especie <i>Calliphora vicina</i> . . . . .	56
9.15. Media geométrica del radio mínimo con su respectiva desviación estándar. . . . .	57

---

9.16. Porcentajes de error de la comparación del radio mínimo. . . . . 57

## RESUMEN

**TTULO:** Extracción de Características Descriptoras en Imágenes de Alas de Insectos Pertenecientes al Orden de los Dípteros para la Verificación de su Género y Especie Mediante Procesamiento Digital de Imágenes. \*

**AUTOR:** Nairobi Alejandra Solórzano Sanchez, Yazmin Vasquez Barrera \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Transformada Proustes, Radio de curvatura mínimo, segmentación, *Landmarks*.

### DESCRIPCIÓN:

Este artículo presenta un sistema automatizado de detección y extracción de características en imágenes digitales correspondientes a insectos pertenecientes al orden de los dípteros, específicamente la familia Calliphoridae. Este algoritmo es de gran importancia para el análisis morfométrico debido a que permitirá reemplazar el proceso de trabajo manual que realizan algunos de los profesionales en Centro Nacional de Calculo Científico ULA (CeCalcULA) del departamento de biología en la Universidad de los Andes, ubicada en Mérida, Venezuela. Para el desarrollo del sistema, los puntos de referencia o también llamados como los landmarks son fundamentales, dado que son muy utilizados en morfometría geométrica para el estudio de la forma de cada objeto.

Puesto que la forma es un parámetro de gran interés al momento de realizar un análisis es importante resaltar que se utilizaron una serie de transformaciones para eliminar variables que no permiten el estudio de la forma directamente sobre la imagen. La fiabilidad y exactitud del método se pueden observar mediante el uso de varias imágenes de entrenamiento de la base de datos proporcionada y clasificadas en tres especies conocidas con los nombres de *Lusilia Sericata*, *Chrysomya Megacephala* y *Calliphora vicina*. La precisión, repetibilidad y robustez del algoritmo han sido evaluadas por medio de tablas con datos cuantitativos que permiten marcar características entre una especie y otra.

---

\* **TITULO:** "Extracción de Características Descriptoras en Imágenes de Alas de Insectos Pertenecientes al Orden de los Dípteros para la Verificación de su Género y Especie Mediante Procesamiento Digital de Imágenes".

\*\* **FACULTAD:** Ingenierías Físico-Mecánicas. **ESCUELA:** Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. **DIRECTOR:** PhD. Daniel A Sierra. **CODIRECTORES:** MS. Carlos Andrés Niño Niño, Dr. Ascanio Rojas.

## ABSTRACT

**TITLE:** Descriptive characteristics extraction of wings of insects belonging to the order of Diptera for verification of species and genus using digital image processing\* **AUTHOR:** Nairobi Alejandra Solórzano Sánchez, Yazmin Vasquez Barrera\*\*

**KEYWORDS:** Procrustes transform, minimum curvature radius, segmentation, *landmarks*.

### DESCRIPTION:

This article shows an automatic system for the detection and extraction of features in digital images of insects, which belong to the dipterous order, specifically to the Calliphoridae family. This algorithm is important for the morphometric analysis, since it will allow to replace the manual procedure that is currently being used by some workers at the Centro Nacional de Calculo Científico ULA (CeCalcULA), from the biology department at Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela). For the development of the system, the location of reference points, or landmarks, are fundamental, since they are used in geometric morphometry for the study of each object's shape.

It is important to remark that a series of transformations were used to delete variables that did not allow a proper study of an image's shape, since it is an important parameter. The reliability and accuracy of the method can be observed through the usage of several training images, provided in a database and classified according to its species in three groups: *Lusilia Sericata*, *Chrysomia Megacephala* and *Calliphora Vicina*. The precision, repeatability and robustness of the algorithm have been evaluated through tables, with quantitative data, that allow to establish a difference between the species.

---

\* Degree project

\*\* **FACULTY:** Engineering Physicomechanical. **SCHOOL:** School of Electrical, Electronics and Telecommunications. **ADVISOR** PhD. Daniel A Sierra. **CO-ADVISOR:** MS. Carlos Andrés Niño Niño, Dr. Ascanio Rojas.

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

En algunos laboratorios, tales como el Centro Nacional de Cálculo Científico ULA (CeCALCULA) del departamento de Biología de la Universidad de los Andes en Mérida, Venezuela, existe la necesidad de diferenciar el género y especie de los insectos debido a que ordenarlos y clasificarlos es significativo para la ciencia y ayuda a su respectivo estudio y análisis. Un tema de especial relevancia en el ámbito veterinario y forense está enfocado principalmente al grupo de insectos pertenecientes al orden de los dípteros y este trabajo se centró específicamente en las moscas de la familia *Calliphoridae*.

Para los entomólogos, la extracción de manera manual de las características de las alas de las moscas se hace un poco dispendiosa ya que requiere un número significativo de mediciones que deben realizarse de manera meticulosa. Los beneficios que se plantean al desarrollar este proyecto se traducen en términos de bajo tiempo de procesamiento y disminución de costos, porque al poseer un sistema automatizado en la clasificación de este tipo de insectos, se reducirá la intervención humana en dicho proceso y por ello el usuario puede enfocar su trabajo en otras tareas. Así mismo, un sistema enfocado en esta área constituye una alternativa importante y promisoría facilitando la labor de aprendizaje e investigación.

Para cumplir con la extracción de características de las moscas, es necesario presentar una metodología basada en conceptos, técnicas y herramientas de procesamiento digital de imágenes que permita extraer algunos patrones particulares de las alas que fueron proporcionadas y que se utilizaron como modelo para el análisis. El análisis se realizó mediante morfometría geométrica, dado que este método permite eliminar factores como la diferencia del tamaño entre alas, la rotación y orientación de las mismas, entre otros. Dicho estudio se llevó a cabo por medio de un algoritmo implementado en el software matemático MATLAB, algoritmo que se dará a conocer a lo largo de este artículo y posteriormente se expondrán los resultados que fueron comparados con una base de datos correspondientes a las características extraídas manualmente para realizar su validación.

## Capítulo 2

# FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, en el CeCalCULA del departamento de Biología de la Universidad de los Andes se desarrolla un trazado o dibujo característico del ala de la mosca con el fin de identificar tramados, puntos y líneas que las diferencian. Sin embargo, este proceso es llevado a cabo de un modo tradicional empleando morfometría geométrica. El trabajo de estos profesionales se basa en estudiar los componentes de forma y tamaño capturados a partir de un conjunto de variables cuantitativas, tales como distancias y curvatura máxima de la vena principal, en algunos casos con el fin de aplicar análisis estadísticos designados a resumir el cambio que se produce en el espacio y transformarlo en parámetros que expliquen la variación; en otros, con el objetivo de conocer las características en relación con la función, y otros con el propósito de dictaminar el género y la especie a los cuales pertenece el insecto para posteriormente determinar el tiempo de defunción de una persona.

Por tales razones se desarrolló un algoritmo mediante el procesamiento digital de imágenes, que facilite el proceso de extracción de características de las alas de las moscas de la familia *Calliphoridae*.

## Capítulo 3

# MARCO TEÓRICO

### 3.1. Dípteros

Los dípteros brindan información y resultados favorables al ser humano. El conocimiento de la taxonomía y biología de algunas especies necrófilas las hace útiles para determinar en dónde ha estado un cadáver y el tiempo transcurrido desde su deceso. Esta rama de la entomología se conoce como entomología forense y en ocasiones es una herramienta integral del sistema judicial. [4]

Esta clase de animales pertenece a los insectos que poseen dos alas y no cuatro como los demás insectos. Su cuerpo se divide en 3 partes: cabeza, tórax y abdomen. El tórax se constituye de tres segmentos: el primero es el protórax, el segundo es el mesotórax y el último es el metatórax. Las alas se encuentran en el mesotórax o metatórax [5]. Se enfatiza en las alas porque es sobre éstas que se enfocará el presente trabajo.

La topografía de las alas depende del grosor, la presencia de pequeñas vellosidades llamadas microtriquias, la presencia de regiones onduladas y lisas, la disposición de las venas, la presencia de pigmentos, etc. (Ver Figura 3.1). Además, como las topografías de las alas son diferentes en cada especie, los patrones también lo serán [6].

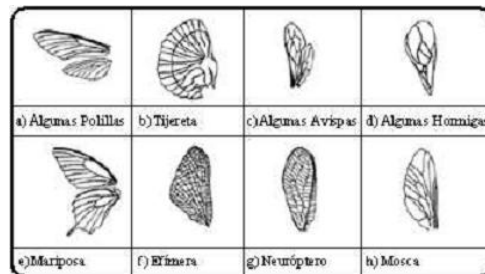


Figura 3.1: Algunos ejemplos de los sistemas de venas en las alas. Adaptada. Fuente: [1]

Como se observa, existen diversas formas establecidas para las alas de los insectos, pero es clave resaltar que las alas utilizadas para este trabajo son las pertenecientes a la familia *Calliphoridae*.

### **3.2. Calliphoridae**

La familia de insectos *Calliphoridae* (comúnmente conocido como moscas de la carroña, moscardones, *greenbottles* o grupo vuela [2]) son insectos del orden Díptera y son conocidos por ser no monofiléticos, es decir, no descienden de un antepasado común [7].

## Capítulo 4

# MORFOLOGÍA

Morfológicamente las moscas de la familia califóridos (Díptera: Calliphoridae) se reconocen por ser robustas, de colores azules o verdes con brillo metálico, aunque algunas especies pueden ser opacas. En la Figura 4.1 se presenta su venación típica, siendo: C: vena costal. c: celda costal. M: vena media. Vt: vena troncal (Remigio).  $R_1$ : vena primera radial.  $r_1$ : celda radial 1.  $S_c$ : vena subcostal.  $s_c$ : celdasubcostal.  $R_{2+3}$ : celda radial 2+3. br: celda basal radial. bm: celda basal media [5].

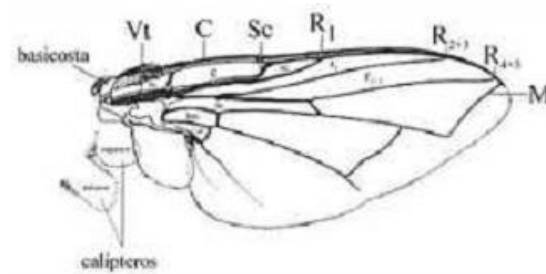


Figura 4.1: Venación típica del ala de un califórido. Fuente: [2]

Los califóridos son moscas de hábitos principalmente descomponedores, coprófagos y sarcosaprófagos. Su importancia radica en que por sus hábitos necrófagos son utilizados en el área forense debido a que forman parte de las comunidades de artrópodos colonizadores de cadáveres y son el principal grupo de insectos que acuden a la zona donde se lleva a cabo la descomposición de un cuerpo. Su ciclo de vida y ensamblaje de las comunidades aportan datos valiosos para el esclarecimiento de los casos forenses.

### 4.1. Morfometría geométrica

La Morfometría Geométrica (MG) definida como la fusión entre la geometría y la biología, comprende el estudio de la forma en un espacio bi o tridimensional [8] permitiendo investi-

gar en profundidad los cambios morfológicos. Esta técnica está revolucionando el campo del estudio de estructuras morfológicas a partir de un cambio rotundo en la aproximación al tamaño y la forma de dichas estructuras [9]. En lugar de enfocarse en el análisis multivariante de un conjunto de medidas lineales entre puntos morfométricos, la MG propone estudiar los cambios en el tamaño y la forma a partir del desplazamiento en el plano (2D) o en el espacio (3D) de un conjunto de puntos morfométricos o “*landmarks*”. La relación espacial en dos o tres dimensiones de estos *landmarks* siempre se conserva a lo largo de todo el análisis, lo que permite “reconstruir” con tanta precisión como se desee la forma y el tamaño del espécimen estudiado.

Una inspección de la bibliografía de los últimos años refleja la aceptación de estos métodos en aquellas disciplinas con una larga historia y tradición en la medición de las formas biológicas. En resumen, la MG brinda una aproximación minuciosa y potente al cambio en la forma, que deberá tenerse en cuenta en los análisis futuros [9].

## Capítulo 5

# ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

La primera etapa de un sistema de procesamiento de imágenes digitales es la adquisición de las mismas. Este proceso consiste en captar la imagen continua de la escena del mundo real y representarla en un formato comprensible para el computador. Es una fase clave debido a que el éxito del procesamiento depende de la calidad de las imágenes obtenidas.

Las imágenes suministradas para este trabajo por el docente Ascanio Rojas, biólogo del laboratorio Entomología Forense del Centro Nacional de Cálculo Científico, no se encontraban con la misma orientación tal como se puede ver en la Figura 5.1.



Figura 5.1: Base de datos. (izquierda) Alas de la especie *Lucilia sericata*. (central) Alas de la especie *chrysomya megacephala* (derecha) Alas de la especie *Calliphora vicina*. Fuente: Docente Ascanio Rojas

En general se cuenta con 196 alas, las cuales fueron adquiridas por medio de un escáner marca EPSON. Del total de las imágenes se cuentan con 10 alas de la especie *Lucilia sericata*, 10 alas de la especie *Chrysomya megacephala* y 176 alas de la especie *Calliphora vicina* (Figura 5.1); de estas imágenes fueron utilizadas el 50 % para la realización de este proyecto, el

porcentaje restante fueron utilizadas para la validación y verificación del algoritmo. Desafortunadamente, el proceso de adquisición no tuvo el cuidado de evitar la presencia de objetos diferentes a las alas, lo cual puede imposibilitar la correcta caracterización de las mismas en algunos casos (figura 5.2).



Figura 5.2: Elementos extraños presentes en las imágenes. Fuente: Autoras

## Capítulo 6

# PREPROCESADO DE IMÁGENES

Toda la etapa del preprocesado se puede visualizar mediante el cuadro sinóptico ilustrado en la Figura 6.1, el cual permite observar todas las etapas que se desarrollan en este capítulo.



Figura 6.1: Etapas de preprocesado de las imágenes. Fuente: Autoras

### 6.1. Segmentación

El principal objetivo en esta etapa es fraccionar las imágenes que incluyen todas las alas, de forma tal que se pueda obtener cada una por separado. Para ello se propone un algoritmo que reconozca las regiones de mayor tamaño (regiones correspondientes a las alas), de esta manera también se eliminan parte de los objetos indeseados. Es decir, si en una imagen se tiene una cierta cantidad de alas y regiones de ruido con área más pequeñas que la de interés, el programa descarta la sección indeseada. El método para efectuar lo anteriormente dicho,

consiste en binarizar las imágenes originales, de tal manera que se resalten las áreas grandes y así obtener una imagen como la mostrada en la Figura 6.2.

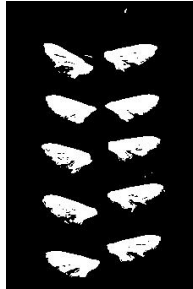


Figura 6.2: Imagen binarizada de la especie *Lucilia sericata*. Fuente: Autoras

En la figura 6.2 se observan algunas regiones blancas, presentes en los sectores donde están ubicadas las alas de las moscas, y estos a su vez presentan partículas negras, es por ello que se realiza un relleno de los espacios, con el fin de obtener que las regiones de mayor tamaño sean aquellas donde se encuentran cada una de las alas. Con esta imagen se procede a comparar los valores de las áreas de cada región para recortar aquellas secciones cuya área sea significativamente grande.

Como se había mencionado anteriormente, no todas las alas están en la misma orientación, para visualizarlo mejor se cita un ejemplo en la figura 6.3 y 6.4, por tal razón se implementó un algoritmo de rotación y luego se reflejaron algunas imágenes para así poder realizar correctamente los cálculos en la etapa de análisis.



Figura 6.3: Alas con diferente orientación. Fuente: Autoras



Figura 6.4: Alas luego de ser tratadas para tener la misma orientación. Fuente: Autoras

## 6.2. Contraste de color

En la segmentación de imágenes en color, la elección del espacio de color es de gran importancia y para el desarrollo de este trabajo se seleccionó el espacio de color CIE  $L^*a^*b$  debido a sus tres importantes características:

- Separa la información acromática de la cromática.
- Cuenta con espacio de color uniforme.
- Es similar a la percepción humana [10].

En este espacio, “L” representa el componente de luminancia y va desde 0 (negro) a 100 (blanco), mientras que “a” y “b” representan los componentes de color, donde “a” corresponde a la variación entre rojo y verde indicando con valores positivos rojo y valores negativos el verde, y de una manera equivalente, la componente “b” simboliza la variación entre amarillo y azul. La forma para convertir una imagen RGB en las coordenadas ( $L^*a^*b$ ) se pueden encontrar en muchos artículos relacionados con el color, como [10] y [11].

El procesamiento se enfocó con respecto a la luminancia debido a que con ella se tiene la información correspondiente a las zonas blancas (ala) y las zonas negras (venas) que tiene la imagen. La iluminación correcta es crítica en un sistema de imágenes y una iluminación deficiente puede causar una variedad de problemas haciendo más difícil la interpretación de un objeto en una escena. Además, las sombras también pueden causar cálculos de borde falsos, produciendo medidas inexactas. La iluminación pobre también puede producir una relación señal a ruido baja y hacer tareas como la umbralización más difícil [11].

## 6.3. Filtrado

En esta fase del proyecto, el principal objetivo es lograr el mejoramiento de la imagen con el fin de hacerla más adecuada, optimizando ciertas características de la misma, de tal manera que facilite efectuar operaciones para el procesamiento de la misma. Teniendo en cuenta que en este punto lo más importante es resaltar los bordes, se cuentan con diferentes tipos de filtrado, de los cuales, el que desempeña mejor la tarea es el filtro no lineal estadístico ordenado.

El filtrado estadístico de orden bidimensional consiste en realizar operaciones no lineales ordenando los valores en la vecindad de cada punto de menor a mayor para posteriormente seleccionar un valor a partir de la lista ordenada, este valor es el más alto para este proyecto, debido a que lo que se pretende es resaltar los bordes. Este tipo de filtrado permite preservar el borde además de remover impurezas. La figura 6.6 muestra el resultado de aplicar este filtro.

El resultado obtenido al aplicar el filtro es significativamente positivo, lo cual se puede observar en la figura 6.6 en donde los bordes son realzados y a simple vista se ve mayor intensidad en los mismos, cumpliendo con el objetivo de realce.

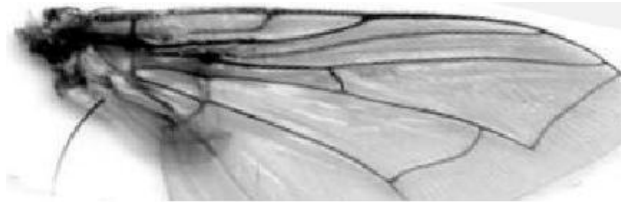


Figura 6.5: Ala *Lucilia sericata* antes del filtrado. Fuente: Autoras



Figura 6.6: Ala *Lucilia sericata* después de aplicar el filtro no lineal. Fuente: Autoras

## 6.4. Variación del rango dinámico

Una vez realzada la imagen el siguiente paso fue realizar la variación del rango dinámico, que en palabras simples, es aumentar o disminuir los niveles de gris, partiendo del hecho de que para imágenes de 8 bits el rango está comprendido entre 0 y 255, siendo 0 la una intensidad de gris oscura y 255 una intensidad de gris muy brillante llegando a ser blanca. Para hacer efectiva esta variación, MATLAB cuenta con herramientas básicas para las transformaciones de intensidad en imágenes, las cuales permiten manipular la intensidad de la imagen, donde los parámetros necesarios son los valores de mínimo y máximo de intensidad de la imagen a tratar, y los nuevos valores en que se ajustará la imagen [12].

El parámetro para seleccionar el rango, fue el umbral de binarización el cual permite distinguir tres rangos de valores para que posteriormente se pueda tomar la decisión de cual rango se adecua mejor a la imagen que se va a tratar. En este proceso se obtiene como resultado que los bordes se vean aún más resaltados, tal como se muestra en la Figura 6.7.

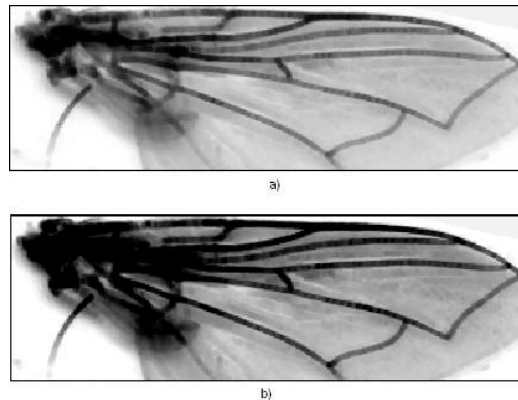


Figura 6.7: Variación de rango de la imagen. a) Imagen de entrada. b) Imagen de salida.  
Fuente: Autoras

## 6.5. Detección de Bordes

La detección de bordes es un paso clave para la detección de esquinas, las cuales son características indispensables para el cumplimiento del principal propósito de este proyecto. Como primera fase de esta etapa, se realizó un filtrado con un operador LoG (Laplaciano del Gaussiano), puesto que este filtro primero suaviza la imagen con un filtrado Gaussiano y después se hace la detección de bordes con un filtro de Laplace, de este modo se evita el aumento del nivel del ruido que se obtendría al utilizar sólo filtro de Laplace.

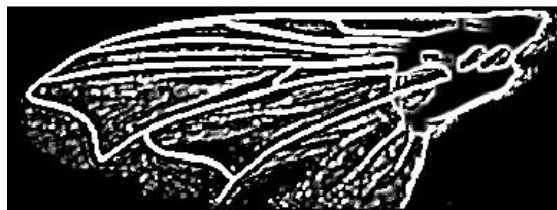


Figura 6.8: Resultado del filtro Laplaciano del Gaussiano. Fuente: Autoras

Como resultado de este proceso, se obtiene una imagen en escala de grises en la cual no sólo se realzan los bordes deseados sino también algunos otros cambios de contraste en la

imagen original, por lo tanto se hace necesario eliminar todos estos elementos indeseados que de cualquier manera dificultarían el proceso de detección de esquinas. Para esto, se binarizó la imagen (Figura 6.9) y se llevaron a cabo operaciones morfológicas con el fin de eliminar aquellas regiones que poseen pocos píxeles, disminuir el grosor de los bordes detectados y reducir las líneas con uno de sus extremos desconectados (Figura 6.10).

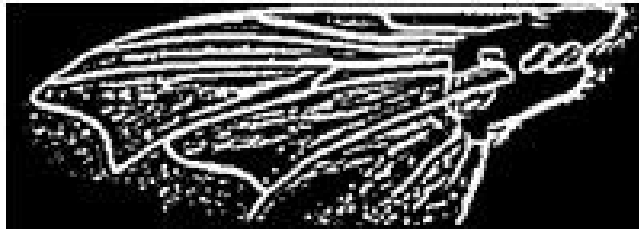


Figura 6.9: Imagen binarizada antes de realizarse las operaciones morfológicas para el ruido.  
Fuente: Autoras

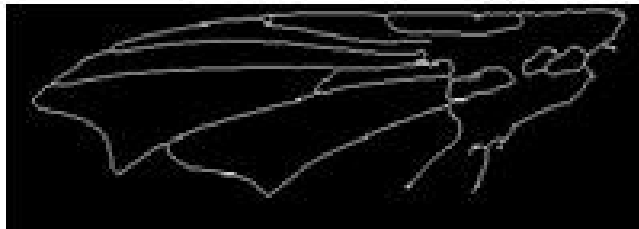


Figura 6.10: Imagen con los bordes detectados y minimización de ruido. Fuente: Autoras

## Capítulo 7

# PROCESADO DE IMÁGENES

### 7.1. Landmark

El estudio de la forma y el tamaño de un objeto en morfometría geométrica se hacen mediante los puntos morfométricos o landmarks con el objetivo de obtener la geometría de la imagen que se está analizando. Los *landmarks* son caracteres basados en coordenadas, de los cuales se puede deducir la forma de los organismos para luego estudiarla y compararla por medio de los métodos apropiados para describir y analizar las diferencias. Un *landmark* es un punto en un espacio bidimensional o tridimensional que corresponde a la posición de un rasgo en particular en un objeto. Por ejemplo, en el estudio de las alas un *landmark* puede ser definido como el punto que marca la inserción de dos venas o bien ciertas curvaturas que tienen las venas.

La elección de los *landmarks* depende de la característica biológica que se desea estudiar: la homología de estos puntos puede ser exclusivamente operativa (desde una correspondencia geométrica entre los *landmarks* en los objetos hasta estructuras biológicamente homólogas) en función del propósito del estudio. Así, los *landmarks* pueden ser puntos precisos en el objeto que muestren algún significado filogenético, estructural, funcional o de desarrollo [13].

#### 7.1.1. Tipos de landmark

Los tres tipos principales de puntos que son frecuentemente usados como landmarks son llamados tipo I, tipo II y tipo III [3].

- **Tipo I:** Discreta yuxtaposición de tejidos

Estos *landmarks*, tradicionales o anatómicos, son puntos matemáticos cuya supuesta homología de un individuo a otro es respaldada por una sólida evidencia o significación biológica, como un patrón local de yuxtaposición de tejidos, la intersección de suturas craneanas o la inserción de venas. En esta categoría se incluyen puntos en el espacio que cumplan tres estructuras, tales como las siguientes:

- ★ Las suturas óseas bajo el puente de la nariz en los seres humanos.
- ★ Puntos de ramificación de las estructuras del árbol de la topología constante, como las características de mayor escala de los sistemas arteriales o nervioso, ya sea en dos dimensiones o tres; incluyendo centros o centroides “suficientemente pequeños”, preferiblemente convexas, tales como el ojo de los vertebrados o núcleos del cerebro.
- ★ Las intersecciones de las curvas extendidas con los planos de simetría.

Dichos puntos se pueden modelar en cualquier dirección (geométrica) por crecimiento relativo inmediatamente adyacente a una distancia.

■ **Tipo II:**Máximo de curvatura u otro proceso morfométrico local

Estos incluyen puntas de extrusiones y los valles de invaginaciones, también pueden significar una respuesta a una protuberancia [3]. Esta clase de *landmarks* son puntos matemáticos cuya supuesta homología de un individuo a otro es respaldada únicamente por la geometría y no por evidencia anatómica. Dentro de este tipo se tienen los *fuzzy landmarks* que en [13] se determinan como aquellos puntos que son definidos por una estructura biológica que está en una región determinada pero que ocupa un área que es mayor a dicho punto.

■ **Tipo III:**Puntos extremos

Se refieren a puntos localizados en cualquier lugar a lo largo de un contorno o entre dos landmarks anatómicos o matemáticos. Generalmente existen superficies de interés en las que no se pueden localizar *landmarks* tradicionales; en estos casos, los *landmarks* pueden ser construidos [9]. Considerando los tipos de *landmarks* anteriormente descritos, se proceden a marcar los *landmarks* que se van a trabajar en el ala Calliphoridae, que son tipo I y II, tal como lo muestra la Figura 7.1.

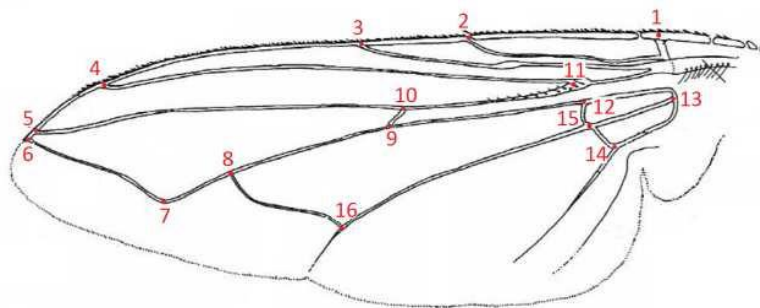


Figura 7.1: *Landmarks* ubicadas en el ala Calliphoridae. Fuente: Autoras.

## 7.2. Detección de Esquinas

Antes de realizar la detección de las esquinas, se realizó una selección del área de trabajo teniendo como referencia la ubicación de cada tipo de landmark en las imágenes. En todas las alas se tiene en la parte derecha una región que no es de interés: la sección lateral central, dado que allí se encuentra el empalme de todas las venas generando una complicación en la detección de los landmarks correctos, por lo tanto, dicha región es borrada de la imagen que se va a analizar (Figura 7.3). En este punto se emplearon nuevamente operaciones morfológicas para la detección de puntos de ramificación en las alas, pero con este método sólo es posible detectar correctamente landmarks Tipo I, aunque también detecta parcialmente algunas de las esquinas Tipo II, debido a ruidos presentes en las alas que las hacen parecer Tipo I.

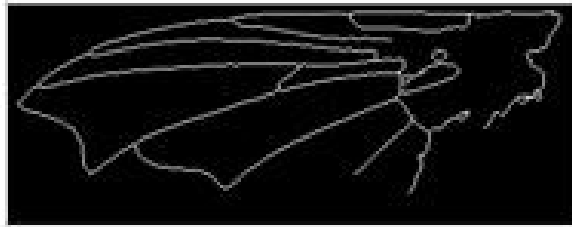


Figura 7.2: Imagen en donde se detectarán los *landmarks*. Fuente: Autoras.

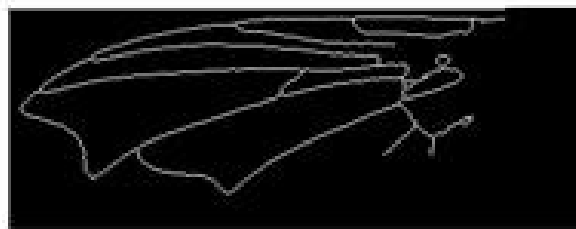


Figura 7.3: Área de interés para landmarks tipo I. Fuente: Autoras.

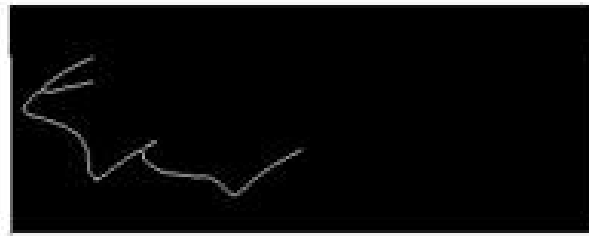


Figura 7.4: Área de interés para landmarks tipo II. Fuente: Autoras.

Para poder detectar correctamente las esquinas Tipo II se realizó un recorte de la imagen teniendo como referencia la posible ubicación de este tipo de esquinas (parte inferior izquierda de la imagen) (Figura 7.4). Al tener ya segmentada la región de interés, se realizó la correlación entre dicha región y unos patrones de referencia, algunos de ellos mostrados en la Figura 7.5. Estos patrones fueron calculados a partir de un grupo de alas de referencia.

Se efectuó con éxito la correlación para todas las alas en las esquinas Tipo II, debido a que todas poseen características muy similares entre sí, es decir, tienen patrones comunes.

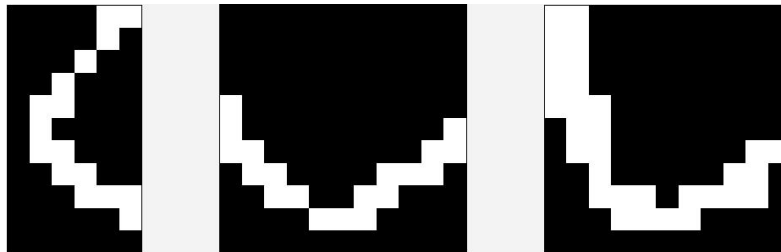


Figura 7.5: Patrones de las esquinas 6, 7, 16 (*Landmarks* tipo II). Fuente: Autoras.

Los resultados de los dos procesos de detección de esquinas fueron sumados para obtener una matriz con todas las esquinas presentes en las alas. Como se mencionó anteriormente, el método de detección de esquinas Tipo I también detectaba la ubicación de algunas esquinas Tipo II, pero con una diferencia de pocos píxeles respecto la ubicación obtenida por el método de correlación (Figura 7.7), razón por la cual al realizar la suma se presentaron detecciones dobles y se hizo necesario un algoritmo para eliminar dicho inconveniente. Este algoritmo consta básicamente de operaciones morfológicas para primero unir dichos puntos quedando una región de varios píxeles y luego volver a reducir dicha región a un punto.

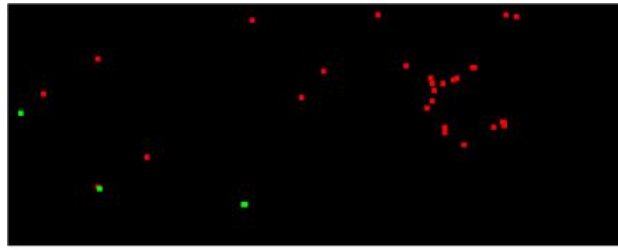


Figura 7.6: Detección de *landmarks* Tipo I (rojo) y Tipo II (verde), además de falsas detecciones. Fuente: Autoras.

Sin embargo seguían detectándose “falsas” esquinas que podrían dificultar el proceso posterior de extracción de características para clasificación; por ende se llevaron a cabo operaciones morfológicas que permitieron reducir el número de falsas detecciones.



Figura 7.7: Reducción de falsas esquinas. Fuente: Autoras.

## Capítulo 8

# EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

La extracción de características se realizó con los datos de la ubicación de cada *landmark*, pero estos dependen de la orientación, el tamaño y desplazamiento del objeto, es por ello que para eliminar estos parámetros que no permiten un análisis general para cualquier ala, las coordenadas cartesianas de la ubicación de los *landmarks* son transformadas a coordenadas Procrustes, las cuales se expondrán a continuación [9].

### 8.1. Transformación a coordenadas Procrustes

El parámetro de interés es la información geométrica y para ello es necesario eliminar a partir de una serie de transformaciones con respecto a los efectos de traslación, rotación y escala en el objeto que se va a analizar [3].

Antes de proceder con cualquier enfoque, se debe empezar con un modelo de probabilidad para la generación de los datos de localización de los *landmarks* originales. Esto supondrá un conjunto de tres puntos fijos, donde están localizados los *landmarks* significativos de la población verdadera, sobre los datos observados que varían independientemente, con una distribución idéntica (i.i.d) de medición de los “errores” en cada una de las coordenadas cartesianas por separado [3].

Estas mediciones subyacentes distribución de errores no son observables en la práctica. En ausencia de cualquier prueba contraria es conveniente suponer que se distribuyen normalmente. Se escriben como verdaderos las localizaciones medias como  $W_1, W_2, W_3$ , y se deja que la localización de las *landmarks* sea  $Z_i = W_i + dZ_i$ ,  $i=1,2,3$  donde  $dZ_i$  es un vector pequeño en el plano de datos. Los componentes de  $dZ_i$ , en caso de que sean necesarios se pueden escribir como  $(\varepsilon_{ix}, \varepsilon_{iy}), i=1,2,3$ .

La distribución de cada par de  $\varepsilon_{ix}$ , es bajo el supuesto de normalidad, en sí una distribución circular normal, normal en todas las direcciones con la misma varianza pequeña de  $\sigma^2$ , como

lo muestra la Figura 8.1.

Sea  $b$  la base de la línea  $|W_1 - W_2|$  del triángulo medio verdadero y el conjunto  $p^2$  la suma de longitudes de cuadrados de los lados de dicho triángulo,  $p^2 = |W_1 - W_2|^2 + |W_1 - W_3|^2 + |W_2 - W_3|^2$ . Se asume que a lo largo de  $\sigma^2 \ll b^2$  la varianza del error en las landmarks son pequeñas en comparación con la base de la referencia elegida.

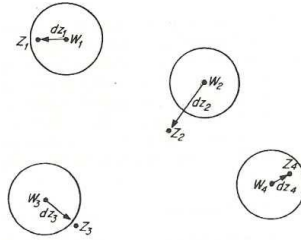


Figura 8.1: Reducción de falsas esquinas. Fuente: Autoras.

### ★ Transformaciones

Considerando la deformación de  $\Delta W_1 W_2 W_3$ , en el triángulo  $W_1 + (\varepsilon_{1x}, \varepsilon_{1y}), W_2 + (\varepsilon_{2x}, \varepsilon_{2y}), W_3 + (\varepsilon_{3x}, \varepsilon_{3y})$ , donde  $\varepsilon_{1x}, \dots, \varepsilon_{3y}$  son una distribución idénticamente independiente,  $N(0, \sigma^2), \sigma^2$  pequeña, se muestra que el aspecto de la forma de esta deformación son aquellas de la deformación de  $\Delta W_1 W_2 W_3$ , en el triángulo.

$$W_1, W_2, W_3 + (\nu_1, \nu_2), \quad (8.1)$$

Donde  $(\nu_1, \nu_2)$  es  $N(0, p^2 \sigma^2 / b^2)$ ,

El objetivo es transformar los puntos  $W_1$  y  $W_2$  a las localizaciones predefinidas  $(0,0)$  y  $(b,0)$ , respectivamente, ubicando al punto  $W_3$  en un punto transformado.

Lo verdaderamente importante de todo lo que se ha expuesto en esta sección es ver lo que se le añade a  $W_3$ , además de ver que en cada paso como se deshace el ruido en las coordenadas  $W_1$  y  $W_2$ .

A continuación se precisan las aproximaciones de primer orden para  $\varepsilon$  para cada transformación que se va a realizar.

### Traslación

La traslación representa el desplazamiento en cualquier dirección. Matemáticamente, la traslación se traduce en la suma de una matriz con la misma cantidad de filas a la matriz de coordenadas de *landmarks*. En términos prácticos la eliminación de los efectos de traslación se logra desplazando los centroides de todos los objetos al origen del sistema de coordenadas. [9]

Algebraicamente, la transformación se aplica a  $\Delta W_1 W_2 W_3$ , y se representa así:

$$W_1 + (\varepsilon_{1x}, \varepsilon_{1y}), W_2 + (\varepsilon_{2x}, \varepsilon_{2y}), W_3 + (\varepsilon_{3x}, \varepsilon_{3y}), \quad (8.2)$$

$$W_1, W_2 + (\varepsilon_{2x} - \varepsilon_{1x}, \varepsilon_{2y} - \varepsilon_{1y}), W_3 + (\varepsilon_{3x} - \varepsilon_{1x}, \varepsilon_{3y} - \varepsilon_{1y}), \quad (8.3)$$

La Figura 8.2 muestra con mayor claridad la traslación.

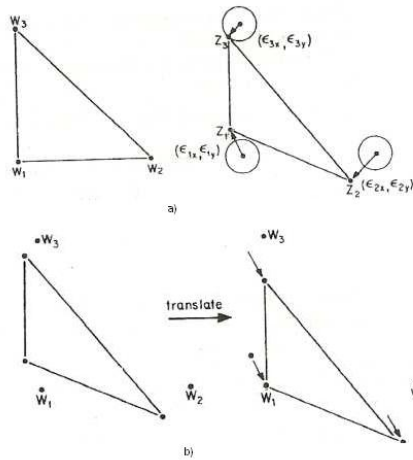


Figura 8.2: a) Triángulo  $\Delta W_1 W_2 W_3$ , con la distribución. b) Transformación respecto a su traslación. Fuente: [3].

### Rotación

Se entiende por rotación, los cambios en la orientación caracterizada como movimiento alrededor de un eje. Matemáticamente, la rotación de un objeto corresponde a la multiplicación de la matriz de coordenadas de *landmarks* por una matriz ortogonal. [9]. Algebraicamente la transformación se aplica a  $\Delta W_1 W_2 W_3$ , y se representa así:

$$W_1, W_2 + (\varepsilon_{2x} - \varepsilon_{1x}, 0), W_3 + (\varepsilon_{3x} - \varepsilon_{1x}, \varepsilon_{3y} - \varepsilon_{1y}) + (s, -r) \frac{(\varepsilon_{2y} - \varepsilon_{1y})}{b} \quad (8.4)$$

Es decir, por rotación del segundo triángulo en el sentido de las manecillas del reloj en  $(\varepsilon_{2y} - \varepsilon_{1y})/b$  radianes.

Esas diferencias para un cambio de escala son:  $(b/(b + \varepsilon_{2x} - \varepsilon_{1x}))$  o  $(1 - (\varepsilon_{2x} - \varepsilon_{1x})/b)$

A continuación se presenta la Figura 8.3 para ilustrar la rotación de  $\Delta W_1 W_2 W_3$

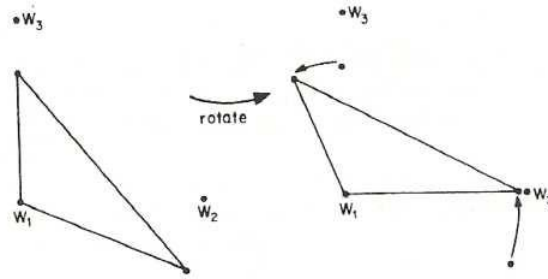


Figura 8.3: Transformación respecto a su rotación. Fuente: [3].

### Escalamiento

Las diferencias de escala se eliminan con un CS (centroid size) igual a 1 (Figura 8.4). Algebraicamente la transformación se demuestra así:

$$W_1, W_2, W_3 + (\varepsilon_{3x} - \varepsilon_{1x}, \varepsilon_{3y} - \varepsilon_{1y}) + (s, -r) \frac{(\varepsilon_{2y} - \varepsilon_{1y})}{b} + (-r, -s) \frac{(\varepsilon_{2x} - \varepsilon_{1x})}{b}, \quad (8.5)$$

En términos de deformación:

$$W_1, W_2, W_3 + (\nu_1, \nu_2), \quad (8.6)$$

Siendo:

$$\nu_1 = (\varepsilon_{1x} \left(\frac{r}{b} - 1\right) + \varepsilon_{1y} \left(\frac{-s}{b}\right) + \varepsilon_{2x} \left(\frac{-r}{b}\right) + \varepsilon_{2y} \left(\frac{s}{b}\right) + \varepsilon_{3x}, \quad (8.7)$$

$$\nu_2 = (\varepsilon_{1x} \left(\frac{s}{b}\right) + \varepsilon_{1y} \left(\frac{r}{b} - 1\right) + \varepsilon_{2x} \left(\frac{-s}{b}\right) + \varepsilon_{2y} \left(\frac{-r}{b}\right) + \varepsilon_{3y}, \quad (8.8)$$

En la Figura 8.4 se ilustra de una forma más clara el escalamiento.

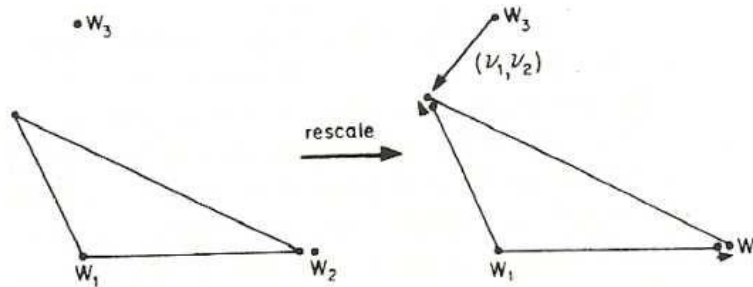


Figura 8.4: Transformada con respecto al escalamiento. Fuente: [3].

Con el escalamiento se da por terminada la transformación a coordenadas Procrustes, obteniendo el objetivo principal que es la eliminación del tamaño, orientación y desplazamiento del objeto.

## 8.2. Tamaño y el concepto de *centroid size* en MG

Las diversas definiciones existentes con respecto al *centroid size* (CS) están directamente relacionadas con el tipo de análisis que se lleve a cabo. Para una idea más concreta se puede mencionar por ejemplo el estudio del tamaño de un objeto puede ser definido como un área, una longitud, un peso, un volumen o un centroide. En la mayoría de los análisis, el tamaño está representado por una sola medida (longitud total, peso total), por una combinación lineal de medidas (media aritmética) o por la relación entre medidas (área, volumen, media geométrica). Ninguno de estos modos de medir el tamaño es intrínsecamente mejor que otro, pero la elección del tipo de medida es de gran importancia para obtener resultados relevantes según el análisis utilizado [14].

En Morfometría geométrica, el *centroid size* es el estimador más utilizado de tamaño. El CS es igual a la raíz cuadrada de la suma de las distancias al cuadrado desde un conjunto de *landmarks* al centroide que ellos definen o de la misma manera, la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de los *landmarks* alrededor del centroide en las direcciones ‘x’ e ‘y’ [3].

El *centroid size* es utilizado en MG porque en ausencia de alometría, no se correlaciona con ninguna variable de forma [15] cuando los *landmarks* están distribuidos alrededor de su media independientemente y presentan pequeñas varianzas en cada punto y en cada dirección. El *centroid size* es la medida de tamaño que se usa para escalar una configuración de *landmarks* de tal manera que puedan ser proyectados como un punto en el espacio.

## 8.3. Radio mínimo de curvatura

En general, hay dos tipos importantes de curvatura: curvatura extrínseca y la curvatura intrínseca. La curvatura extrínseca en el espacio bidimensional y tridimensional fue el primer tipo de curvatura estudiada y que derivó en las formulas de Frenet, estas formulas describen por completo una curva en el espacio en términos de su “curvatura”, torsión y el punto de partida inicial y su dirección [?].

La forma más simple de curvatura y que por lo general se encuentra por primera vez en cálculo es una curvatura extrínseca. En dos dimensiones, una curva plana se da por las ecuaciones paramétricas cartesianas  $x=x(t)$  y  $y=y(t)$ . Luego la curvatura  $K$ , en algunas ocasiones es conocida como “curvatura primera” [16].

$$K = \frac{d\varphi}{ds} = \frac{d\varphi/ds}{ds/dt} = \frac{d\varphi/dt}{\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}} = \frac{d\varphi/dt}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \quad (8.9)$$

Donde  $\varphi$  es el ángulo tangencial y  $s$  es la longitud de arco. Como se puede ver se parte de la definición de curvatura por ello ésta tiene unidades de distancia inversa. La derivada en la ecuación anterior se puede encontrar utilizando la siguiente identidad:

$$\tan\varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{dy/dt}{dx/dt} = \frac{y'}{x'} \quad (8.10)$$

Como

$$\frac{d}{dt}(\tan\varphi) = \sec^2\varphi \frac{d\varphi}{dt} = \frac{x'y'' - y'x''}{x'^2} \quad (8.11)$$

Entonces

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{\sec^2} \frac{d}{dt}(\tan\varphi) \quad (8.12)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{1 + \tan^2} \frac{x'y'' - y'x''}{x'^2} \quad (8.13)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{1 + \frac{y'^2}{x'^2}} \frac{x'y'' - y'x''}{x'^2} \quad (8.14)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{x'y'' - y'x''}{x'^2 + y'^2} \quad (8.15)$$

Combinando la ecuación 8.9, 8.13 y 8.15

$$K = \frac{x'y'' - y'x''}{(x'^2 + y'^2)^{3/2}} \quad (8.16)$$

Para una curva de dos dimensiones se escriben de la forma  $y=f(x)$ , así como se expresa en la ecuación 8.16, entonces la ecuación de la curva en función del radio está dada por la ecuación 8.17.

$$K = \frac{1}{R} \quad (8.17)$$

Entonces el radio de curvatura esta dado por la siguiente expresión

$$R = \frac{(x'^2 + y'^2)^{3/2}}{x'y'' - y'x''} \quad (8.18)$$

## Capítulo 9

# PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Esta sección está dividida en dos partes, en primer lugar se presentan los resultados obtenidos manualmente y en segundo lugar se presentan los resultados obtenidos por el sistema automatizado.

### 9.1. Presentación de resultados obtenidos de forma manual

#### 9.1.1. Transformación a coordenadas Procrustes

En un principio se implementó la transformada Procrustes para los *landmarks* obtenidos manualmente, es decir, a partir de la imagen real se escogió la ubicación de cada punto tal como se muestra la Figura 9.1.

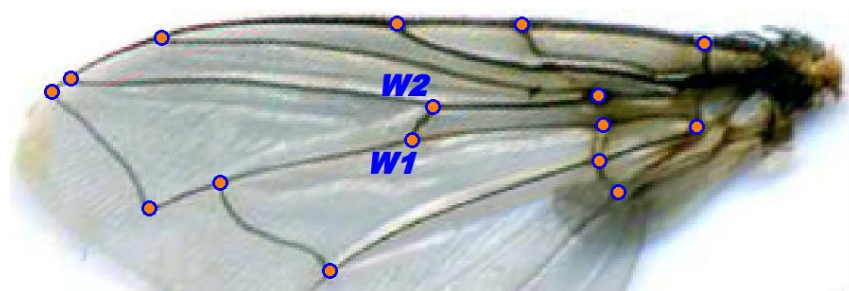


Figura 9.1: Ala de la especie *lucilia sericata* con los landmarks detectados manualmente.  
Fuente: Autoras

Es preciso enfatizar que para el análisis y procesado en coordenadas Procrustes, es necesario definir  $W1$  y  $W2$ , las cuales para el desarrollo de este trabajo son establecidas como los *landmarks* 9 y 10 respectivamente, tal como se puede ver en la Figura 9.1.

Con estos dos parámetros propuestos, se procede a realizar la transformación y se obtiene como resultado las gráficas mostradas en las Figuras 9.2, 9.3 y 9.4, en ellas cada color corresponde a los *landmarks* de cada una de las alas.

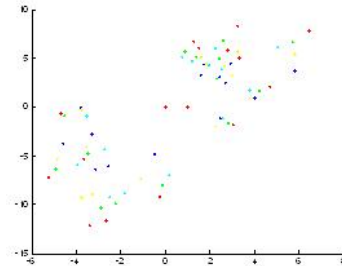


Figura 9.2: Landmarks en transformada Procrustes de las alas *Lucilia sericata*. Fuente: Autoras

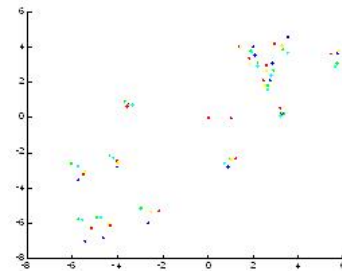


Figura 9.3: Landmarks con la transformada Procrustes de las alas *chrysomia megacephala*. Fuente: Autoras

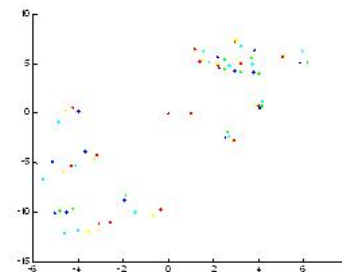


Figura 9.4: Landmarks con la transformada Procrustes de alas *Calliphora vicina*. Fuente: Autoras

En ellas, se pueden observar cómo la forma entre cada especie va cambiando, lo cual hace de esta transformada un parámetro diferenciador clave para el estudio de las imágenes.

9.1.2. *Centroid size*

A continuación se presentan los resultados obtenidos al ubicar las landmarks de forma manual para una muestra de la población de cada una de las especies con las que se cuenta (Tablas 9.1, 9.2 y 9.3).

<i>Landmarks</i>	<b>Ala 1</b>	<b>Ala 2</b>	<b>Ala 3</b>	<b>Ala 4</b>	<b>Ala 5</b>
1	10.06	11.18	7.63	9.98	10.11
2	9.46	10.40	7.03	9.44	9.63
3	7.52	8.55	6.49	7.37	7.31
4	7.02	8.09	5.10	7.19	6.99
5	5.49	6.19	4.79	5.36	5.53
6	4.37	5.18	4.51	4.22	4.26
7	2.58	3.00	0.51	2.56	2.60
8	0.42	0.59	2.43	0.65	0.43
9	0.77	0.88	0.53	0.86	0.69
10	4.36	4.68	3.87	3.89	3.81
11	4.10	4.51	3.72	4.67	4.92
12	5.16	6.12	3.85	5.42	5.31
13	5.55	6.31	4.36	5.60	5.37
14	6.02	6.77	4.91	5.95	6.24
15	7.37	8.16	5.48	7.07	6.89
16	8.68	9.68	7.18	8.25	9.22
<i>Centroid size</i>	24.76	27.81	19.86	24.51	24.92

Tabla 9.1: Distancias euclidianas de cada *landmark* de la especie *Lucilia sericata* con respecto al centroide que entre ellas definen y *centroid size* en coordenadas Procrustes.

<i>Landmarks</i>	Ala 1	Ala 2	Ala 3	Ala 4	Ala 5
1	7.12	7.41	7.78	9.24	7.74
2	6.54	6.76	7.16	8.53	7.16
3	5.21	5.40	6.29	6.68	5.59
4	5.69	5.87	5.64	7.01	6.00
5	4.17	4.24	4.52	4.97	4.47
6	3.20	3.23	3.64	2.86	3.50
7	2.19	2.26	2.40	3.90	2.36
8	0.34	0.41	0.26	0.51	0.34
9	1.17	1.25	1.17	1.34	1.18
10	3.21	3.32	3.59	3.79	3.38
11	3.28	3.41	3.58	4.13	3.44
12	3.82	3.92	4.24	4.95	4.00
13	3.82	4.02	4.31	5.04	4.14
14	4.34	4.46	4.67	5.62	4.55
15	5.22	5.17	5.58	6.61	5.48
16	6.21	6.42	6.81	7.88	7.25
<i>Centroid size</i>	17.95	18.49	19.65	22.84	19.44

Tabla 9.2: Distancias euclidianas de cada *landmark* de la especie *Chrysomia megacephala* con respecto al centroide que entre ellas definen y *centroid size* en coordenadas Procrustes.

<i>Landmarks</i>	<b>Ala 1</b>	<b>Ala 2</b>	<b>Ala 3</b>	<b>Ala 4</b>	<b>Ala 5</b>
1	11.98	11.06	11.39	11.02	10.26
2	11.44	10.60	11.00	10.82	9.98
3	9.05	8.41	8.83	9.08	8.47
4	7.95	7.32	7.22	6.74	6.19
5	6.01	5.42	5.34	4.95	4.69
6	4.95	4.57	4.50	3.14	3.11
7	2.90	2.72	3.00	4.61	4.39
8	0.81	0.58	0.58	0.64	0.62
9	1.22	0.80	0.94	0.97	0.69
10	4.45	4.10	4.09	3.64	3.49
11	6.00	5.62	5.75	5.71	5.16
12	6.11	5.72	5.79	5.85	5.35
13	6.76	6.02	6.25	6.07	5.79
14	7.06	6.62	6.89	6.57	6.50
15	8.05	7.24	8.29	7.72	7.17
16	9.01	8.49	8.08	8.04	7.53
<i>Centroid size</i>	28.75	26.53	27.29	26.62	24.88

Tabla 9.3: Distancias euclidianas de cada *landmark* de la especie *Calliphora vicina* con respecto al centroide que entre ellas definen y *centroid size* en coordenadas Procrustes.

Con los datos de *centroid size* de las tablas 9.1, 9.2 y 9.3 (Figura 9.5) se obtuvieron la media geométrica y la desviación estándar para cada especie (Tabla 9.4).

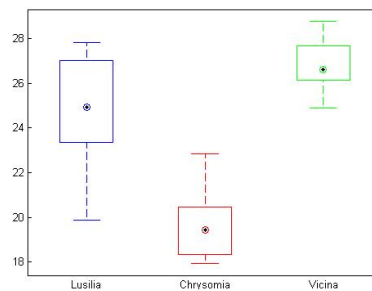


Figura 9.5: Rangos de los centroid size de cada especie. Fuente: Autoras

<i>Centroid size</i>	<i>Lucilia sericata</i>	<i>Chrysomia megacephala</i>	<i>Calliphora vicina</i>
Media geométrica	24.23	19.61	26.78
Desviación estándar	2.86	1.9	1.398

Tabla 9.4: Media geométrica del *centroid size* de las tres especies con sus respectivas desviaciones estándares.

Analizando los datos mostrados en la tabla 4, es posible visualizar que las medias geométricas son diferentes para cada muestra tomada con respecto a cada especie, siendo el *centroid size* más alto para la especie *Calliphora vicina* y el más pequeño para la especie *Chrysomia megacephala*. El valor del CS de la especie *Lucilia sericata* es intermedio, pero se solapa con las muestras de la *Calliphora vicina* debido a su alta dispersión.

### 9.1.3. Radio mínimo de curvatura

Con la ecuación 8.17 se puede obtener el radio mínimo de curvatura en  $t=0$ , para ello se toman los landmarks 2, 3, 4, 5 y 6 (ver Figura 9.6), que representan la parte superior externa, más específicamente, son puntos asociados a la vena principal del ala, los cuales permiten establecer una curva característica y tratarla en coordenadas paramétricas para aplicar la ecuación 8.17.



Figura 9.6: Ala de la especie *Lucilia sericata* con los landmarks 2 a 6. Fuente: Autoras

En las siguientes tablas se muestran los resultados al usar la detección manual de los puntos claves para la curva característica.

<i>Radio Mínimo</i>	<i>Lucilia sericata</i>	<i>Chrysomia megacephala</i>	<i>Calliphora vicina</i>
<b>Ala 1</b>	404.30	448.59	631.66
<b>Ala 2</b>	382.68	419.44	594.94
<b>Ala 3</b>	350.99	447.16	588.54
<b>Ala 4</b>	392.66	417.63	509.97
<b>Ala 5</b>	416.32	419.05	492.42

Tabla 9.5: Radio mínimo para una muestra de cada especie.

Con los datos anteriores de la curvatura máxima se obtiene el valor de la media geométrica con su respectiva desviación estándar.

<i>Radio Mínimo</i>	<i>Lucilia sericata</i>	<i>Chrysomia megacephala</i>	<i>Calliphora vicina</i>
<b>Media geométrica</b>	388.74	430.14	560.95
<b>Desviación estándar</b>	24.89	16	59.53

Tabla 9.6: Media geométrica del radio mínimo con su respectiva desviación estándar.

Para describir, por medio de la curvatura, que estas especies son diferentes y separables se aprecia la Figura 9.7.

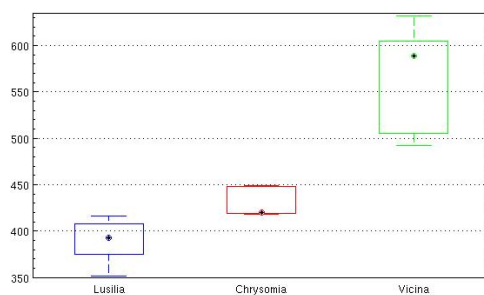


Figura 9.7: Rangos del radio mínimo de cada especie. Fuente: Autoras

Con la media geométrica obtenida para cada especie se deduce otro elemento diferenciador, puesto que el mayor valor lo alcanza la especie *Calliphora vicina* siguiendo en orden descendente la especie *Chrysomia megacephala* y por último está la especie *Lucilia sericata* con el valor mínimo.

## 9.2. Presentación de resultados obtenidos de forma automática

Al abordar esta sección se tienen dos partes para analizar: identificación automática de *landmarks* y cuantificación de variables diferenciadoras de MG basadas en *landmarks*.

### 9.2.1. Identificación automática de landmarks

Teniendo en cuenta que para cada ala es necesario detectar 16 puntos de interés; tomando 10 alas serían 160 puntos en total. En las Tablas 9.7 a 9.9 se plantea el análisis de aciertos y falsas detecciones.

<i>Lucilia sericata</i>	ES PUNTO	NO ES PUNTO	
DETECTADOS	137	33	19,41 %
NO DETECTADOS	23		
	85,63 %		

Tabla 9.7: Porcentajes de *landmarks* acertadas y falsas detecciones para las alas *Lucilia sericata*.

<i>Chrysomia megacephala</i>	ES PUNTO	NO ES PUNTO	
DETECTADOS	145	45	26,68 %
NO DETECTADOS	15		
	90,63 %		

Tabla 9.8: Porcentajes de *landmarks* acertadas y falsas detecciones para las alas *Chrysomia megacephala*.

<i>Calliphora vicina</i>	ES PUNTO	NO ES PUNTO	
DETECTADOS	148	95	39,09 %
NO DETECTADOS	12		
	92,50 %		

Tabla 9.9: Porcentajes de *landmarks* acertadas y falsas detecciones para las alas *Calliphora vicina*.

Se calcularon los porcentajes basados en los puntos de interés detectados y no detectados, también de los puntos que no son de nuestro interés pero que sin embargo no fue posible

eliminarlos.

### 9.2.2. Cuantificación de variables diferenciadoras

Se cuentan con tres parámetros diferenciadores tales como la transformación a coordenadas Procrustes, *centroid size* y por último radio mínimo de curvatura.

#### Transformada Procrustes

Seguidamente, con los *landmarks* detectados por el algoritmo implementado, se logran las gráficas de la transformada Procrustes para cada una de las especies, obteniendo las siguientes gráficas:



Figura 9.8: Transformada Procrustes de los *landmarks* de las alas *Lucilia sericata*. Fuente: Autoras

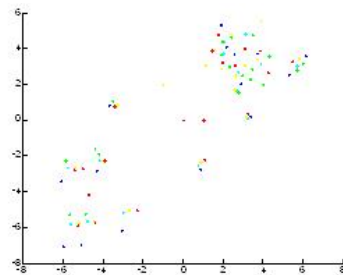


Figura 9.9: Transformada Procrustes de los *landmarks* de las alas *Chrysomia megacephala*. Fuente: Autoras

Comparando las gráficas anteriores (Figura 9.8 a 9.10), con las obtenidas manualmente (Figura 9.2 a 9.4) es posible ver que tanto los puntos obtenidos manualmente como los obtenidos automáticamente presentan un alto grado de similitud lo cual verifica que la forma prevalece y además las esquinas detectadas con el algoritmo permiten hacer una correcta

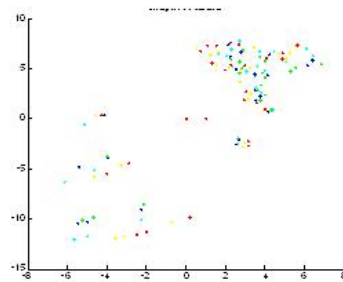


Figura 9.10: Transformada Procustes de los *landmarks* de las alas *Calliphora vicina*. Fuente: Autoras

diferenciación de especies, ya que las diferencias que presentan los puntos obtenidos entre una especie y otra son notables a simple vista. Analizando dichas figuras, los puntos están divididos en tres zonas: Zona 1 aquella en que la densidad de puntos es mayor con respecto con respecto a las demás zonas de la gráfica (sección superior derecha). Zona 2 aquella en que la densidad de puntos es menos densa con respecto a la zona 1 (parte inferior izquierda) y por último la zona 3, la cual es una cantidad mínima en comparación las otras dos zonas, las zonas se señalan en la Figura 9.11.

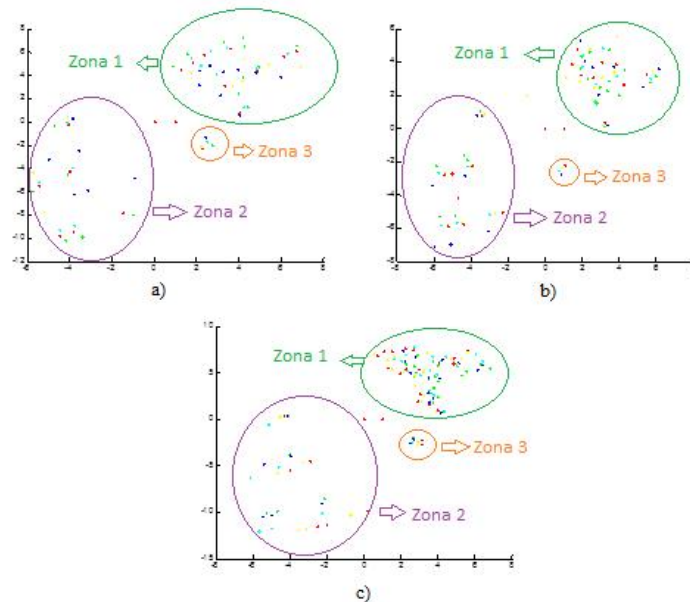


Figura 9.11: *Landmarks* en coordenadas Procustes de las 3 especies divididas por zonas. a) Especie *Lucilia sericata*. b) Especie *Chrysomia megacephala*. c) Especie *Calliphora vicina*. Fuente: Autoras

Observando los puntos obtenidos por zonas es posible ver que la zona 3 tiene la característica de permanecer diagonal a los puntos tomados como referencia para realizar la

transformación (W1 y W2) y además permanecen en los rangos mostrados en la Tabla 9.10.

	EJE X	EJE Y
<i>Lucilia sericata</i>	2 a 4	-1 a -3
<i>Chrysomia megacephala</i>	0 a 2	-2 a -4
<i>Calliphora vicina</i>	2 a 4	-3 a -4

Tabla 9.10: Rangos para los puntos de la zona 3.

De estos datos se puede concluir que cada especie de díptero puede ser diferenciada por los datos arrojados por la transformada Procrustes.

### Centroid size

Analizando el *centroid size* de cada especie se pueden apreciar la siguiente tabla de datos con los valores obtenidos automáticamente para cada especie.

<i>Centroid size</i>	<i>Lucilia sericata</i>	<i>Chrysomia megacephala</i>	<i>Calliphora vicina</i>
<b>Ala 1</b>	24.98	20.38	36.17
<b>Ala 2</b>	29.55	22.17	32.32
<b>Ala 3</b>	20.97	23.15	32.36
<b>Ala 4</b>	19.60	21.30	33.64
<b>Ala 5</b>	27.74	22.35	33.21
<b>Ala 6</b>	27.95	18.62	24.69
<b>Ala 7</b>	30.01	21.90	32.06
<b>Ala 8</b>	30.03	21.39	30.74
<b>Ala 9</b>	30.64	21.48	12.13
<b>Ala 10</b>	24.89	21.32	30.81

Tabla 9.11: *Centroid size* de cada ala de todas las especies *Lucilia sericata*, *Chrysomia megacephala* y 10 de la *Calliphora vicina*.

Con los datos anteriores del centroid size, se obtuvo la media geométrica y una desviación estándar dando como resultado la tabla que se muestra a continuación.

<i>Centroid size</i>	<i>Lucilia sericata</i>	<i>Chrysomia megacephala</i>	<i>Calliphora vicina</i>
Media geométrica	26.35	21.27	28.74
Desviación estándar	3.91	1.28	6.87

Tabla 9.12: Media geométrica del centroid size con su respectiva desviación estándar.

El análisis de estos datos lleva a mencionar que se guarda la misma relación de los datos tomados manualmente, puesto que también es la media geométrica de la especie *Calliphora vicina* el valor más alto y el valor más bajo lo tiene la especie *Chrysomia megacephala*, dando lugar a un valor intermedio a la especie *lucilia sericata* (Figura 9.12).

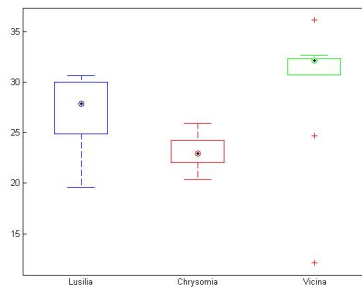


Figura 9.12: Rangos del *centroid size* de cada especie. Fuente: Autoras

Al comparar los resultados obtenidos manualmente con los conseguidos automáticamente, se pueden tener porcentajes de error de estos resultados:

		Media Geométrica	Desviación Estándar	% ERROR
<i>Lucilia sericata</i>	Manual	24.23	2.86	8.73 %
	Automatizado	26.35	3.91	
<i>Chrysomia megacephala</i>	Manual	19.60	1.90	8.48 %
	Automatizado	21.27	1.28	
<i>Calliphora vicina</i>	Manual	26.78	1.39	7.23 %
	Automatizado	28.74	6.87	

Tabla 9.13: Porcentajes de error al comparar *Centorid Size*.

### Radio mínimo de curvatura

Al igual que con las coordenadas Procrustes y el *centroid size*, se consideró el resultado de la curvatura con los *landmarks* detectados automáticamente; el algoritmo de detección automática de *landmarks*, dio como resultado los siguientes valores de curvatura máxima:

<i>Radio mínimo</i>	<i>Lucilia sericata</i>	<i>Chrysomia megacephala</i>	<i>Calliphora vicina</i>
<b>Ala 1</b>	531.61	453.15	556.01
<b>Ala 2</b>	380.68	348.63	542.36
<b>Ala 3</b>	352.17	453.12	541.97
<b>Ala 4</b>	518.69	441.04	488.72
<b>Ala 5</b>	399.97	420.44	461.26
<b>Ala 6</b>	415.85	440.62	550.68
<b>Ala 7</b>	379.09	355.45	592.51
<b>Ala 8</b>	408.69	412.93	548.83
<b>Ala 9</b>	460.86	470.27	516.71
<b>Ala 10</b>	615.83	422.78	556.34

Tabla 9.14: Radio mínimo para todas las especies *Lucilia sericata* y *Chrysomia megacephala*; 10 de la especie *Calliphora vicina*.

Con los datos obtenidos anteriormente (ver Figura 9.13), se puede observar que algunos de ellos guardan relación con los datos obtenidos de forma manual en la especie *Lucilia sericata*.

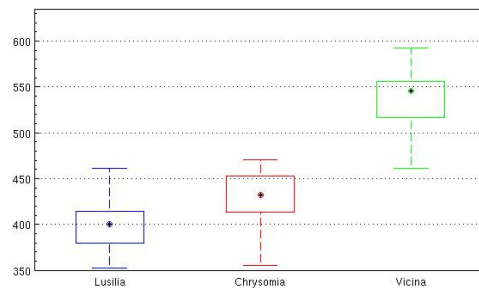


Figura 9.13: Rangos de la radio mínimo de cada especie. Fuente: Autoras

Los datos que no están guardando relación se debe a que durante el preprocesamiento y las operaciones morfológicas se deterioraron de cierta forma algunas venas hasta tal punto de que se eliminaron en la imagen y es por ello que al momento de detectar los landmarks estas no fueron detectadas, causando el error de esta medida, es por ello que la media geométrica de las imágenes que cuentan con todos los puntos para realizar esta medición arroja un valor como el especificado en la Tabla 9.15, con su respectiva desviación estándar, siendo este dato congruente con el valor obtenido manualmente.

Al comparar los dos métodos, uno con los *landmarks* logrados del algoritmo y otro con los marcados manualmente, se obtiene por resultado lo mostrado en la Tabla 9.16.

Para finalizar esta sección se puede concluir que el radio mínimo de curvatura es otro parámetro diferenciador, debido a que éste permite tener diversos valores máximos para la

<i>Radio mínimo</i>	<i>Lucilia sericata</i>	<i>Chrysomia megacephala</i>	<i>Calliphora vicina</i>
Media geométrica	389.90	419.98	534.32
Desviación estándar	25.16	40.65	37.50

Tabla 9.15: Media geométrica del radio mínimo con su respectiva desviación estándar.

		Media Geométrica	Desviación Estándar	% ERROR
<i>Lucilia sericata</i>	Manual	388.73	24.89	0.30 %
	Automatizado	389.89	25.16	
<i>Chrysomia megacephala</i>	Manual	430.14	16	2.36 %
	Automatizado	419.97	40.65	
<i>Calliphora vicina</i>	Manual	560.95	59.53	4.75 %
	Automatizado	534.31	37.50	

Tabla 9.16: Porcentajes de error de la comparación del radio mínimo.

*Calliphora vicina*, intermedio para la *Chrysomia megacephala* y mínimo para la *Lucilia sericata*, diferenciando una especie de otra.

## Capítulo 10

# CONCLUSIONES

En términos generales se alcanzó el objetivo principal el cual consiste en extraer características de las alas de las moscas mediante el desarrollo de un algoritmo que permite el estudio de los landmarks detectados automáticamente con herramientas enfocadas en el tratamiento de imágenes digitales siendo posible obtener resultados finales promisorios.

Un elemento esencial para el procesamiento de imágenes son las condiciones de captura y el estado de la imagen original, puesto que algunas imágenes con las que se cuentan en la base de datos proporcionadas, poseen diversas partículas que no pertenecen a la imagen y esto contribuye a que ésta no sea la más apta para tratarla; es clave resaltar que los bordes del ala son de vital importancia y tener ruido puede desgastar parte del borde o eliminarlo en casos extremos haciendo que se obtengan resultados que no son certeros.

Una clara ventaja que ofrece este sistema es la transformación que se le realiza a las coordenadas cartesianas de las landmarks detectadas, a coordenadas Procrustes haciendo que en este análisis, no se tenga en cuenta ni el tamaño ni la orientación, sólo la forma del ala de la mosca, permitiendo de esta manera que se distinga una característica diferenciadora entre especies.

El algoritmo fue validado mediante la ubicación de landmarks de forma manual obteniendo, la grafica de los mismos en las coordenadas Procrustes, los valores del centroid size y a su vez el radio mínimo de curvatura. Posteriormente se adquirieron esos mismos parámetros con el sistema automatizado y se logró observar la similitud de las gráficas para las coordenadas Procrustes, y de igual forma se observó gran similitud en los otros parámetros también estudiados, soportados con bajos porcentajes de error.

Resaltar los bordes utilizando filtrado laplaciano gaussiano es un método adecuado para efectuar esta tarea, donde principalmente se tiene por objetivo destacar la venación que tiene cada una de las alas; con este tipo de filtrado, se pretende tener una imagen menos susceptible al ruido; la detección de bordes y la segmentación hacen la combinación adecuada para el mejoramiento de la imagen.

Este trabajo es la muestra evidente de la capacidad de la ingeniería al expandirse en su campo de acción en otras ramas tales como es la biología, generando conocimiento a través

del trabajo interdisciplinario desde el estudio de morfometría y la generación de algoritmo que facilitan la labor investigativa soportada por la programación.

# Bibliografía

- [1] D. G. Pesante-Armstrong, “Ectoparásitos de animales en fincas,” in *Díptera*, vol. 8.
- [2] E. Amat, V. M. C., and M. Wolff, “Clave ilustrada para la identificación de los géneros y las especies de califóridos (díptera:calliphoridae) de colombia,” *Grupo de Entomología Laboratorio de Colecciones Entomológicas, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.*, 2008.
- [3] F. L. Bookstein, *Morphometric tolos for landmark data Geometry and Biology*, C. university press, Ed. 1992, 1992.
- [4] I. A. F. Laboratorio de Antropología, “La entomología forense y su aplicación a la medicina legal. data de la muerte.” in *Conferencia IX Congreso Ibérico de Entomología.*, Julio 2000.
- [5] G. E. Torres-Pinzón, “Extraccion de patrones caracteristicos en imagenes de rostros humanos,” Trabajo de Grado en Ingeniería Electrónica, Universidad Industrial de Santander, Tech. Rep., 2002.
- [6] P. F. Guzman and J. A. Medina, “Reconocimiento automatico de placas de automoviles,” Trabajo de Grado en Ingeniería Electrónica, Universidad Industrial de Santander, Tech. Rep., 2001.
- [7] d. v. . NODC Taxonomic Code, “Calliphoridae, blow flies,” ITIS (Integrated Taxonomic Information System ), Tech. Rep., 1996.
- [8] F. L. Bookstein, *Foundation of morphometrics. Annual Review of Ecology and Systematics*, C. U. press, Ed. 1982, 1982.
- [9] S. V. D. M. 1, N. M. A. 2, and R. G. J. 1, “Introducción a la morfometría geométrica (curso teórico-práctico),” 1 CENTRO NACIONAL PATAGÓNICO 2 UNIVERSITAT DE BARCELONA, Tech. Rep., 2007.
- [10] ing en Automatización y control industrial, *Filtrado en el Dominio de la Frecuencia*, Catedra Visión artificial Std., Octubre 2005.

- 
- [11] N. V. B. Muriel, “Sistema de medición de desplazamiento por medio de tratamiento de imágenes para el dilatómetro de carbón audibert-arnu,” Universidad Industrial de Santander, Tech. Rep., 2005.
- [12] R. Lizardo, “Filtrado de imágenes en el dominio espacial y espectral,” in *Procesamiento digital de Imágenes*, Septiembre -2007.
- [13] R. J. LELES, *Euclidean distance matrix analysis: a coordinate free approach to comparing biological forms using landmark data.*, A. J. of Physical Anthropology, Ed. 1991, 1991.
- [14] L. S. RICHTSMEIER JT, CHEVERUD JM, *Advances in anthropological morphometrics. Annual Reviews of Anthropology.* morphometrics. Annual Reviews of Anthropology, 1992.
- [15] F. L. Bookstein, *Size and shape spaces for landmark data in two dimensions: comment. Statistical Science*, 1986.
- [16] E. Kreyszing, “Principal normal, curvature, osculating circle.”, *Differential Geometry. New York: Dover*, vol. 12, pp. 34–36, 1991.