

Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Naturales y Matemática
Escuela de Biología



Tema de Tesis

Caracterización morfométrica alar en poblaciones de *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) de El Salvador.

Trabajo de Graduación Presentado por

Azucena María Chávez Membreño CM15139

Oscar Omar Gómez Martínez GM15076

Para Optar al Grado de

Licenciado en Biología

Ciudad Universitaria, 4 de diciembre de 2023

Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Naturales y Matemática
Escuela de Biología



Tema de Tesis

Caracterización morfométrica alar en poblaciones de *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) de El Salvador.

Trabajo de Graduación Presentado por

Azucena María Chávez Membreño CM15139
Oscar Omar Gómez Martínez GM15076

Para Optar al Grado de:

Licenciado en Biología

Docente asesor:

M.Sc. José Nilton Menjívar Fuentes

Asesor externo:

Lic. Ana Miriam González Pérez

Ciudad Universitaria, 4 de diciembre de 2023

Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Naturales y Matemática
Escuela de Biología



Tema de Tesis

Caracterización morfométrica alar en poblaciones de *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) de El Salvador.

Trabajo de Graduación Presentado por

Azucena María Chávez Membreño CM15139
Oscar Omar Gómez Martínez GM15076

Para Optar al Grado de:

Licenciado en Biología

TRIBUNAL CALIFICADOR:

M.Sc. Miguel Ángel Moreno Mendoza

M.Sc. Oscar Armando Molina Lara

Ciudad Universitaria, 4 de diciembre de 2023

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD
Universidad de El Salvador

Rector

M.Sc. Juan Rosa Quintanilla

Vicerrectora Académica

Dra. Evelyn Beatriz Farfán Mata

Vicerrector Administrativo

M.Sc. Roger Armando Arias Alvarado

Secretario General

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda

Fiscal

Lic. Carlos Amilcar Serrano Rivera

Facultad de Ciencias Naturales y Matemática

Decano

Dr. Luis Alberto Parada Gómez

Vice Decano

Lic. José Nerys Funes Torres

Secretaria

Lcda. Ángela Gudelia Portillo Zelaya

Directora Interina Escuela de Biología

Lcda. Milagro Elizabeth Salinas Delgado

Ciudad Universitaria, 4 de diciembre de 2023

DEDICATORIAS

A mis padres por su amor, apoyo y protección incondicional, por ser esa guía en todo momento y un ejemplo a seguir.

A mis hermanos, Jhosselin por ser una hermana mayor guía, un ejemplo de perseverancia y lucha por alcanzar las metas, a Israel por ser mi compañero fiel de aventuras y un apoyo incondicional en todo momento.

A mis sobrinos Matías, Lucas y mi ahijado Israel Jr. por ser nuestro futuro, los amo.

A mis abuelos Virginia y Modesto por su paciencia, amor y sabiduría, Rubén y Vilma hasta el cielo.

A mis amigos, compañeros y futuros colegas, son parte importante de mí.

Azucena María Chávez Membreño.

A mis padres por su apoyo incondicional y brindarme una excelente educación, por guiarme en mi camino y ser mi mayor ejemplo a seguir.

A mi abuela y hermana, por ser dos pilares fundamentales en casa, por demostrarme su amor y apoyo fiel en cada momento difícil de mi vida.

A mi tío Melvin, que desde niño me enseñó lo importante que es estudiar, que descansa en paz.

A mi compañera de clases y amiga incondicional Azucena María Chávez, sin ti esto no sería posible.

Oscar Omar Gómez Martínez

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a Dios padre todopoderoso, el dador de la sabiduría, gracias por todas sus bendiciones. A mis padres por apoyarme en el proceso de mi formación y estar en cada aspecto importante de mi vida. A mis hermanos por ser esa guía y apoyo en todo momento. A mis abuelos Virginia y Modesto, por cuidarnos y compartir con nosotros de su sabiduría y amor, para ellos hasta el cielo. A mis tíos, primos y toda mi familia que me ha apoyado.

A mis amigas Yuly y Xóchitl por ser las hermanas que escogí, gracias por todos sus consejos, compañía y cariño, a mis amigos Eduardo, Moisés, Marcos y Omar, a todos por ser mis confidentes y los mejores amigos en los que puedo confiar. A todos mis amigos y compañeros en todas las materias por enseñarme y acompañarme en los desvelos en la mayoría de trabajos.

A mis docentes, que cada uno aprendí cosas distintas más allá de las temáticas, experiencias de vida que me forjaron en una mejor persona, a todos gracias por todo. De manera especial a la Licenciada Ana Mariam por su dedicación, instrucciones en parte importante de nuestra formación, por esa oportunidad de poder trabajar a su lado, bajo todos sus conocimientos y enseñanzas, gracias infinitas.

Azucena María Chávez Membreño.

En primer lugar deseo expresar mis agradecimiento a Dios, por brindarme salud, conocimiento y paciencia hasta este punto de mi vida y poder culminar una etapa de ella. Asimismo agradezco a mi compañera de carrera Azucena María Chávez por su apoyo personal y humano en todo momento, a mi compañera y amiga Liliana Guevara siempre estaré agradecido por brindarme su amistad durante toda mi carrera, sus consejos y apoyo incondicional. Agradecer a una gran persona que la vida me presentó cuando me mude a San Salvador, Yuly Fajardo gracias por su cariño y apoyo incondicional.

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, apoyos y esfuerzo, en este caso mi más sincero agradecimiento a la Licenciada Ana Miriam Gonzales, del Laboratorio de Entomología de Vectores (CENSALUD), por su apoyo brindado desde las horas sociales. Gracias por su tiempo, consejos y tiempo hacia mi persona. Por su orientación y atención a nuestras consultas, mis agradecimientos al M.Sc. José Nilton Menjivar Fuentes, de la Universidad de El Salvador, por sus asesorías y correcciones, le doy gracias.

Pero sobre todo, agradecimiento a mi familia, madre, padre, hermana y abuela, por su apoyo incondicional que me han brindado para seguir el paso de la educación por todos los valores enseñados y que sin ellos no sería la persona que hoy en día soy. Sin su apoyo este trabajo nunca habría sido escrito y por eso, este trabajo es también el suyo. Gracias Totales.

Oscar Omar Gómez Martínez.

INDICE DE CONTENIDO

| CONTENIDO | No. de Pag. |
|---|-------------|
| 1. RESUMEN | 14 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 15 |
| 3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 16 |
| 3.1. Objetivo general..... | 16 |
| 3.2. Objetivos específicos | 16 |
| 4. MARCO DE REFERENCIA..... | 17 |
| 4.1. Antecedentes | 17 |
| 4. 2. Fundamentos teóricos | 19 |
| 4.2.1. Enfermedad de Chagas | 19 |
| 4.2.2. Vectores de la Enfermedad de Chagas | 20 |
| 4.2.3. <i>Triatoma dimidiata</i> como vector | 20 |
| 4.2.3.1. Clasificación Taxonómica | 21 |
| 4.2.3.2. Morfología | 21 |
| 4.2.3.3. Dimorfismo sexual | 22 |
| 4.2.3.4. Ciclo de vida de <i>Triatoma dimidiata</i> | 22 |
| 4.2.3.5. Control y epidemiología | 23 |
| 4.2.4. Morfometria..... | 25 |
| 4.2.4.1. Tipos de morfometria | 26 |
| 4.2.4.2. Importancia entomológica de la morfometria | 27 |
| 4.2.4.3. Elementos básicos de la Morfometria Geométrica..... | 28 |
| 4.2.4.4. Superposición de Procrustes | 28 |
| 4.2.4.5. Análisis de Componentes Principales (ACP) | 29 |
| 4.2.4.6. Análisis de variables canónicas (AVC) | 30 |
| 5. METODOLOGÍA..... | 31 |
| 5.1. Ubicación geográfica y caracterización del área de estudio | 31 |

| | |
|---|----|
| 5.2. Tipo de muestreo y diseño general..... | 32 |
| 5.3. Selección y organización de los especímenes a utilizar | 32 |
| 5.4. Montaje de alas..... | 33 |
| 5.6. Procesamiento de las muestras y obtención de datos..... | 34 |
| 5.7. Análisis de morfometría geométrica y estadístico..... | 36 |
| 6. RESULTADOS..... | 39 |
| 6.1. Análisis morfométrico por departamentos..... | 39 |
| 6.1.1. Efecto alométrico..... | 46 |
| 6.1.2. Efecto de la altitud | 50 |
| 6.2. Dimorfismo sexual | 52 |
| 6.3.1. Análisis morfométrico y conformación por sexo | 54 |
| 6.3. Error de medición..... | 67 |
| 7. DISCUSIÓN | 68 |
| 7.1. Análisis morfométrico por departamentos..... | 68 |
| 7.2. Dimorfismo sexual | 71 |
| 8. CONCLUSIONES..... | 73 |
| 9. RECOMENDACIONES | 74 |
| 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 75 |
| ANEXOS | 81 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 4.1. Morfología de <i>Triatoma dimidiata</i> (Solís 2021)..... | 22 |
| Figura 4.2. Ciclo de vida de <i>Triatoma dimidiata</i> . (Fuente: https://www.jica.go.jp/)...23 | |
| Figura 4.3. Pasos de la superposición de Procrustes ejemplificado, 1) escalamiento a un mismo tamaño de centroide, 2) traslación a un centroide común, y 3) rotación para minimizar la suma de distancias cuadradas entre los hitos correspondientes (Benítez and Püschel 2014)..... | 29 |

| | |
|--|----|
| Figura 5.1. Mapa de El Salvador con 69 de los 72 municipios de colecta de los Triatomino. Elaborado por Azucena María Chávez..... | 32 |
| Figura 5.2. Procesamiento de las de espécimen de <i>Triatoma dimidiata</i> . A. Extracción de las alas del individuo, B. Individuo con las separadas, C. Preservación de las alas..... | 33 |
| Figura 5.3. Alas de <i>Triatoma dimidiata</i> , A. Alas secadas listas para el montaje, B. Montaje de ala en lámina permanente..... | 34 |
| Figura 5.4. Registro fotográfico de alas de <i>Triatoma dimidiata</i> A. Equipo necesario para el registro fotográfico, B. Ala izquierda código AHM01..... | 35 |
| Figura 5.5. Ala izquierda de un Triatomino del departamento de Ahuachapán con los puntos 13 marcados en el programa tpsDig232..... | 35 |
| Figura 5.6. Esquema del ala de <i>Triatoma dimidiata</i> con los 13 puntos seleccionados. Elaborado por Azucena María Chávez..... | 36 |
| Figura 6.1. Deformación del ala. La deformación de las rejillas corresponden a las diferencias en conformación de las alas de <i>Triatoma dimidiata</i> en variación en el espacio de forma en base a los componentes principales. A) Proyección de la deformación de rejillas del análisis de componentes principales. B) Presentación de la ilustración de los contornos en la deformación del ala..... | 39 |
| Figura 6.2. Conformación promedio de las alas de <i>Triatoma dimidiata</i> de los diferentes departamentos A. Ahuachapán, B. Santa Ana, C. Sonsonate, D. Chalatenango, E. La Libertad, F. San Salvador, G. Cuscatlán, H. La Paz, I. Cabañas, J. San Vicente, K. Usulután, L. San Miguel, M. Morazán, N. La Unión.... | 45 |
| Figura 6.3. Conformación promedio de las alas de los especímenes de <i>Triatoma dimidiata</i> por sexo. F. Hembra, M. Macho..... | 52 |
| Figura 6.4. Deformación del ala de las hembras de los 14 departamentos. La deformación de las rejillas corresponden a las diferencias en conformación de las alas de <i>Triatoma dimidiata</i> en variación en el espacio de forma en base al componente principal 1. A) Proyección de la deformación de rejillas del análisis de componentes principales. B) Presentación de la ilustración de los contornos en la | |

deformación del ala..... 54

Figura 6.5. Conformación promedio de las alas de las hembras de *Triatoma dimidiata* colectadas en los diferentes departamentos A. Ahuachapán, B. Santa Ana, C. Sonsonate, D. Chalatenango, E. La Libertad, F. San Salvador, G. Cuscatlán, H. La Paz, I. Cabañas, J. San Vicente, K. Usulután, L. San Miguel, M. Morazán, N. La Unión..... 58

Figura 6.6. Deformación del ala de los machos de los machos de los 14 departamentos. La deformación de las rejillas corresponden a las diferencias en conformación de las alas de *Triatoma dimidiata* en variación en el espacio de forma en base al componente principal 1. A) Proyección de la deformación de rejillas del análisis de componentes principales. B) Presentación de la ilustración de los contornos en la deformación del ala..... 61

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares..... 41

Gráfico 6.2. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de los especímenes de *Triatoma dimidiata*..... 43

Gráfico 6.3. Ubicación del promedio de la conformación de los especímenes de *Triatoma dimidiata* en el espacio de forma sobre el primer (PC1) y el segundo (PC2) componentes principales y las distancias de Procrustes por departamento..... 44

Gráfico 6.4. Efecto alométrico de las alas de especímenes de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador..... 46

Gráfico 6.5. Efecto alométrico de las alas de *Triatoma dimidiata* por departamento con sus respectivos valores de alometría. Desglose de la distribución de los

especímenes para cada localidad A. Ahuachapán, B. Santa Ana, C. Sonsonate, D. Chalatenango, E. La Libertad, F. San Salvador, G. Cuscatlán, H. La Paz, I. Cabañas, J. San Vicente, K. Usulután, L. San Miguel, M. Morazán, N. La Unión... 47

Gráfico 6.6. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de Cabañas, La Paz y La Unión, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares..... 48

Gráfico 6.7. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de Cabañas, La Paz y La Unión, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares..... 49

Gráfico 6.8. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los 14 departamentos de El Salvador, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares..... 50

Gráfico 6.9. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* del departamento de Sonsonate, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares..... 51

Gráfico 6.10. Proyección de especímenes de *Triatoma dimidiata* en su diferenciación por sexo sobre el primer (PC1) y el segundo (PC2) componentes principales, apartir del Análisis de Componentes Principales..... 53

Gráfico 6.11. Análisis de regresión lineal para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador, dividiéndolos por sexo sobre el primer valor de regresión y el tamaño del centroide..... 53

Gráfico 6.12. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de las hembras de los 14 departamentos de El Salvador, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares.....56

Gráfico 6.13. Ubicación del promedio de la conformación de las alas de las

hembras de *Triatoma dimidiata* en el espacio de forma sobre el primer (PC1) y el segundo (PC2) componentes principales y las distancias de Procrustes por departamento..... 59

Gráfico 6.14. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de las alas de las hembras de *Triatoma dimidiata*..... 60

Gráfico 6.15. Efecto alométrico de las alas de las hembras de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador..... 60

Gráfico 6.16. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de las machos de los 14 departamentos de El Salvador, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares..... 62

Gráfico 6.17. Ubicación del promedio de la conformación de las alas de los machos de *Triatoma dimidiata* en el espacio de forma sobre el primer (PC1) y el segundo (PC2) componentes principales y las distancias de procrustes por departamento.. 65

Gráfico 6.18. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de las alas de los machos de *Triatoma dimidiata*..... 65

Gráfico 6.19. Efecto alométrico de las alas de los machos de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador..... 66

INDICE DE CUADROS

Cuadro 5.1. Cantidad de individuos seleccionados por departamento..... 32

Cuadro 6.1. Nomenclatura para la lectura de la proyección del análisis de Componentes principales por departamento..... 40

Cuadro 6.2. Análisis multivariante de varianza (MANOVA) para las medidas de conformación de las alas de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador..... 40

| | |
|--|----|
| Cuadro 6.3. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de los especímenes de <i>Triatoma dimidiata</i> | 43 |
| Cuadro 6.4. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) en base a las altitudes del sitio de procedencias de los especímenes de <i>Triatoma dimidiata</i> | 51 |
| Cuadro 6.5. Distancias de procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) en base a las altitudes del sitio de procedencias de los especímenes de <i>Triatoma dimidiata</i> del departamento de Sonsonate..... | 52 |
| Cuadro 6.6. Análisis multivariante de varianza (MANOVA) para las medidas de conformación de las alas de <i>Triatoma dimidiata</i> de los departamentos de El Salvador, utilizando únicamente el ala izquierda de las hembras..... | 55 |
| Cuadro 6.7. Distancias de procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de las alas de las hembras de los especímenes de <i>Triatoma dimidiata</i> | 57 |
| Cuadro 6.8. Análisis multivariante de varianza (MANOVA) para las medidas de conformación de las alas de <i>Triatoma dimidiata</i> de los departamentos de El Salvador, utilizando únicamente el ala izquierda de los machos..... | 62 |
| Cuadro 6.9. Distancias de procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de las alas de los machos de los especímenes de <i>Triatoma dimidiata</i> | 64 |
| Cuadro 6.10. Análisis Procrustes ANOVA para determinar el error de medición en la digitalización de las alas de <i>Triatoma dimidiata</i> de los 14 departamentos..... | 67 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-------|
| Anexo 1. Sitios de procedencia de los especímenes de <i>Triatoma dimidiata</i> y tamaño de las muestras..... | 81-83 |
| Anexo 2. Código de Departamentos, municipios y cantones, lugar donde fueron colectados los especímenes de <i>Triatoma dimidiata</i> y las altitudes de los sitios, el | |

rango se basó en altitudes baja (B), media (M) y alta (A), donde se consideraron las altitudes como zona baja de 0 a 500 m.s.n.m., zona media de 501 a 1,000 m.s.n.m. y de 1,001 m. s.n.m. en adelante como zona alta..... 83-86

Anexo 3. Ala izquierda de *Triatoma dimidiata* de los diferentes departamentos A. Ahuachapán, B. Santa Ana, C. Sonsonate, D. Chalatenango, E. La Libertad, F. San Salvador, G. Cuscatlán, H. La Paz, I. Cabañas, J. San Vicente, K. Usulután, L. San Miguel, M. Morazán, N. La Unión..... 87

Anexo 4. Selección de los especímenes de *Triatoma dimidiata* utilizados en la investigación..... 88

Anexo 5. Selección y revisión de los Triatominos adultos con alas completas..... 88

Anexo 6. Par de alas *Triatoma dimidiata* montadas y fotografiadas con su respectiva escala de referencia. A. Ahuachapán, B. Santa Ana, C. Sonsonate, D. Chalatenango, E. La Libertad, F. San Salvador, G. Cuscatlán, H. La Paz, I. Cabañas..... 89

1. RESUMEN

Triatoma dimidiata es una de las tres especies de importancia vectorial para Centroamérica y una especie nativa de la región, la cual está muy dispersa, siendo esta el principal vector en Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica. Para el sistema de salud en El Salvador es importante obtener datos actualizados sobre la situación relacionada a vectores entomológicos, para gestionar planes de acción de control y prevención, en específico de la enfermedad de Chagas. En la presente investigación aplicando morfometría geométrica alar en poblaciones de *Triatoma dimidiata* en El Salvador, se analizó la variación morfométrica en la composición alar, como herramienta de apoyo a la identificación de aspectos biológicos adaptativos.

Con un muestreo intencional o de conveniencia se seleccionaron 483 individuos, 214 de ellos hembras y 269 machos, domiciliarios provenientes de los 14 departamentos, a los cuales se les retiraron las alas para un montaje permanente para posteriormente generar un registro fotográfico de las alas de los especímenes seleccionados. Se marcaron 13 puntos de referencia (Landmarks) en cada ala, y se realizó un análisis morfométrico utilizando el ala izquierda, donde se analizó la variación en la conformación del ala los especímenes de *Triatoma dimidiata*. Así como también el dimorfismo sexual en dicha estructura.

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que existe una diferencia significativa entre los individuos de los diferentes departamentos, siendo estos afectados por los diferentes factores del ambiente en que estos se desarrollan. Así como también se encontraron diferencias significativas entre los grupos de datos entre machos y hembras por lo que sugirió que el dimorfismo sexual está presente en las alas, así como en otras partes del espécimen.

2. INTRODUCCIÓN

La enfermedad de Chagas o tripanosomiasis es una infección parasitaria, transmitida por vectores de la subfamilia Triatominae. Esta enfermedad representa un importante problema de salud pública en América Latina, donde la Organización Panamericana de la Salud (OPS) estima que actualmente 70 millones de personas en las Américas viven en áreas expuestas al Chagas y están en riesgo de infección de contraer la enfermedad, y a su vez seis millones están infectadas, con 30 mil casos nuevos anuales por todas las formas de transmisión (OPS 2016).

En El Salvador en 1913 se registra el primer caso de tripanosomiasis, a partir de esa fecha varios informes han señalado la existencia de la infección en diversas localidades del país (Organización Panamericana de la Salud 2010) Fue hasta 1956 cuando se realizaron los primeros estudios epidemiológicos sobre Chagas, con respecto a su comportamiento en El Salvador se registraron 4,620 personas infectadas para todo el país entre los años 2009 al 2013 (Salvador 2014). Es así como empiezan diferentes interrogantes y estudios sobre el parásito y vector.

Siempre se busca estudiar directamente el parásito, dejando de lado la importancia del vector, describir su importancia taxonómica y el entendimiento de sus procesos biológicos. La morfología de las alas de los insectos ha sido ampliamente utilizada en estudios taxonómicos, ecológicos y evolutivos obteniendo resultados satisfactorios para el entendimiento de las especies estudiadas, así como, análisis discriminatorios, adaptación, dispersión, mecanismos de defensa, regulación térmica entre otros más (Hernández et al 2010). En el siguiente trabajo se realizó una investigación sobre el Vector Chagas integrando cambios morfológicos a través de un análisis de similitudes y diferencias de poblaciones de *Triatoma dimidiata* a nivel nacional en los 14 departamentos de El Salvador a través de la morfometría geométrica alar.

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Objetivo general

Caracterizar la diferencia morfométrica alar en poblaciones de *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) de la colección húmeda del Laboratorio de Entomología de Vectores, CENSALUD de los años 2018-2021 de El Salvador.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis de morfometría geométrica alar en especímenes de *Triatoma dimidiata* de El Salvador utilizando la superposición de Procrustes.
- Establecer una comparación intraespecie de poblaciones de *Triatoma dimidiata* de los 14 departamentos de El Salvador.
- Determinar el dimorfismo sexual por medio de la geometría alar de *Triatoma dimidiata* colectados en los departamentos del territorio de El Salvador.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. Antecedentes

En Paraguay López et al (2001) en el marco del Programa Nacional de Chagas realizaron la investigación “Diferencias morfométricas en poblaciones de *Triatoma infestans* provenientes de las regiones Oriental y Occidental del Paraguay” con el objetivo de comparar poblaciones de *Triatoma infestans* de origen geográfico diferente y determinar variaciones morfométricas de machos y hembras, donde se estudiaron poblaciones de vectores de cuatro departamentos endémicos para la enfermedad de Chagas; midiendo caracteres morfométricos, siete de la cabeza y cuatro de cada ala, de 150 ejemplares. Como resultados en el análisis uni y multivariado se utilizó para evaluar las variables de tamaño y conformación, quedando confirmado en este trabajo el dimorfismo sexual de los triatominos así como también los resultados de esta investigación apoyan la hipótesis de que las diferencias entre las poblaciones se pueden atribuir a factores ambientales. La evaluación de la forma o la persistencia de estas diferencias en generaciones sucesivas mantenidas en laboratorio, podrá corroborar la existencia o no de variaciones genéticas entre las poblaciones.

Hernández en (2004) realizó un estudio de la variación métrica intraespecie de 14 poblaciones, domésticas y silvestres, de *Triatoma dimidiata* de México, Centro América y Colombia; utilizando técnicas morfométricas que permitieran analizar la influencia de la procedencia geográfica y el ecotipo, así como la estabilidad del desarrollo de las alas como un medio de analizar la capacidad de dispersión de los individuos. Analizando caracteres métricos de la cabeza de insectos provenientes de cuatro poblaciones silvestres (cuevas, selva y volcán) y ocho poblaciones domésticas, utilizándose un total de 225 hembras y 324 machos colectados en seis países. Utilizando la morfometría tradicional concluyó que la procedencia geográfica tiene una mayor importancia que el hábitat en la forma de las cabezas de esta especie.

En Venezuela se han realizado estudios como “Morfometría geométrica de *Triatoma maculata* de ambientes doméstico y peridoméstico, estado Lara, Venezuela” (Soto

Vivas et al. 2007) y “Estructura espacial de *Triatoma maculata* de la Parroquia Xaguas (Estado de Lara) usando morfometría geométrica” (Avendaño 2008) donde realizaron un análisis de morfometría geométrica en alas y cabeza de *Triatoma maculata*. En el caso de Avendaño, se estudiaron especímenes de *Triatoma maculata* procedente de ambientes domiciliarios y peridomiciliarios; como resultado no se encontraron diferencias significativas de la variable tamaño ni de la conformación de las alas entre individuos machos y hembras del domicilio y peridomicilio, lo que sugiere que los ejemplares de *Triatoma maculata* colectados forman parte de una misma población, y por tanto no se evidencia que esta especie esté desarrollando mecanismos adaptativos al domicilio. Pero Soto et al (2007) hace mención que otros autores han señalado diferencias morfométricas importantes entre poblaciones de triatominos provenientes de hábitats diferentes.

Aranda Asturizaga et al. 2018 realizó un estudio en La Paz, Bolivia, con el objetivo de comparar la morfometría de Triatominos silvestre con la morfometría de Triatominos domiciliar en comunidades declaradas libres de infestación, donde aplicó métodos de morfometría tradicional y geométrica en caracteres métricos de cabeza, tórax, abdomen y alas. En los resultados se observó que existe una diferencia en el tamaño de las estructuras utilizadas en la medición, revelando dos grupos en función del hábitat.

En El Salvador se realizó una investigación en el laboratorio de Entomología de vectores “Análisis morfométrico alar de *Triatoma dimidiata* en siete departamentos de El Salvador” donde se analizó diferencias y similitudes de poblaciones de *Triatoma dimidiata* de siete departamentos de El Salvador a través de la morfometría tradicional. De acuerdo a los resultados identificaron 3 poblaciones, siendo La Unión y San Miguel los departamentos que presentaron mayor similitud con un 75% (Girón et al 2019).

4. 2. Fundamentos teóricos

4.2.1. Enfermedad de Chagas

La enfermedad de Chagas o mal de Chagas como se conoce, es una enfermedad descubierta a principios del siglo XIX por un médico Brasileño Carlos Chagas mientras trabajaba en una campaña antimalárica (Castillo and Wolff 2000). Desde entonces se empezó a registrar en la mayoría de países de América y hoy está ampliamente distribuida, extendiéndose desde el sur de California de los Estados Unidos hasta el norte de Chile y Argentina. Decretada una enfermedad endémica presente en 21 países de América y afecta a un estimado de 6 millones de personas (OPS 2021).

Según la OPS/OMS (2014) el mal de Chagas junto con el dengue, la malaria, leishmaniasis, entre otras, forman parte de las diez enfermedades transmitidas por mosquitos, moscas, vinchucas y otros insectos que ponen en riesgo la salud de 1 de cada 2 personas en las Américas. La enfermedad de Chagas es una afección parasitaria, sistémica, crónica, transmitida por vectores y causada por el protozoario *Trypanosoma cruzi*, y se transmite principalmente por contacto con heces u orina infectadas de los insectos hematófagos de la subfamilia Triatominae (OPS 2016). Todas las especies de triatominos se consideran potencialmente vectores de la enfermedad de Chagas, sin embargo, diversos factores pueden determinar su capacidad vectorial (Soto Vivas et al. 2007).

El *Trypanosoma cruzi* se transmite a los seres humanos y otros mamíferos por insectos vectores hemípteros de la subfamilia *Triatominae*, chupadores de sangre, conocidos popularmente como las “vinchucas”, “chinches”, “chinchorros”, “chirimachas”, “kissing bugs” y otros nombres populares locales. Los triatominos de especies domiciliadas son capaces de colonizar viviendas mal construidas en las zonas rurales, suburbanas y urbanas (OPS 2018). Los insectos triatominos pueden infectar roedores, marsupiales y otros animales mamíferos salvajes. Estos insectos triatominos también pueden infectar a los animales domésticos como perros y gatos, y llevar el *T. cruzi* (agente de la enfermedad) dentro de las viviendas humanas (OPS 2018).

4.2.2. Vectores de la Enfermedad de Chagas

La enfermedad de Chagas es la enfermedad más frecuente de las enfermedades tropicales transmisibles en Latino América. Los vectores más importantes son el *Triatoma infestans* en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay Uruguay y Perú; *Rhodnius prolixus* en Colombia, Venezuela y Centroamérica, *Triatoma dimidiata* en Ecuador y América Central (OPS 2018). En Centro América, *R. prolixus* ha sido un vector estrictamente domiciliado, adaptado a viviendas de paja ubicadas de 0 a 1 300 metros y, particularmente en El Salvador, debajo de los 400 metros sobre el mar, los estudios epidemiológicos realizados de 1955 a 1976, reportaron amplia distribución de *R. prolixus* y *T. dimidiata* en El Salvador, con elevados porcentajes de infestación. (OPS 2010).

En El Salvador, *Rhodnius prolixus* y *Triatoma dimidiata* fueron los principales vectores de la enfermedad de Chagas reportados por Peñalver et al. en 1955-57, la distribución de estos vectores en el área rural se asocia a la vivienda de pobre construcción, poco higiénica y a las limitadas condiciones sociales, económicas y educacionales de la población y no fue hasta en la “XII Reunión de la Comisión Intergubernamental de la Iniciativa de los Países de Centro América (IPCA) para la Interrupción de la Transmisión Vectorial, Transfusional y Atención Médica de la Enfermedad de Chagas”, en 2010, se validó la eliminación de *R. prolixus* en El Salvador (OPS 2010).

4.2.3. *Triatoma dimidiata* como vector

Los triatominos pertenecen al orden Hemiptera, el cual se caracteriza por poseer un aparato bucal tipo succionador (Castillo and Wolf 2000). Los triatominos se ubican en el orden Hemiptera, cuyo nombre proviene del griego ημι “hemi” (“mitad”) y πτερον “pteron” (“ala”), debido a que sus alas anteriores se les denomina “hemiélitros” parcialmente endurecidas, con la mitad basal más coriácea o dura y la distal membranosa o más delgadas (Fig. 1); sin embargo, esta característica no la poseen todas las taxa de hemípteros, por lo que no se debe considerar como diagnosis para el Orden (Cazorla-Perfetti 2016).

4.2.3.1. Clasificación Taxonómica

| | |
|---------------|--|
| Reino: | Animal |
| Phylum: | Artrópoda |
| Sub Phylum: | Hexapoda |
| Clase: | Insecta |
| Subclase: | Pterygota |
| Orden: | Hemiptera |
| Suborden: | Heteroptera |
| Familia: | Reduviidae |
| Subfamilia: | Triatominae |
| Género: | <i>Triatoma</i> |
| Especie: | <i>T. dimidiata</i> (Latreille, 1811) |
| Sinónimos: | <i>Reduvius dimidiatus</i> Latreille, 1811 <i>Conorhinus maculipennis</i> Stal, 1859 <i>Triatoma capitata</i> Usinger, 1941. |
| Nombre común: | “chinche picuda”. |

4.2.3.2. Morfología

Triatoma dimidiata es una especie bastante grande y con un colorido distintivo en el cuerpo, que generalmente va desde píceo a negro, y en el conexivo y corium desde amarillo pálido hasta amarillo naranja. El macho mide entre 24.5 a 32.0 mm, mientras que la hembra mide entre 24.5 a 35.0 mm (Lent and Wygodzinsky 1979; Lent and Jurberg 1985).

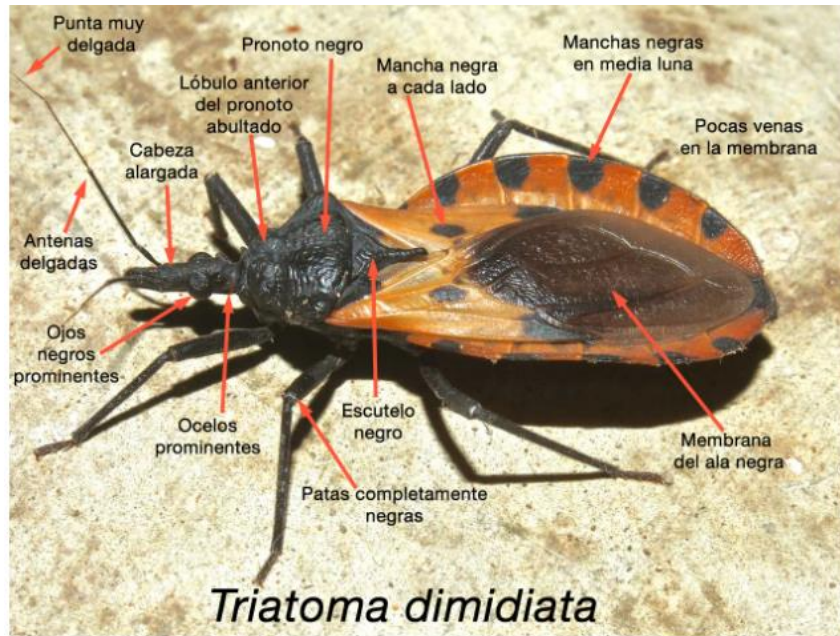


Figura 4.1. Morfología de *Triatoma dimidiata* (Solís 2021)

4.2.3.3. Dimorfismo sexual

El dimorfismo sexual o la diferencia en la fisonomía externa de machos y hembras, existe en la mayoría de especies del reino animal, y ha sido explicado principalmente como un mecanismo de selección sexual (Cortés-Suarez et al 2021). Se puede entender que el dimorfismo sexual hace referencia a la diferencias físicas de las especies, en la forma del cuerpo o de alguno de los apéndices, dirigida a actividades específicas tanto reproductivas como de gestación. En *Triatoma dimidiata* son los caracteres morfológicos básicos los que permiten diferenciar a simple vista los dos sexos, tales como los órganos sexuales o también el tamaño corporal. Realizar un estudio basado en dimorfismo sexual alar proporcionará un nuevo carácter clasificatorio, ya que poco se conoce sobre sus cambios o adaptaciones alar y como el sitio geográfico influye en estas estructuras morfológicas.

4.2.3.4. Ciclo de vida de *Triatoma dimidiata*

Los triatominos son insectos que presentan un desarrollo hemimetábolo, cuyo ciclo ontogenético comprende tres estados: huevo, cinco estadios inmaduros o ninfales y adulto (Fig 2). Son hematófagos obligados tanto en estado ninfal como en el estado

adulto y obtienen su alimento de un amplio rango de animales vertebrados. Necesitan al menos una ingesta de sangre a repleción en cada uno de sus 5 estadios ninfales para completar su desarrollo (Pereyra 2018). La oviposición comienza a los 10 - 20 días posterior a la cópula (Castillo and Wolf 2000). El ciclo de huevo a adulto dura entre 6 a 12 meses, y los adultos pueden vivir hasta 3 años. Las hembras pueden poner hasta 31 huevos por día y hasta 2.054 durante toda su vida, con 88,1-91,1% de eclosión (Cazorla-Perfetti 2016). Su ciclo de vida está condicionado por una monodieta con comidas abundantes seguida de periodos largos de ayuno, estos insectos descritos como estrategas, adaptados a medios estables alcanzando altas densidades poblacionales de tamaño similar año a año. La resistencia al ayuno es proporcional al estadio ninfal, y las ninfas V resisten más que los adultos, pudiendo durar hasta 10 meses y medio en ayunas. (Pereyra 2018).

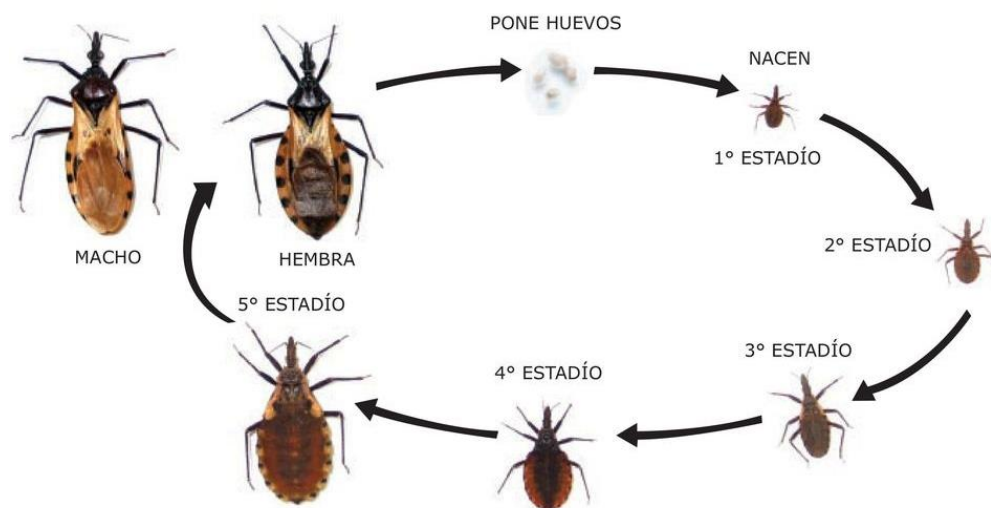


Figura 4.2. Ciclo de vida de *Triatoma dimidiata*. (Fuente: <https://www.jica.go.jp/>)

4.2.3.5. Control y epidemiología

No existe una vacuna para la enfermedad de Chagas. El control integrado de vectores es el método más eficaz de prevenir la enfermedad de Chagas en América Latina, incluyendo control químico por insecticidas en domicilios infestados, mejora de las casas y su peridomicilio para prevenir la infestación del vector, medidas preventivas personales como mosquiteros, e información educación y comunicación a la comunidad sobre el tema (OPS 2018).

El tamizaje serológico en donantes de sangre es necesario para prevenir la infección a través de la transfusión, así como por trasplante de órganos. Tamizaje de Chagas en las embarazadas durante los controles prenatales, son necesarios para trabajar desde el momento del parto en el diagnóstico del recién nacido de madres infectadas, sin olvidar el estudio de sus hermanos mayores tempranos. Buenas prácticas de manufactura con higiene en la preparación de alimentos en el transporte, el almacenamiento y el consumo de los mismos (OPS 2018).

La enfermedad de Chagas tiene dos etapas o fases clínicas: una fase aguda y una fase crónica. Muchas personas (del 70 al 80 % de los infectados) son asintomáticas toda su vida, pero de entre un 20 a un 30 % esta enfermedad evoluciona a cuadros crónicos sintomáticos asociados a daño lesional en el corazón, tubo digestivo y/o sistemas nerviosos (OPS 2018).

Según la OPS (2018) la fase aguda cuando es sintomática dura pocas semanas después de la infección. Durante la fase aguda, altos números de parásitos circulan en la sangre. Los signos y síntomas de la enfermedad de Chagas aguda pueden estar ausentes o ser leves e incluyen lo siguiente:

- Signos de puerta de entrada del parásito
- Roncha o pápula en piel (chagoma de inoculación)
- Fiebre
- Dolor de cabeza
- Náuseas, diarrea o vómitos
- Ganglios linfáticos agrandados
- Dificultad para respirar
- Dolor de músculos, área abdominal o pecho.

El primer estudio de la enfermedad de Chagas realizado por Peñalver en 1955-1956 reportó un índice promedio de infestación de casas por triatominos de 26.3% en 136 localidades rurales encuestadas en los catorce departamentos del país. Se colectaron 4,871 triatominos, de los cuales 2,525 (51,8%) correspondieron a *T. dimidiata* y 2,346 (48,2%) a *R. prolixus*. El vector *T. dimidiata* se encontró preferentemente arriba de los 800 msnm, asociado a casas de bahareque o adobe e infectado por *T. cruzi* 30,2%. En cambio, *R. prolixus* se reportó en las zonas bajas y cálidas desde el nivel del mar hasta los 400 metros de altitud, asociados a ranchos con paredes y techos de paja o palma he infectados por *T. cruzi* en un 13,6% y por

T. rangeli 5,2%. En elevaciones intermedias predominan ambas especies, pero siempre asociadas al tipo de vivienda.

En 1997 se reportó infestación por sólo *T. dimidiata* en localidades investigadas en los 14 departamentos del país, resultado confirmado por otro estudio realizado a nivel nacional en 1999-2000, y por los estudios entomológicos basales ejecutados por el Programa de Control Vectorial de la Enfermedad de Chagas, en desarrollo desde 2003 por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala (MSPAS), con la colaboración de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) (Salvador 2014).

4.2.4. Morfometría

A inicios del siglo XX ocurrió una transición en la biología, cambiando de estudios descriptivos a una ciencia más cuantitativa (Adams et al. 2004), lo que resultó en el desarrollo de la morfometría, que es “el estudio cuantitativo de la variación de las formas biológicas” (Bookstein 1996). En sus orígenes, la morfometría utilizaba variables lineales como medidas, distancias, ángulos o proporciones; a partir de estas medidas, se obtenía un conjunto de datos que se analizaron por métodos estadísticos multivariados. Los resultados se expresan como un conjunto de coeficientes y gráficas a través de los cuales las variaciones de tamaño y forma eran difíciles de interpretar, a este enfoque se le llama actualmente morfometría tradicional (Rohlf y Marcus, 1993; Zeldicht et al., 2004)

La morfometría es la descripción cuantitativa, análisis e interpretación de la forma y la variación de esta en biología. La Morfometría se usa en estudios taxonómicos, genéticos y ecológicos, ha sido utilizada en muchos campos: citología, antropología, geología, paleobiología, nematología y entomología (Rohlf 1990).

4.2.4.1. Tipos de morfometría

Podemos encontrar dos tipos de morfometría, la Tradicional y la Geométrica. Los resultados se expresan como un conjunto de coeficientes y gráficas a través de los cuales las variaciones de tamaño y forma eran difíciles de interpretar, a este enfoque se le llama actualmente morfometría tradicional (Rohlf and Marcus 1993).

Debido a las dificultades y limitaciones de la morfometría tradicional, a finales del siglo XX surgió la morfometría geométrica, que ha sido descrita como “una fusión empírica de la geometría con la biología” (Bookstein 1992), ya que analiza la forma de los organismos o de alguna de sus estructuras, considerando el espacio geométrico y empleando métodos estadísticos multivariados.

Uno de los conceptos fundamentales en morfometría geométrica es la forma, que es una propiedad geométrica de un objeto y que no toma en cuenta la escala, rotación y traslación (Kendall 1977).

Aunque el concepto de forma señala que esta propiedad geométrica no varía por efecto del tamaño, en morfometría geométrica, no ha sido posible analizar separadamente la “forma” del “tamaño”, debido a que son características biológicas que están íntimamente ligadas (Zelditch et al. 2004), es decir, organismos de diferentes tamaños tendrán diferentes formas aunque sean de la misma especie, lo que se debe al desarrollo y crecimiento natural u ontogenético de los organismos vivos.

En morfometría geométrica se utilizan principalmente dos variables: outlines (contornos) y los landmarks, que son loci anatómicos que no alteran su posición topológica relativamente a otros landmarks, proveen una cobertura adecuada de la forma y pueden ser ubicados fácil y repetidamente entre un organismo y otro. Bookstein and L (1991) estableció que existen tres tipos de landmarks: tipo I son yuxtaposiciones discretas de tejido, tipo II son zonas de máxima ó mínima curvatura y tipo III son puntos extremos. En ocasiones, las estructuras biológicas son superficies planas o lisas en las que es difícil establecer landmarks o éstos no cubren totalmente la forma a analizar, para solucionar esta limitante, se utilizan puntos distribuidos uniformemente a lo largo de esta superficie, los cuales se conocen como semilandmarks.

4.2.4.2. Importancia entomológica de la morfometría

Actualmente, los métodos de identificación no sólo deben ser rápidos sino también de bajo costo. En este sentido, la morfometría geométrica, es una herramienta matemática con fundamentos biológicos (Bookstein 1991), que permite descomponer la variación resultante de la fisiología de los individuos, permite identificar individuos a partir de la conformación de estructuras específicas, en especies estrechamente relacionadas (Dujardin 2000) basado en métodos de descripción y análisis estadísticos de la variación de la forma en estructuras particulares en y entre individuos (Rohlf & Marcus 1993). Esta técnica se ha utilizado en diversas clases de animales (vertebrados e invertebrados), y particularmente en insectos de importancia médica, como triatominos (*Triatominae*), flebotomos (*Phlebotominae*) y mosquitos (*Culicidae*). Ha sido empleada en estudios de estructura poblacional (De La Riva *et al.* 2001, Belén *et al.* 2004, Schachter-Broide *et al.* 2004, Dvorak *et al.* 2006, Soto-Vivas *et al.* 2007), identificación de especies (Matías *et al.* 2001, Villegas *et al.* 2002, Calle *et al.* 2008), para detectar diferencias entre parentales de campo y descendientes de laboratorio (Jaramillo & Wolff 2002), así como en estudios filogenéticos (Soto Vivas *et al.* 2011).

Las estructuras externas de los insectos son susceptibles de medición y han sido aplicadas para describir ciclos de vida, estudios ecológicos, sistemática, genética, variación intraespecífica, etc. Se reconoce que en las formas y dimensiones del exoesqueleto de un insecto se refleja su forma de vida.

Según Daly (1985), las aplicaciones más ampliamente dadas a la morfometría en la entomología son:

- Identificar y determinar el número de estados inmaduros
- Investigar la correspondencia entre variación morfométrica y genética
- Investigar la influencia de la variación ambiental en la forma y el tamaño
- Sistemática y clasificación.

4.2.4.3. Elementos básicos de la Morfometría Geométrica

La visualización de los cambios de la forma es el corazón de la morfometría geométrica. La morfometría geométrica pretende dar información acerca de la localización espacial de variación morfológica (su magnitud, posición y extensión espacial en el organismo). Para poder transmitir esta información se basa en dos puntos muy importantes: la homología biológica, la correspondencia biológica de determinadas estructuras o partes entre individuos y el otro es la localización geométrica, se refiere a la configuración espacial en dos o tres dimensiones de estas estructuras o partes (López 2015).

Para poder obtener la información sobre el tamaño, la posición y la orientación de estructura a trabajar se hace mediante el uso de “marcas o puntos”, estos científicamente son llamados, outlines (contornos) y los landmarks, son loci anatómicos que no alteran su posición topológica proveen una cobertura adecuada de la forma y pueden ser ubicados fácil y repetidamente entre un organismo y otro (Zelditch et al 2004)

Existen tres tipos de landmarks establecidos por Bookstein (1991):

- Tipo I son yuxtaposiciones discretas de tejido,
- Tipo II son zonas de máxima ó mínima curvatura
- Tipo III son puntos extremos (López 2015).

4.2.4.4. Superposición de Procrustes

Históricamente el término de “Superposición de Procrustes” surge en la mitología griega, Procrustes era un posadero muy particular que obligaba a sus huéspedes a acostarse en uno de los dos lechos de los que disponía forzando a que se ajustaran perfectamente a ellos: a los que eran bajos, los acomodaba en una cama larga y los estiraba cruelmente; a los que eran altos, los acomodaba en una cama corta y les cortaba las piernas. Inspirado en esta leyenda, el análisis de Procrustes describe un conjunto de herramientas matemáticas que permiten comparar dos configuraciones de puntos homólogos provenientes de dos variantes de la misma entidad: dos individuos dentro de una población, dos especies, etc (Torcida and Perez 2012).

El método de superposición de Procrustes minimiza las diferencias entre las configuraciones de landmarks basado en mínimos cuadrados, por lo que también se le conoce como Generalized least square superimposition o GLS en inglés (López 2015). De una manera más simplificada se puede decir que el análisis de Procrustes, sirve para comparar las formas de dos o más objetos, los objetos deben primero "superponerse" de manera óptima ya que el método de superposición ha sido utilizado desde hace muchos años (Sneath, 1967; Gower, 1975) y hoy en día es el método más empleado en morfometría geométrica (Zelditch et al., 2004).

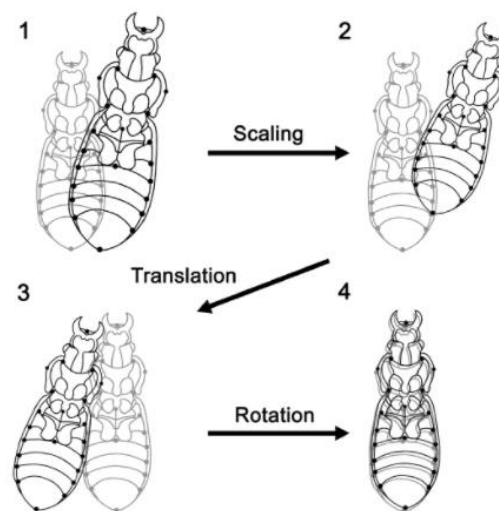


Figura 4.3. Pasos de la superposición de Procrustes ejemplificado, 1) escalamiento a un mismo tamaño de centroide, 2) traslación a un centroide común, y 3) rotación para minimizar la suma de distancias cuadradas entre los hitos correspondientes (Benítez and Püschel 2014).

4.2.4.5. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Es un método de ordenación que puede ser utilizado para examinar la variación de los datos. EL ACP se utiliza principalmente para reducir la dimensionalidad de los datos; una vez que se obtienen los componentes principales (CP), algunos de estos pueden ser utilizados como variables de la forma en los siguientes análisis multivariados (López 2015). El objetivo del análisis es reducir la dimensionalidad en la cual se expresa el conjunto original de variables (Peña 2002). Posee gran

importancia en el campo de biología con el fin de explicar la variabilidad relacionada con la morfometría de los animales o especies vegetales.

4.2.4.6. Análisis de variables canónicas (AVC)

Es otro de los análisis multivariados que encuentra transformaciones lineales de los datos para maximizar la separación entre los grupos, que pueden ser por ejemplo, diferentes especies, grupos de edad, sexo o cualquier otra categoría establecida *a priori* (López 2015). El objetivo es permitir la identificación de diferencias entre grupos (clases o tratamientos) a partir de medidas de características de los individuos pertenecientes a esos grupos y facilitando la comprensión de independencia uno de otro o, inversamente y determinando las relaciones que pueden existir entre los dos conjuntos.

5. METODOLOGÍA

5.1. Ubicación geográfica y caracterización del área de estudio

El estudio se realizó con muestras de *Triatoma dimidiata* preservadas del Laboratorio de Entomología de Vectores (LEV) provenientes de los 14 departamentos del territorio nacional (figura 5.1.) con un total de 72 municipios, con altitudes estimadas desde los 5 msnm hasta los 1,200 msnm.

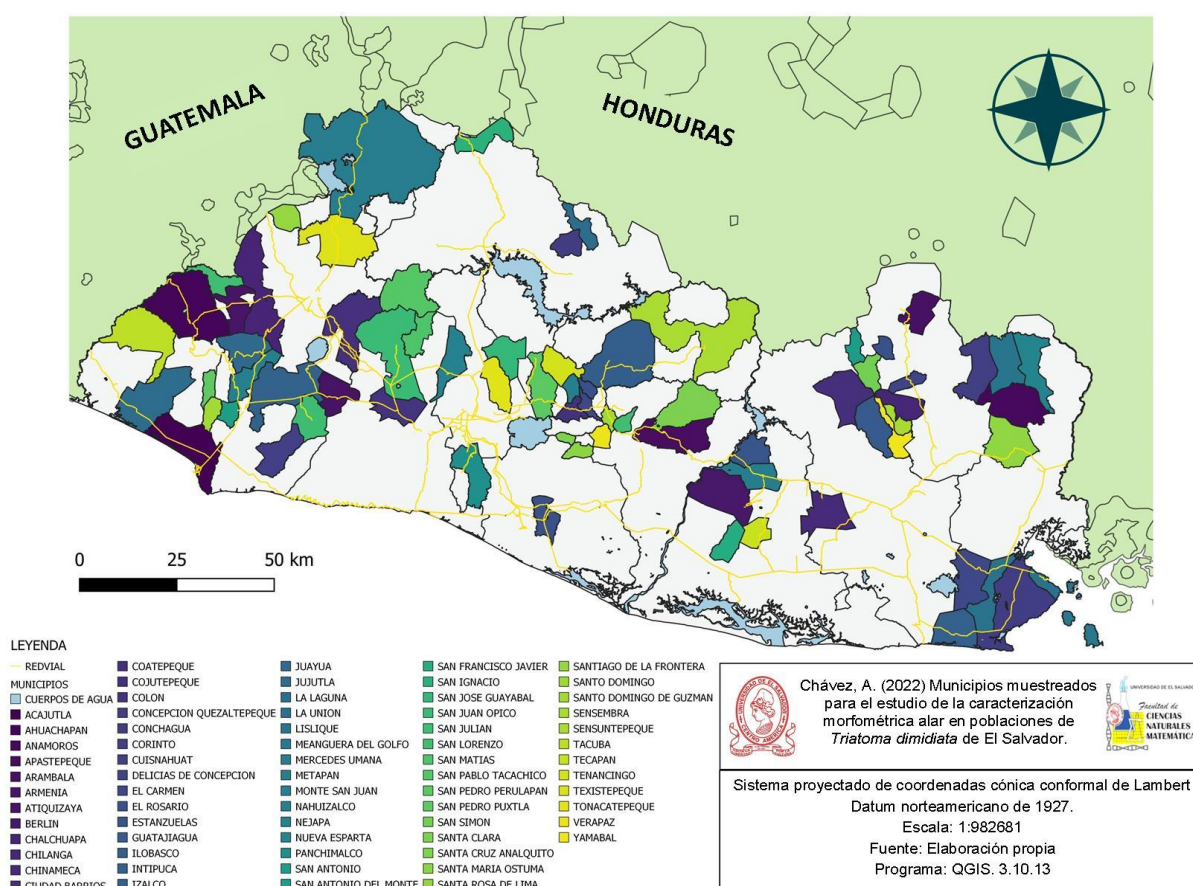


Figura 5.1. Mapa de El Salvador con 69 de los 72 municipios de colecta de los *Triatomino*. Elaborado por Azucena María Chávez.

Para el procesamiento de las muestras se trabajó con especímenes de la colección húmeda del Laboratorio de entomología de vectores (LEV), en el Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD).

5.2. Tipo de muestreo y diseño general

Para el análisis morfométrico alar se utilizó un muestreo intencional o de conveniencia (Hernández 2004), debido a que las muestras se seleccionaron a conveniencia de acuerdo a la cantidad de individuos con los que se contaba en la colección húmeda del laboratorio, donde interferieran factores como el estadio del individuo (adulto) y el estado de las alas. La variación intraespecie se estudió en función de las mediciones realizadas en el ala izquierda primaria de los especímenes debido a que es una estructura de protección con características coriáceas en la sección más próxima al tórax.

Cuadro 5.1. Cantidad de individuos seleccionados por departamento.

| | DEPARTAMENTO | Sexo | | TOTAL |
|-------|--------------|------|-----|-------|
| | | F | M | |
| 1 | Ahuachapán | 15 | 24 | 39 |
| 2 | Santa Ana | 16 | 16 | 32 |
| 3 | Sonsonate | 23 | 42 | 65 |
| 4 | Chalatenango | 7 | 1 | 8 |
| 5 | La Libertad | 27 | 29 | 56 |
| 6 | San Salvador | 17 | 29 | 46 |
| 7 | Cuscatlán | 27 | 18 | 45 |
| 8 | La Paz | 9 | 14 | 23 |
| 9 | Cabañas | 3 | 7 | 10 |
| 10 | San Vicente | 19 | 23 | 42 |
| 11 | Usulután | 7 | 9 | 16 |
| 12 | San Miguel | 23 | 24 | 57 |
| 13 | Morazán | 14 | 12 | 26 |
| 14 | La Unión | 7 | 11 | 18 |
| Total | | 214 | 269 | 483 |

5.3. Selección y organización de los especímenes a utilizar

Utilizando el registro y las bases de datos se seleccionaron 483 individuos, 214 de ellos eran hembras y 269 machos los que se utilizaron durante el proceso de la investigación, los individuos previamente colectados han sido almacenados en la colección húmeda. Entre los parámetros para la selección se utilizaron únicamente especímenes en estado adulto que se encontraban completos y en óptimo estado

de preservación. Se trasladaron sus datos a una nueva base donde se tomaron datos como: sexo, sitio de colecta, código, entre otros.

En esta fase con ayuda de pinzas se extrajeron las alas de cada individuo y se almacenaron en tubos eppendorf con etanol al 85% y 5% de glicerol para la preservación de las mismas (figura 5.2).

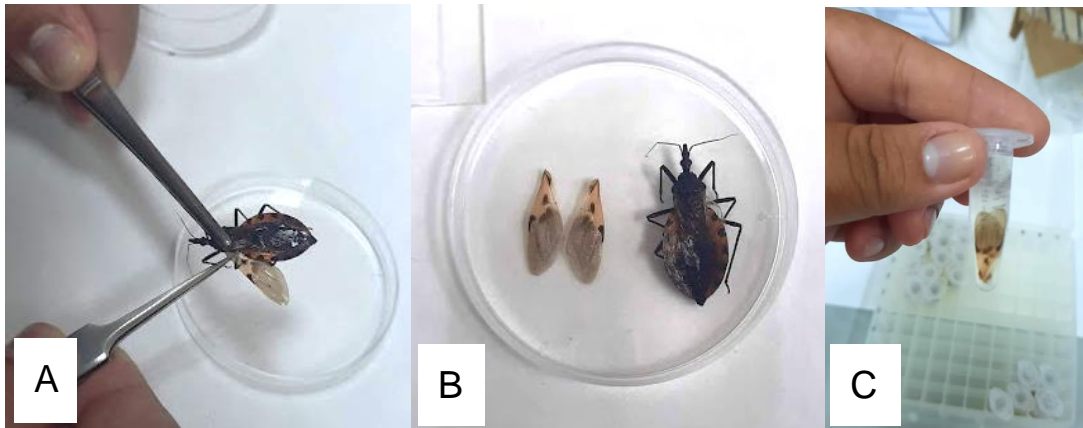


Figura 5.2. Procesamiento de las de espécimen de *Triatoma dimidiata*. A. Extracción de las alas del individuo, B. Individuo con alas separadas, C. Preservación de las alas.

5.4. Montaje de alas

Para el montaje de alas se organizaron en pares sobre una base de durapax (figura 5.3), manteniendo un orden específico para evitar confusiones, una vez organizadas se colocaron en una secadora durante 20 min, precalentado a una temperatura de 120⁰ C, donde se verificó si estaban completamente secas y si no se dejaban unos minutos más.

Una vez secadas, con ayuda de un bisturí, se retiró la sección más coriácea o de mayor grosor para asegurarse que no quedaran burbujas que pudieran obstruir la visibilidad de las venas; luego se colocó una gota de entellan sobre un portaobjeto y se esparció de manera circular, una vez colocado el entellan se organizó el par de alas sobre el entellan, se agregó una gota más de entellan para cubrir las alas y sellar la preparación con el cubreobjeto; con ayuda de una goma de borrador se eliminan las burbujas de aire que puedan quedar.



Figura 5.3. Alas de *Triatoma dimidiata*, A. Alas secadas listas para el montaje, B. Montaje de ala en lámina permanente.

Una vez montadas en la lámina se organizaron en un sitio seguro y seco para esperar alrededor de 24h a que el entellan se seque por completo. Una vez secado el entellan se retiró el exceso de los bordes del cubreobjeto con algodón y xileno, para luego sellar los bordes con barniz o sellante.

5.6. Procesamiento de las muestras y obtención de datos

Para la colecta de los datos morfométricos el procedimiento se realizó por completo por uno de los investigadores para evitar sesgos y minimizar errores. El registro fotográfico se realizó en el LEV-CENSALUD de la Universidad de El Salvador, bajo un microscopio Focus con la adaptación de una cámara digital AmScope MU-503 previamente calibrada, utilizando el programa Amscope digital microscope (figura 5.4), las fotografías fueron tomadas con colores naturales, se fotografiaron de manera individual cada una de las alas, a las fotografías se les asignó un código en base a las características a utilizar en el análisis morfométrico.

Posterior a la finalización del registro fotográfico todas las fotos se comprimieron en un archivo tps utilizando el software tpsUtil32 (Rohlf 2015) ya que puede codificar

aleatoriamente el orden de las muestras en un archivo tps para minimizar el sesgo en la digitalización de ubicaciones de puntos de referencia.

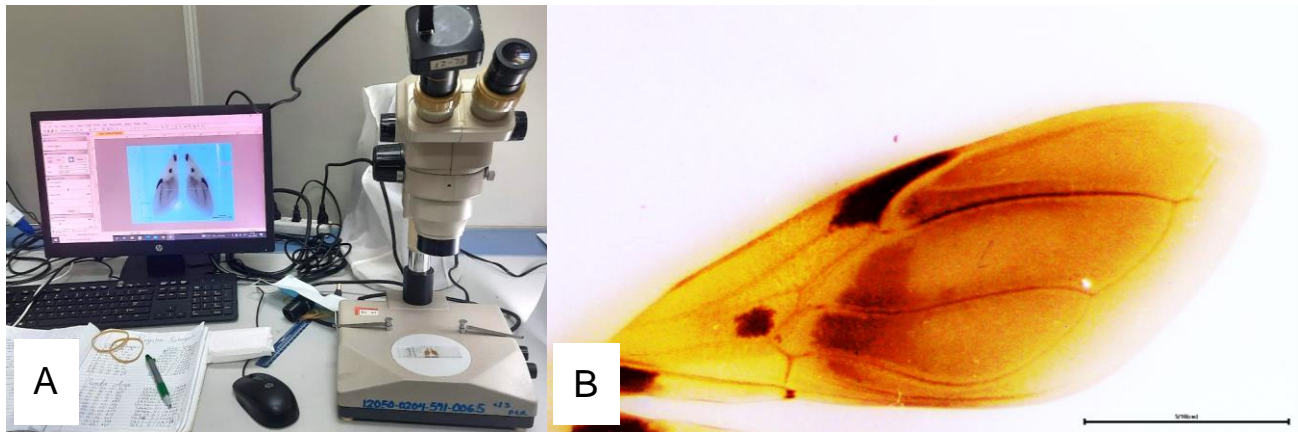


Figura 5.4. Registro fotográfico de alas de *Triatoma dimidiata* A. Equipo necesario para el registro fotográfico, B. Ala izquierda código AHM01.

Por medio del programa tpsDig232 (Rohlf 2005) para analizar las imágenes, se obtuvieron 13 puntos coordenadas de referencia (Landmarks) de cada ala (figura 5.5), a partir de los cuales se obtuvieron las mediciones morfométricas.



Figura 5.5. Ala izquierda de un Triatomino del departamento de Ahuachapán con los puntos 13 marcados en el programa tpsDig232.

De las 483 alas pre seleccionadas y montadas en lámina permanente se seleccionaron 396 que cumplían con los criterios del análisis 1) Ala completa sin ninguna rasgadura 2) Visibilidad de los puntos seleccionados 3) Que no hubiera ausencia alguno de los puntos seleccionados en las alas. Con estas coordenadas y utilizando el programa MorphoJ se realizó un análisis generalizado de Procrustes para obtener variables asociadas a la forma y tamaño alar en donde se eliminan diferencias en orientación, posición y tamaño isométrico (Rohlf 1999).

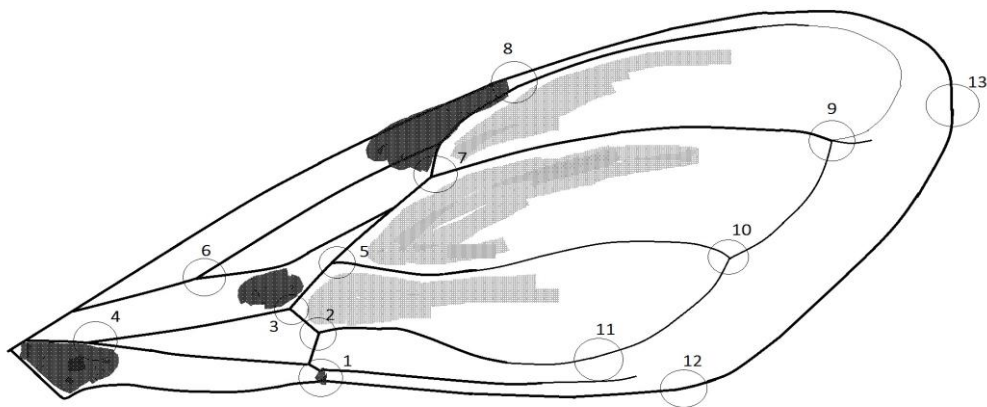


Figura 5.6. Esquema del ala de *Triatoma dimidiata* con los 13 puntos seleccionados. Elaborado por Azucena María Chávez.

5.7. Análisis de morfometría geométrica y estadístico.

Mediante un Análisis de Procrustes, se procesaron las coordenadas cartesianas derivadas de las posiciones de los puntos de referencia. Haciendo la superposición de las configuraciones resultantes de todos los especímenes analizados. Para evaluar la variación en la conformación del ala, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) de las variables de la forma, utilizando la matriz de covarianza de la forma individual. PCA identifica los ejes de mayor variación en una variación de una muestra, para reducir la dimensionalidad del análisis. Este tipo de análisis realiza una transformación lineal aplicada a un conjunto de datos multivariantes que generalmente se encuentran correlacionados entre sí, en donde se expresa la información contenida en un conjunto de datos, con un número menor de variables (Jolliffe 2002). A partir de ello se generó un esquema de conformación de rejilla utilizado para observar las deformaciones de las alas, y dar mayor visibilidad a los puntos de mayor modificación entre los individuos.

Utilizando las variables de forma total (componentes principales) para destacar los cambios asociados a la forma entre las poblaciones, se llevó a cabo un análisis de variables canónicas (CVA) y un análisis multivariante de varianza (MANOVA) utilizando un clasificador en base a los diferentes departamentos. Es importante señalar que el CVA es un análisis discriminante que maximiza la variación entre grupos, creando un nuevo eje de forma. Para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los departamentos, se realizó una prueba de permutación (10.000 permutaciones) utilizando las distancias de Procrustes (distancias morfológicas resultantes de un CVA).

A partir de las distancias de Procrustes se generó un análisis de conglomerados jerárquicos para observar las similitudes y semejanzas entre las poblaciones dependiendo del departamento de procedencia, así como también se generó un “mapa filogenético” como herramienta para observar en el espacio forma, el promedio de la conformación del ala por departamento y sus distancias obtenidas en el CVA superpuestas en la ubicación del promedio de la forma. Cabe recalcar que no es un mapa filogenético como tal sino que esta herramienta fue utilizada para observar en el espacio forma con los promedios de forma de las alas y sus similitudes con las alas de los demás departamentos. Con el promedio de forma se generó también la ilustración para observar los cambios de conformación de las alas de los especímenes por departamento.

Para el efecto alométrico se calculó la regresión multivariante para corregir el tamaño de los datos de forma. Este método utiliza las pendientes de regresión dentro de las muestras para separar los componentes predichos y residuales de la variación en las variables dependientes, así como también para conocer la alometría entre los especímenes. Se realizó un análisis de regresión multivariante por departamento para conocer la influencia en la variación por la altitud.

Como resultado de las distancias de Procrustes se realizaron comparaciones entre diferentes departamentos, tomando en consideración la distancia y el valor P de los departamentos, en un primer momento se observó la diferencia entre Cabañas, La Unión y La Paz donde se realizó un análisis de variables canónicas (CVA) y una regresión multivariante para conocer el valor alométrico entre departamentos. Así

como también se siguió el mismo procedimiento en una comparación de Cuscatlán, Morazán y Chalatenango.

Para conocer el efecto de la altitud de la zona de procedencia de los especímenes se agregó un nuevo clasificador, en el registro de los especímenes y en el código donde se establecieron altitudes baja (B), media (M) y alta (A), donde se consideraron las altitudes como zona baja de 0 a 500 m.s.n.m., zona media de 501 a 1,000 m.s.n.m. y de 1,001 m.s.n.m. en adelante como zona alta. Con ello se calculó un análisis de variables canónicas y una regresión multivariada, únicamente por su valor alométrico. Se seleccionó un departamento muestra para conocer el efecto de la altitud sobre las muestras y de igual manera se calculó un análisis de variables canónicas y una regresión multivariada.

Para el dimorfismo sexual se realizó un análisis de variables canónicas (CVA) para evaluar el potencial de la conformación alar para separar sexos, utilizando las distancias de procrustes (distancias morfológicas resultantes de un CVA). Las observaciones de ambos grupos se combinan y clasifican para evaluar la varianza de machos y hembras con un análisis multivariante de varianza (MANOVA) con una prueba de permutación (10.000 permutaciones).

Partiendo de las diferencias entre machos y hembras, se calcularon diferentes análisis por sexo, donde se separaron todos los machos de las hembras, generando análisis de Procrustes, matriz de covarianza, análisis de variables canónicas y regresión tanto para machos como para hembras.

Para calcular la prueba de error que determina la aceptación de la digitalización de los puntos en las alas se calculó el Análisis de Procrustes ANOVA donde se utilizó un segundo conjunto de datos retomando los pasos de la digitalización de los puntos. Para todos los análisis morfométricos se utilizó el software Morphoj 1.07. Para el análisis estadístico se utilizó el software Past 3.

6. RESULTADOS

6.1. Análisis morfométrico por departamentos

De las 483 muestras de alas seleccionadas y montadas sólo se trabajaron con las que cumplieron con los criterios del análisis, siendo, 396 alas izquierdas provenientes de los 14 departamentos, con un total de 72 municipios y 121 cantones o caseríos (anexo 2) de los cuales solo se identificaron 69 con altitudes estimadas desde los 5 m.s.n.m hasta los 1,517 m.s.n.m. Con un total de 18 individuos procedentes de Ahuachapán, 31 de Santa Ana, 42 de Sonsonate, 8 de Chalatenango, 39 de La Libertad, 41 de San Salvador, 39 de Cuscatlán, 23 de La Paz, 7 de Cabañas, 38 de San Vicente, 16 de Usulután, 52 de San Miguel, 25 de Morazán y 17 de La Unión.

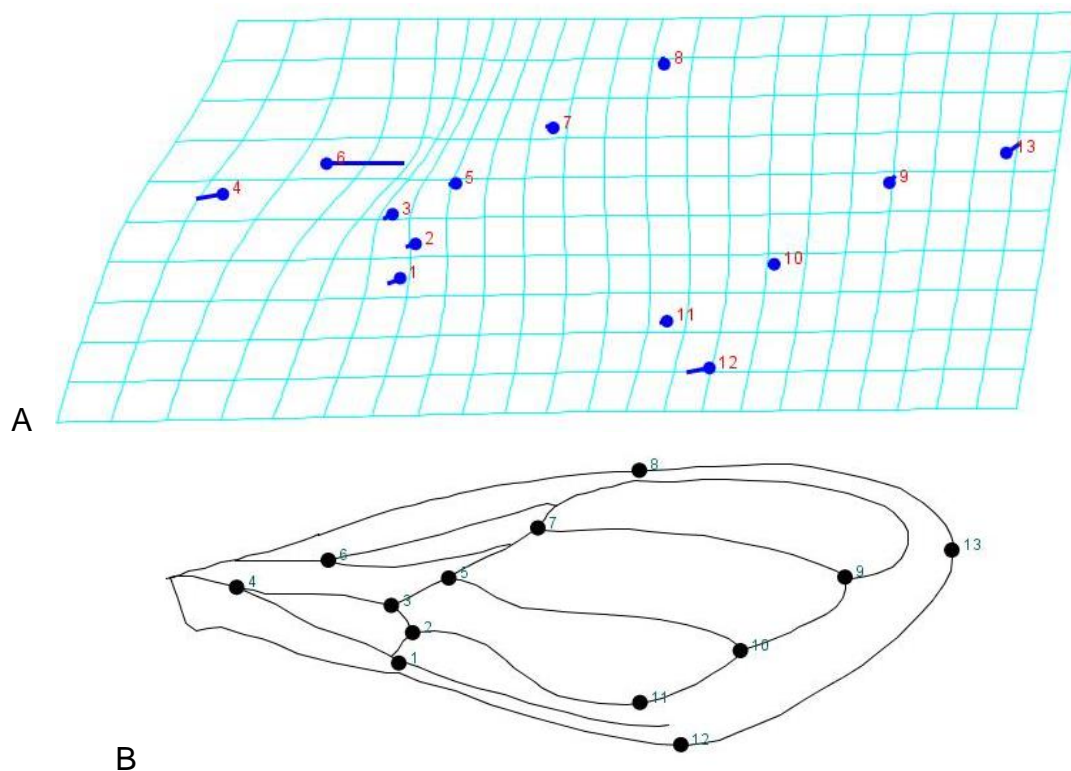


Figura 6.1. Deformación del ala. La deformación de las rejillas corresponden a las diferencias en conformación de las alas de *Triatoma dimidiata* en variación en el espacio de forma en base a los componentes principales. A) Proyección de la deformación de rejillas del análisis de componentes principales. B) Presentación de la ilustración de los contornos en la deformación del ala.

En la Figura 6.1 podemos observar la deformación del ala de *Triatoma dimidiata*. La deformación de las rejillas corresponde a las diferencias en conformación de las alas en la variación del espacio de forma en base a los componentes principales. Entre los puntos 1, 4 y 6 podemos apreciar diferencias o alteraciones en el largo de las alas, y los puntos 12 y 13 muestran diferencias en el ancho de la parte posterior del ala.

Para la conformación de las alas podemos determinar que si existe una diferencia estadística altamente significativa al comparar los grupos procedentes de los diferentes departamentos (cuadro 6.2) con valores Wilk's Lambda= 0.1206, F=5.238, df1=169, df=3449, P<0.001 (MANOVA/CVA de las variables de forma).

Cuadro 6.1. Nomenclatura para la lectura de la proyección del análisis de Componentes principales por departamento.

| Abreviatura | Departamento | Abreviatura | Departamento |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
| AH | Ahuachapán | MO | Morazán |
| CA | Cabañas | SA | Santa Ana |
| CH | Chalatenango | SM | San Miguel |
| CU | Cuscatlan | SO | Sonsonate |
| LL | La Libertad | SS | San Salvador |
| LP | La Paz | SV | San Vicente |
| LU | La Unión | US | Usulután |

Cuadro 6.2. Análisis multivariante de varianza (MANOVA) para las medidas de conformación de las alas de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador.

| | | | |
|----------------|----------|---------------|----------|
| Wilks' lambda: | 0.1206 | Pillai trace: | 1.813 |
| df1: | 169 | df1: | 169 |
| df2: | 3449 | df2: | 4966 |
| F: | 5.238 | F: | 4.763 |
| p (same): | 9.21E-84 | p (same): | 1.64E-75 |

En el Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los 14 departamentos de El Salvador (gráfico 6.1) podemos observar los promedios de las diferencias en la conformación en el espacio de forma.

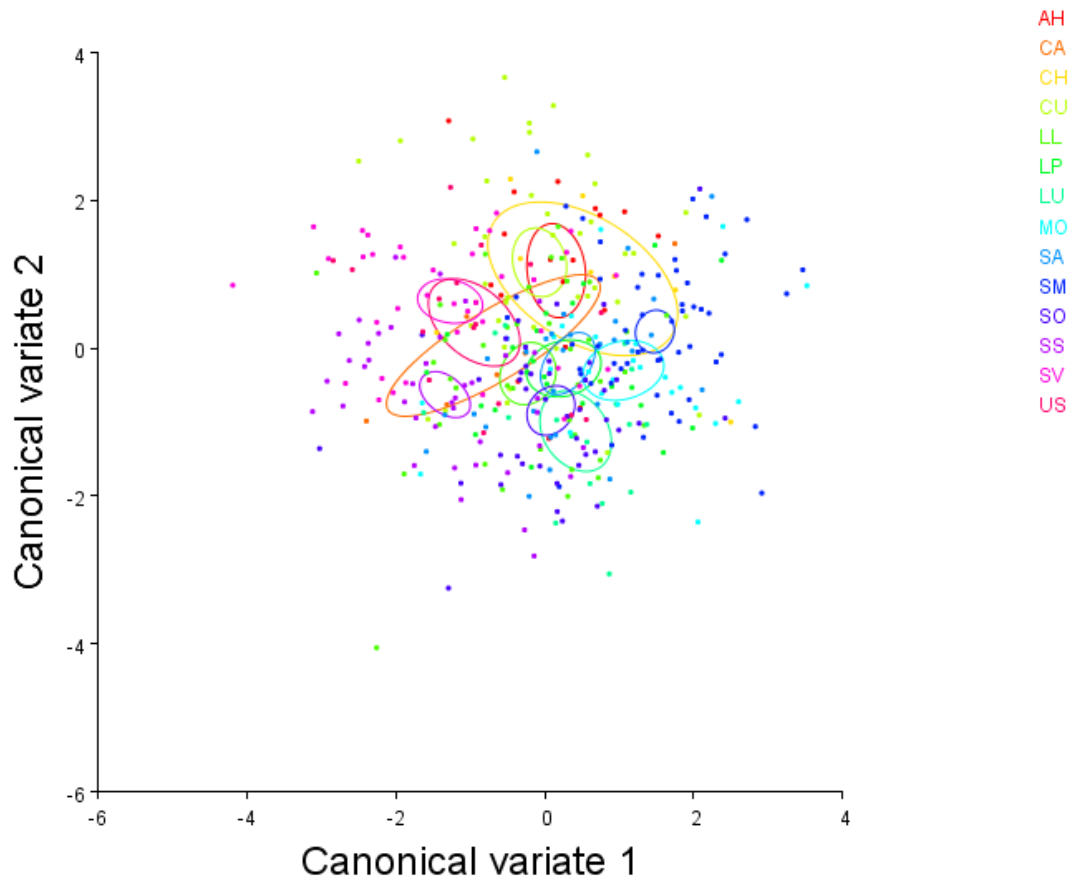


Gráfico 6.1. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares**

** Consultar cuadro 6.1 para identificar las abreviaturas de los departamentos.

Análisis de Componentes Principales para conocer una ubicación del espacio forma promedio por departamento, utilizando las distancias de procrustes podemos conocer las similitudes y diferencias (cuadro 6.3) entre las mediciones de la conformación de las alas promedio por departamento (Gráfico 6.2 y 6.3); donde se generaron dos grandes grupos el grupo A (Cuscatla, San Vicente, Usulután,

Ahuachapan, San Salvador, Cabañas) y un grupo B (Chalatenango, La Libertad, Santa Ana, Sonsonate, Morazán, San Miguel, La Unión y La Paz).

Cuadro 6.3. Distancias de procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de los especímenes de *Triatoma dimidiata*.

| | AH | CA | CH | CU | LL | LP | LU | MO | SA | SM | SO | SS | SV | US |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AH | 0 | 0.3002 | 0.197 | 0.0949 | 0.0318 | 0.0015 | 0.0005 | 0.0081 | 0.0241 | 0.0259 | 0.0327 | 0.0035 | 0.0732 | 0.4578 |
| CA | 0.019 | 0 | 0.2339 | 0.008 | 0.0527 | 0.0006 | 0.0068 | 0.0033 | 0.0078 | 0.0189 | 0.016 | 0.0156 | 0.0392 | 0.2059 |
| CH | 0.020 | 0.025 | 0 | 0.0654 | 0.4536 | 0.0334 | 0.1085 | 0.1319 | 0.4196 | 0.267 | 0.077 | 0.0583 | 0.0051 | 0.1048 |
| CU | 0.014 | 0.026 | 0.021 | 0 | 0.0004 | 0.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | 0.012 | 0.0493 |
| LL | 0.017 | 0.023 | 0.015 | 0.018 | 0 | 0.0094 | 0.0151 | 0.0336 | 0.4363 | 0.0028 | 0.0508 | 0.0001 | <.0001 | 0.007 |
| LP | 0.025 | 0.037 | 0.025 | 0.022 | 0.017 | 0 | 0.0004 | 0.0006 | 0.0003 | 0.0001 | 0.004 | <.0001 | <.0001 | 0.0003 |
| LU | 0.028 | 0.032 | 0.022 | 0.033 | 0.018 | 0.026 | 0 | 0.1557 | 0.0187 | 0.0083 | 0.0038 | <.0001 | <.0001 | 0.0009 |
| MO | 0.019 | 0.029 | 0.020 | 0.024 | 0.015 | 0.022 | 0.015 | 0 | 0.3681 | 0.0985 | 0.1111 | <.0001 | <.0001 | 0.0066 |
| SA | 0.015 | 0.023 | 0.014 | 0.020 | 0.009 | 0.020 | 0.016 | 0.010 | 0 | 0.1346 | 0.2129 | <.0001 | <.0001 | 0.0082 |
| SM | 0.016 | 0.025 | 0.017 | 0.022 | 0.015 | 0.021 | 0.018 | 0.012 | 0.011 | 0 | 0.0007 | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| SO | 0.016 | 0.026 | 0.021 | 0.020 | 0.012 | 0.019 | 0.020 | 0.012 | 0.010 | 0.016 | 0 | <.0001 | <.0001 | 0.0537 |
| SS | 0.020 | 0.026 | 0.022 | 0.019 | 0.018 | 0.024 | 0.026 | 0.023 | 0.019 | 0.022 | 0.021 | 0 | 0.0004 | 0.002 |
| SV | 0.015 | 0.023 | 0.026 | 0.014 | 0.023 | 0.028 | 0.036 | 0.029 | 0.023 | 0.026 | 0.023 | 0.017 | 0 | 0.1154 |
| US | 0.014 | 0.023 | 0.025 | 0.017 | 0.020 | 0.029 | 0.031 | 0.023 | 0.020 | 0.026 | 0.017 | 0.023 | 0.015 | 0 |

Distancias de Procrustes

P-valores

En el gráfico 6.3 podemos apreciar las diferencias en promedio entre los grupos en el espacio forma, mostrando así las diferencias significativas entre los grupos, dando a conocer como influyen las características ambientales por departamento, tomando como factor principal la variable altitud.

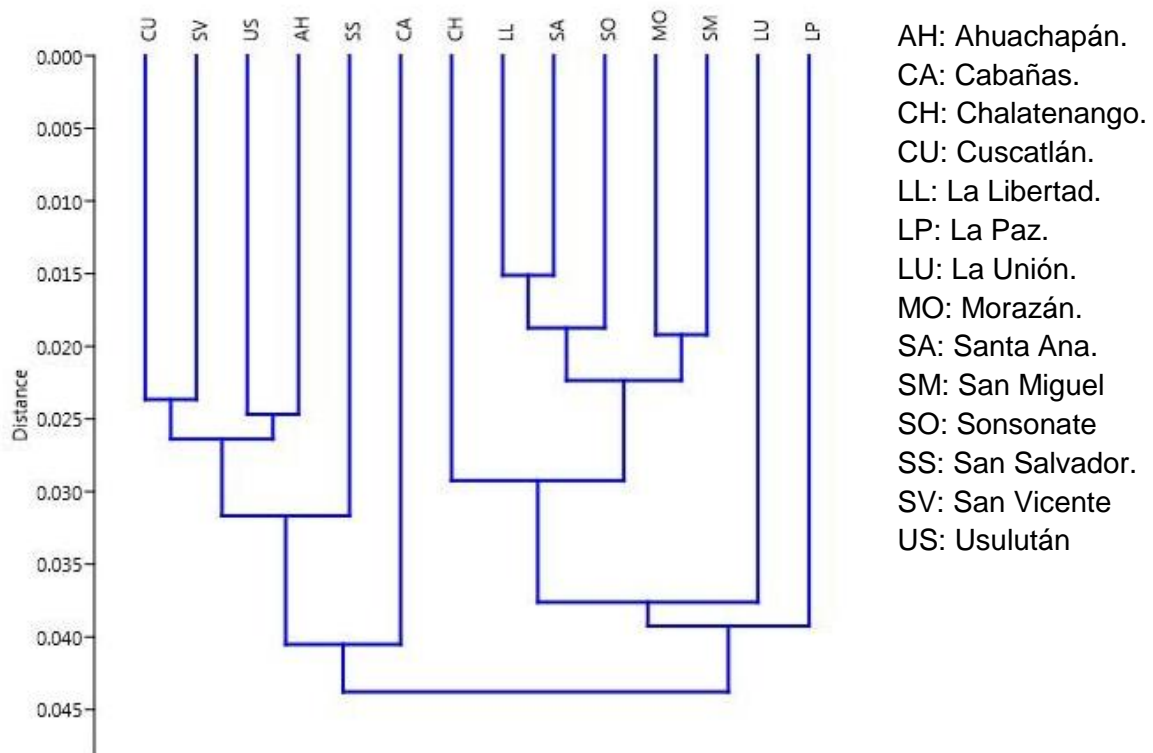


Gráfico 6.2. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de los especímenes de *Triatoma dimidiata*.

El grupo A del lado izquierdo a partir de la raíz (Cuscatlán, San Vicente, Usulután, Ahuachapán, San Salvador, Cabañas) donde los individuos provienen de sitios con altitudes mayores a los 400 m.s.n.m. a excepción de Usulután con individuos que provienen de una altitud de 220 m.s.n.m. sin embargo la conformación de las alas poseen características similares a la conformación de las alas de Ahuachapán. Mostrando así individuos más pequeños en comparación con los del grupo B.

En el caso del grupo B del lado derecho de la raíz (Chalatenango, La Libertad, Santa Ana, Sonsonate, Morazán, San Miguel, La Unión y La Paz) podemos observar un conglomerado de 6 departamentos que comparten características muy

similares en cuanto a conformación de sus alas con altitudes variadas que van desde los 24 m.s.n.m. hasta los 1,950 m.s.n.m. y en caso de La Unión con individuos notoriamente más grandes provenientes de altitudes bajas que van desde los 5 m.s.n.m. hasta los 293 m.s.n.m. y La Paz con individuos provenientes de una altitud media de 579 m.s.n.m. tomando en consideraciones altitud baja desde los 0 m.s.n.m, altitud media a partir de los 500 m.s.n.m y altitud alta a partir de los 1,000 m.s.n.m.

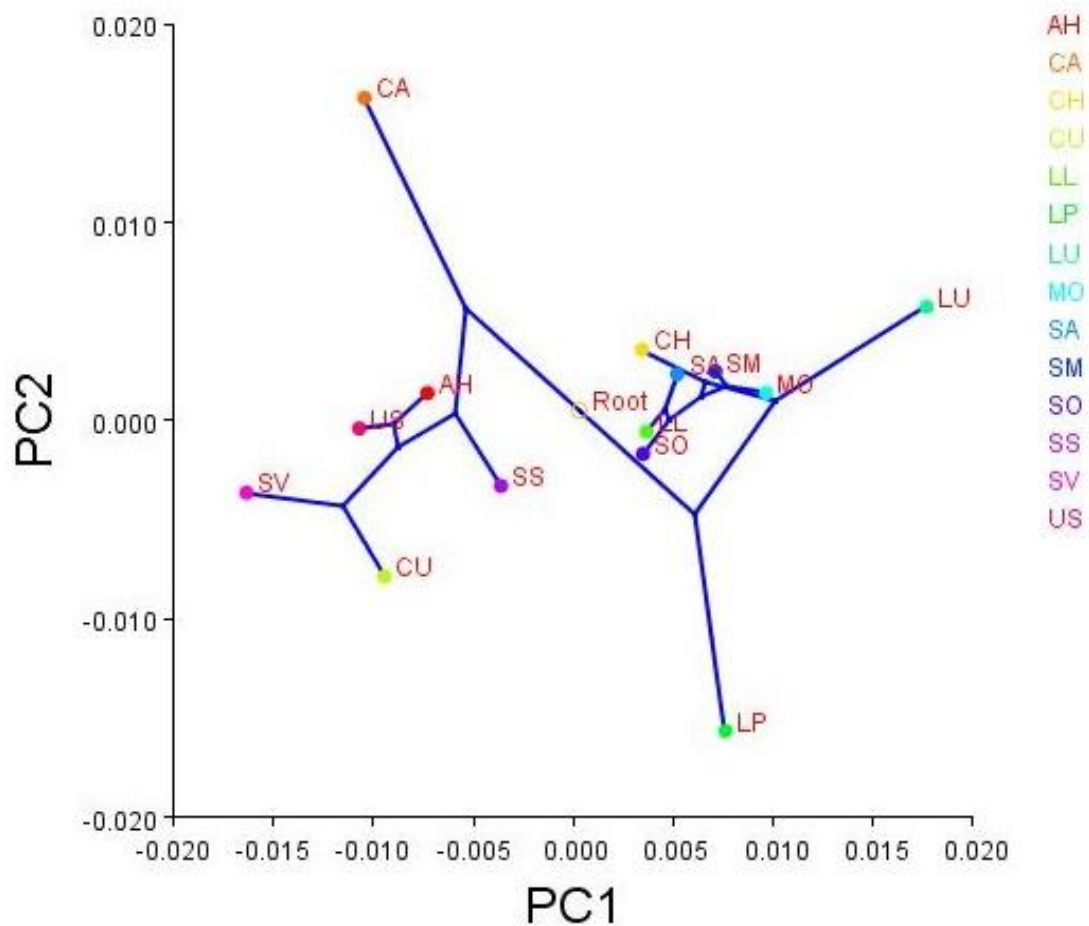


Gráfico 6.3. Ubicación del promedio de la conformación de los especímenes de *Triatoma dimidiata* en el espacio de forma sobre el primer (PC1) y el segundo (PC2) componentes principales y las distancias de Procrustes por departamento.

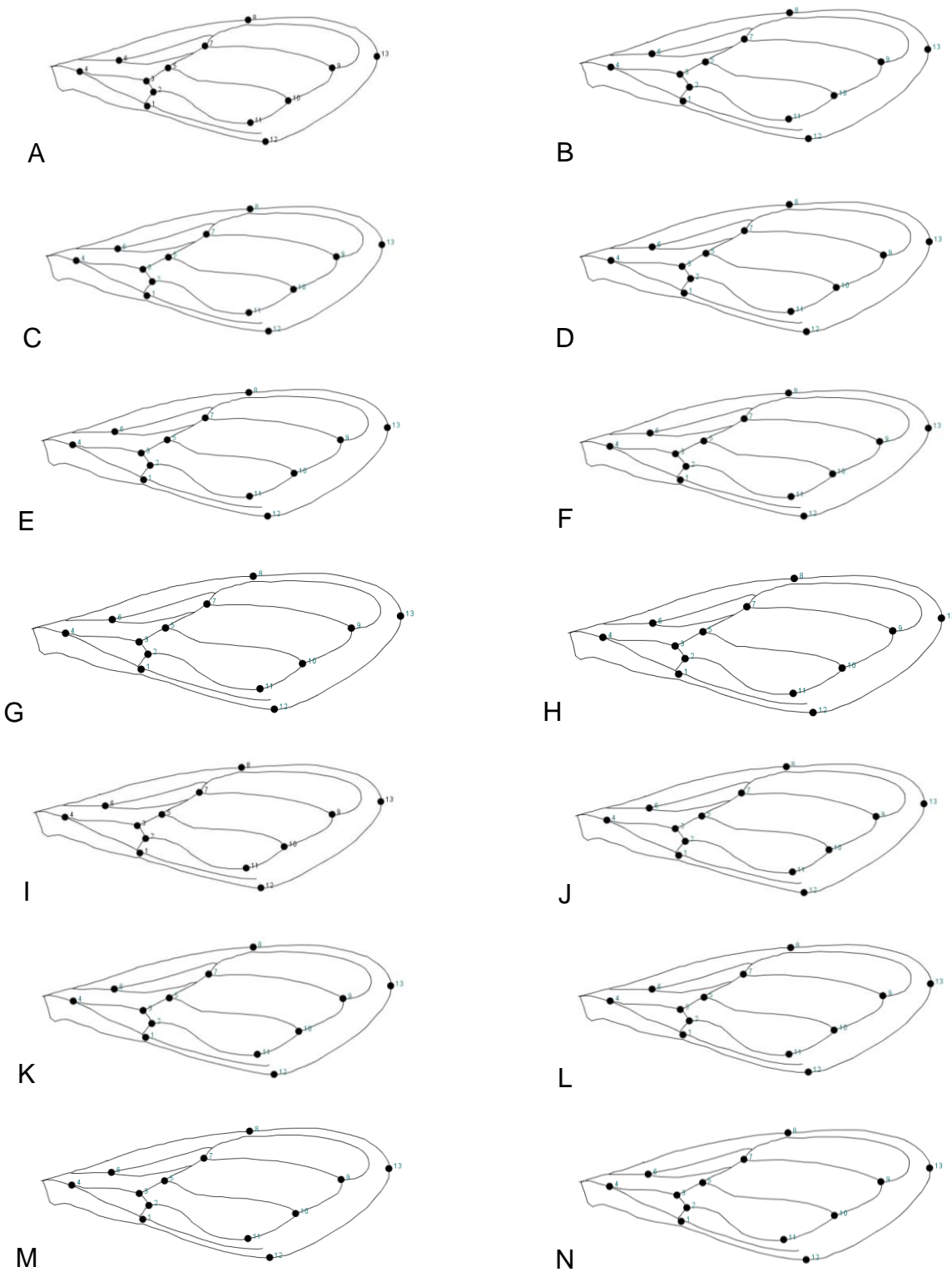


Figura 6.2. Conformación promedio de las alas de *Triatoma dimidiata* de los diferentes departamentos A. Ahuachapán, B. Santa Ana, C. Sonsonate, D. Chalatenango, E. La Libertad, F. San Salvador, G. Cuscatlán, H. La Paz, I. Cabañas, J. San Vicente, K. Usulután, L. San Miguel, M. Morazán, N. La Unión.

6.1.1. Efecto alométrico

Para los departamentos se obtuvieron valores del efecto de alometría estadísticamente significativos del 1.51% (valor mayor al 0.5%) para la variación del centroide (es decir, la variación del tamaño del ala calculada a través del estimador isométrico del tamaño, el tamaño del centroide) (gráfico 6.4). Así como también se calcularon los valores de alometría entre los mismos individuos de cada departamento (gráfico 6.5) con predicciones que van desde los 1.47% para Sonsonate hasta los 9.71% para Ahuachapán, en departamentos donde las altitudes en los sitios de colecta varían grandemente como el caso de La Unión con un valor de alometría del 9.18% con individuos provenientes del municipio de La Unión con una altitud estimada de 5 m.s.n.m. y sitios como Conchagua con una altitud estimada de 293 m.s.n.m.

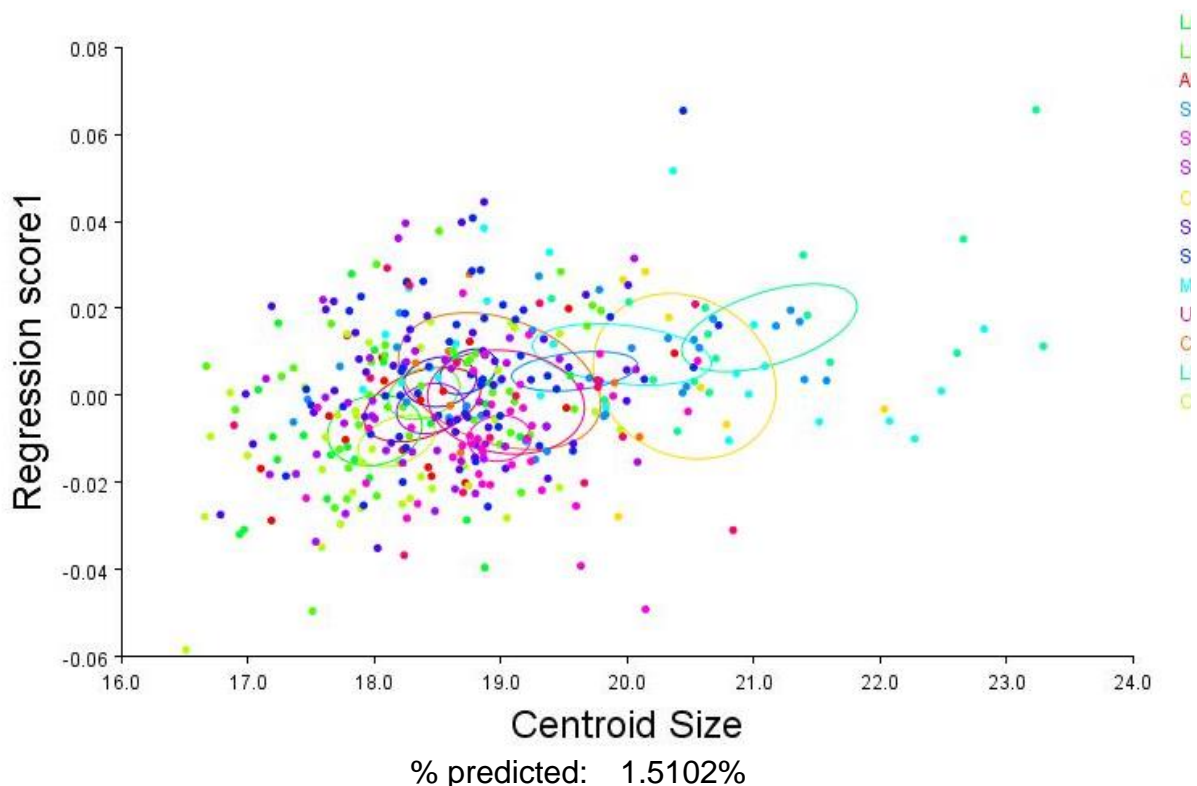


Gráfico 6.4. Efecto alométrico de las alas de especímenes de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador.**

** Consultar cuadro 6.1 para identificar las abreviaturas de los departamentos.

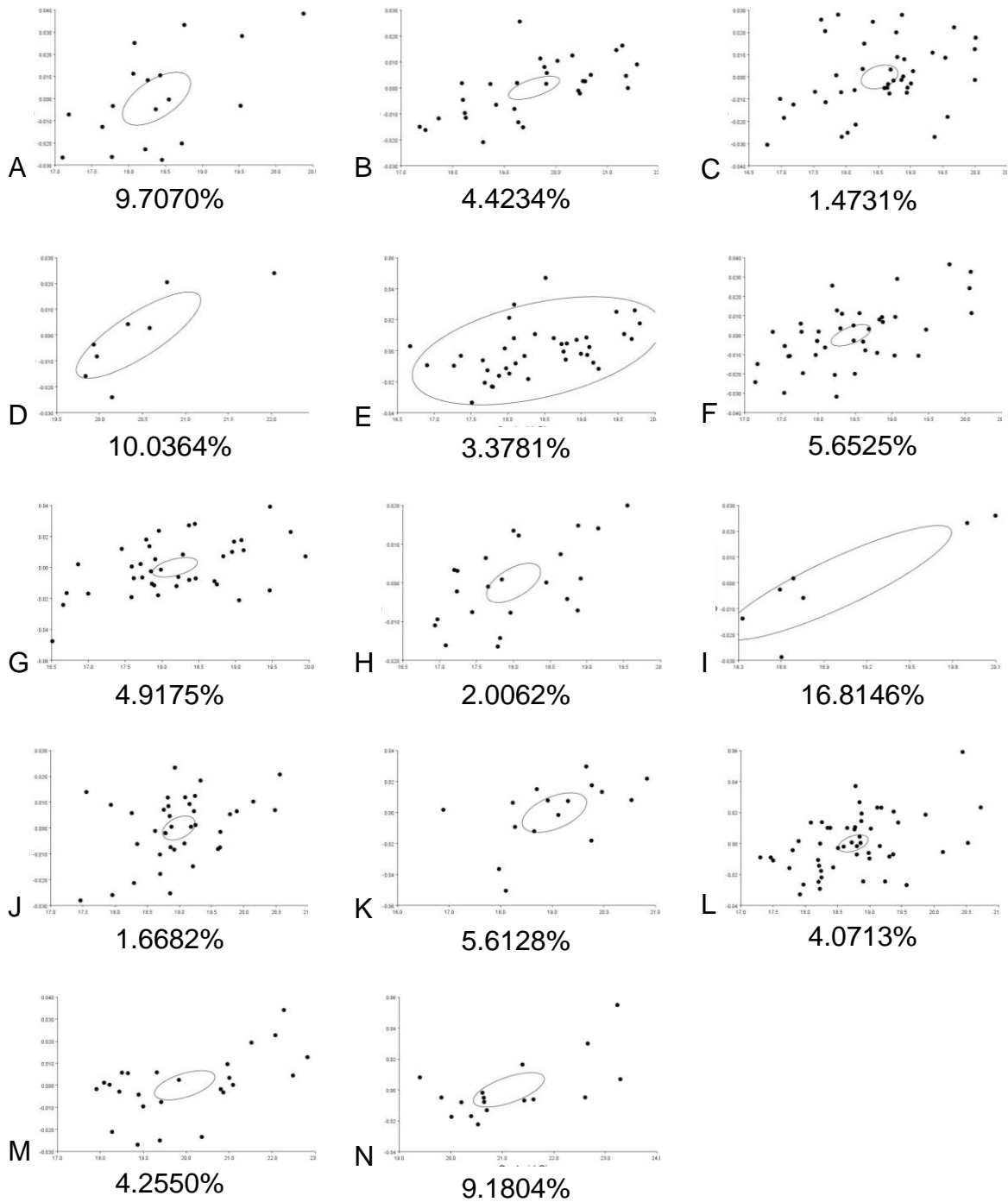


Gráfico 6.5. Efecto alométrico de las alas de *Triatoma dimidiata* por departamento con sus respectivos valores de alometría. Desglose de la distribución de los especímenes para cada localidad A. Ahuachapán, B. Santa Ana, C. Sonsonate, D. Chalatenango, E. La Libertad, F. San Salvador, G. Cuscatlán, H. La Paz, I. Cabañas, J. San Vicente, K. Usulután, L. San Miguel, M. Morazán, N. La Unión.

En base a las distancias de Procrustes, podemos encontrar similitudes y diferencias en el cuadro 3 donde podemos apreciar las distancias y los valores P, que al realizar comparaciones entre departamentos en específico podemos observar las diferencias expuestas en el análisis multivariante de varianza, tal es el caso de Cabañas, La Unión y La Paz que según el análisis del promedio de la forma son los más distantes en el plano dimensional y lo podemos expresar en un análisis de variables canónicas (gráfico 6.6) para expresar las diferencias entre estos grupos en específico. Existiendo diferencias del 0.0006 entre Cabañas y La Paz, una diferencia del 0.0004 entre La Unión y La Paz, y una diferencia del 0.0068 entre Cabañas y La Unión. Con un efecto alométrico del 8.3587% entre los grupos.

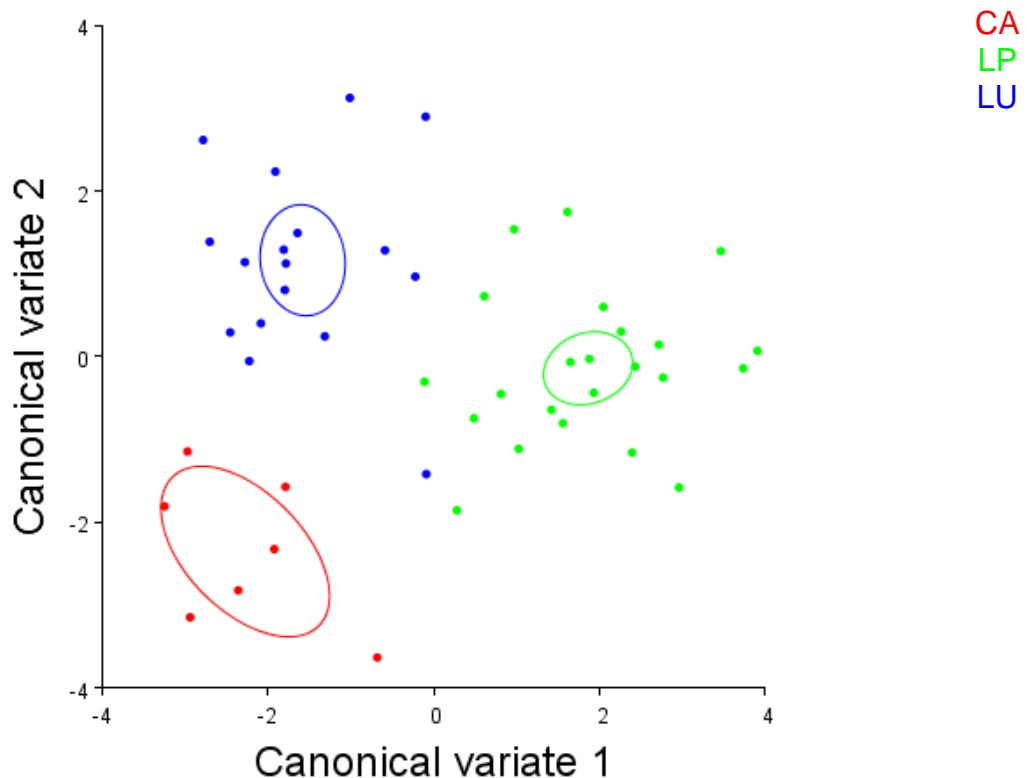


Gráfico 6.6. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de Cabañas, La Paz y La Unión, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares**

** Consultar cuadro 6.1 para identificar las abreviaturas de los departamentos.

Pero al comparar otros departamentos como Cuscatlán, Morazán y Chalatenango (grafico 6.7) podemos observar que las diferencias son mínimas debido a que las

distancias entre Chalatenango y Morazán es del 0.0195, con un valor P del 0.1319, diferente entre Morazán y Cuscatlán donde las distancias son del 0.024, con valores P menores al 0.0001. Las distancias de Procrustes para los departamentos de Chalatenango y Cuscatlán son del 0.0207, con un valor P del 0.0654. En este caso existe más similitudes entre aunque siempre exista un valor alométrico del 2.92%

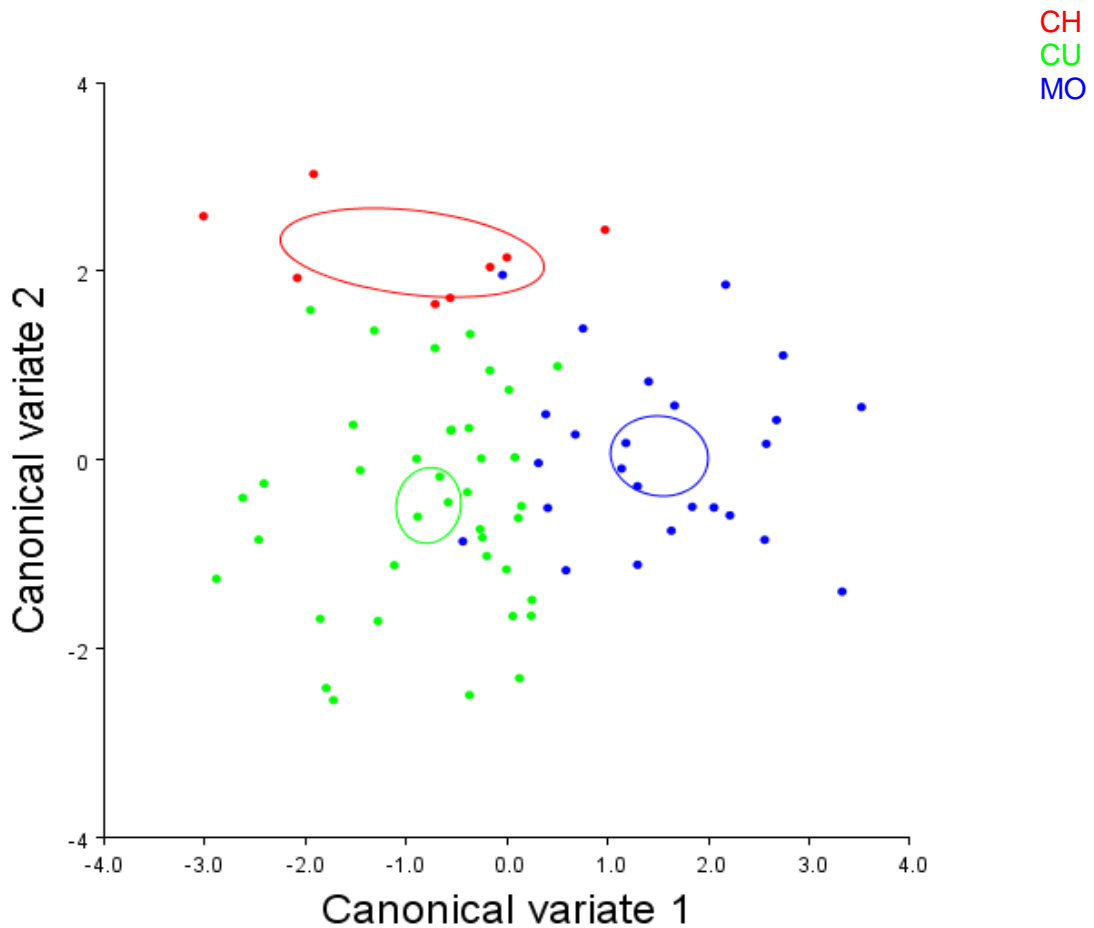


Gráfico 6.7. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de Cabañas, La Paz y La Unión, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares**

** Consultar cuadro 6.1 para identificar las abreviaturas de los departamentos.

6.1.2. Efecto de la altitud

Para conocer la influencia de la altitud como se refleja en las alometrias por departamentos se realizó un análisis de variables canónicas (gráfico 6.8) expresando distancias de Procrustes desde los 0.0078 entre altitudes bajas, y altitudes medias, hasta una distancia del 0.0171 entre altitud baja y altitud baja (cuadro 4). Con un valor alométrico del 1.72% un poco mayor al valor alométrico expresado en la regresión por departamentos. Sin embargo al realizar análisis por departamentos, en el caso de Sonsonate donde se ha muestreado en las tres altitudes (gráfico 6.9) podemos observar diferencias entre los grupos, como el caso de los especímenes de zonas altas versus los de zonas bajas tienen una distancia del 0.0178 (cuadro 5).

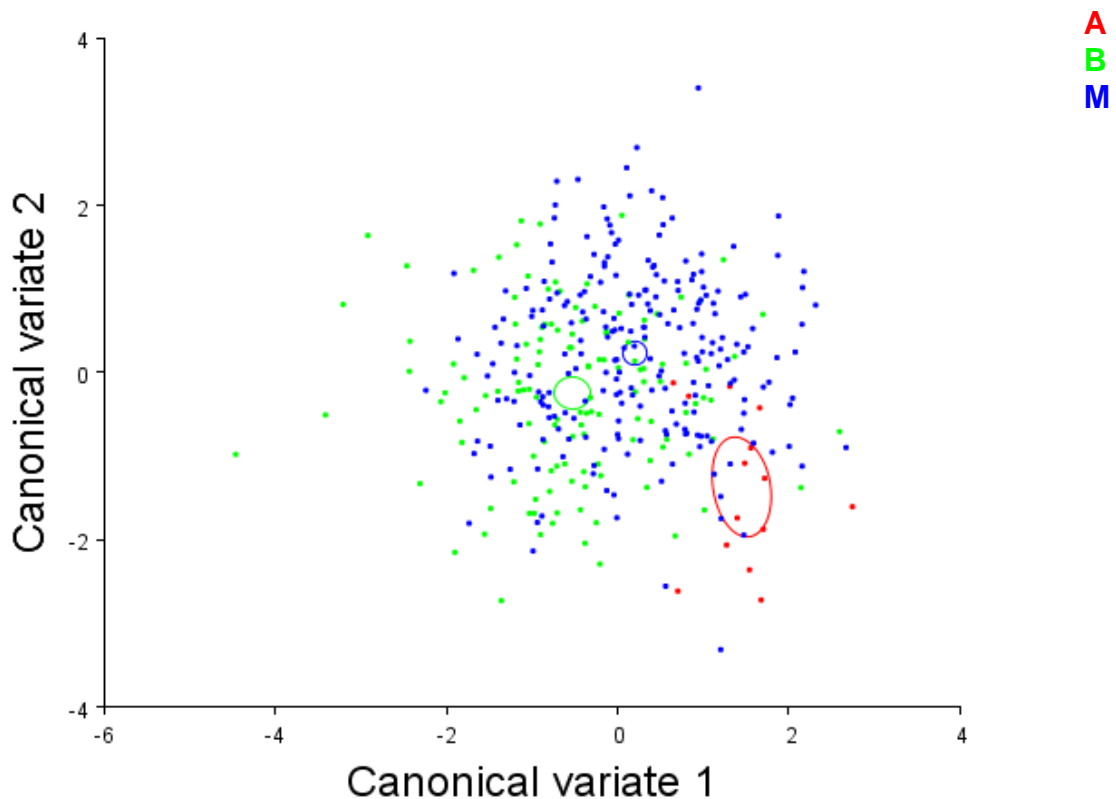


Gráfico 6.8. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los 14 departamentos de El Salvador, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares

Cuadro 6.4. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) en base a las altitudes del sitio de procedencias de los especímenes de *Triatoma dimidiata*.

| Altitud | Alta | Media | Baja |
|---------|--------|--------|------|
| Alta | 0 | | |
| Media | 0.0143 | 0 | |
| Baja | 0.0171 | 0.0078 | 0 |

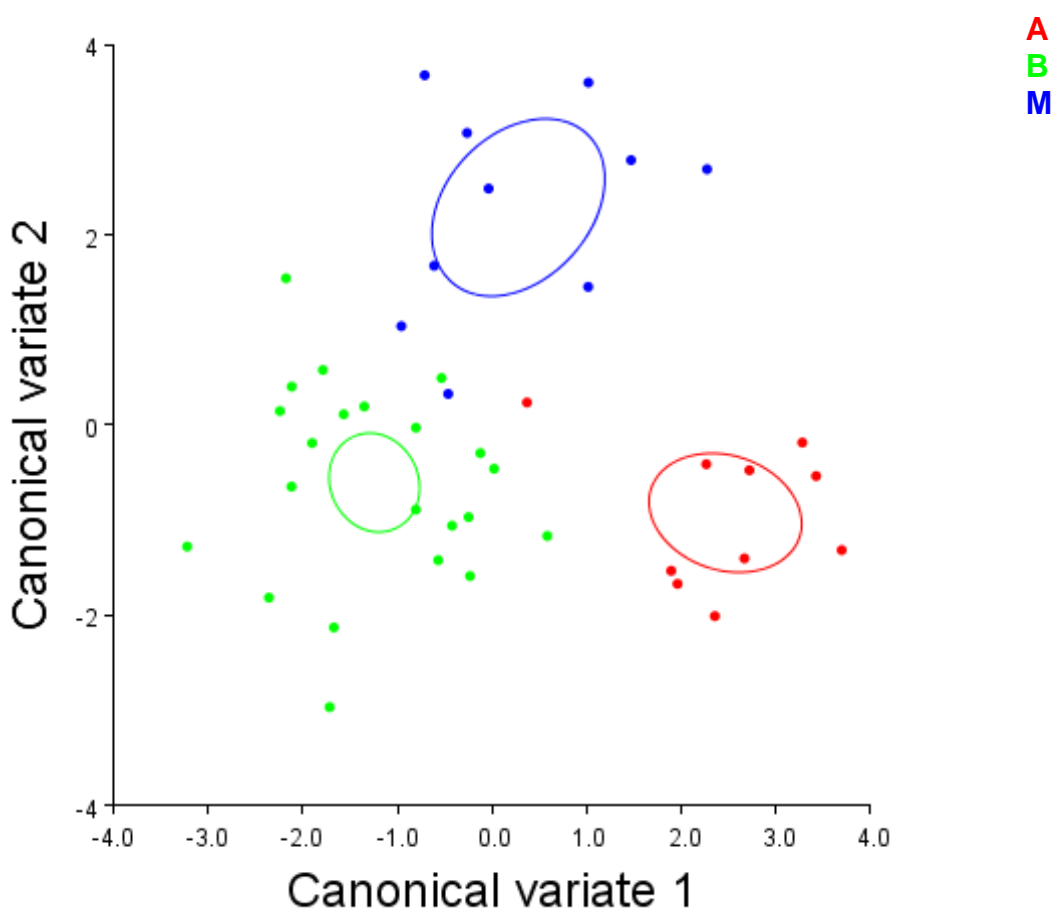


Gráfico 6.9. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* del departamento de Sonsonate, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares

Cuadro 6.5. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) en base a las altitudes del sitio de procedencias de los especímenes de *Triatoma dimidiata* del departamento de Sonsonate.

| Altitud | Alta | Media | Baja |
|---------|--------|--------|------|
| Alta | 0 | | |
| Media | 0.0278 | 0 | |
| Baja | 0.0178 | 0.0228 | 0 |

6.2. Dimorfismo sexual

El dimorfismo sexual en la conformación del ala (figura 6.3). Así como también en el análisis de componentes principales se puede observar una diferencia en el promedio de la conformación del ala y en el análisis de regresión se puede observar la influencia del tamaño en el promedio de los individuos (gráfico 6.10 y gráfico 6.9).

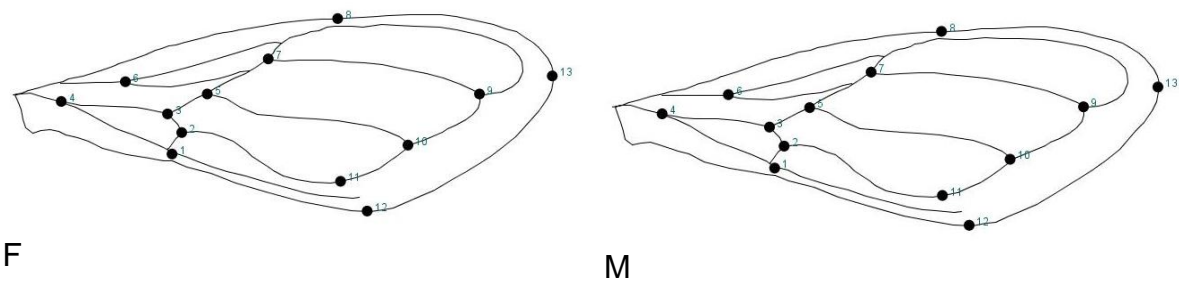


Figura 6.3. Conformación promedio de las alas de los especímenes de *Triatoma dimidiata* por sexo. F. Hembra, M. Macho.

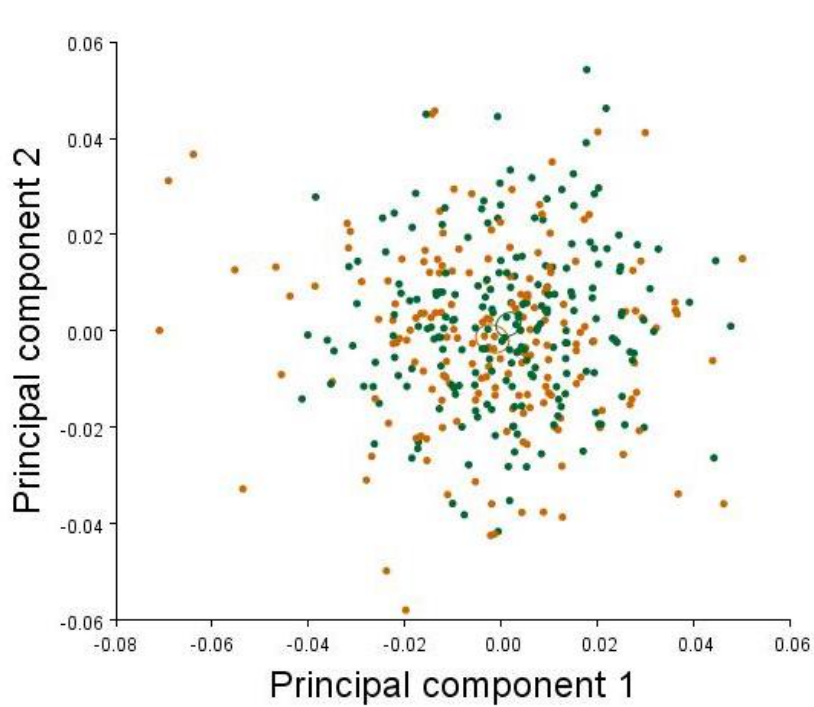


Gráfico 6.10. Proyección de especímenes de *Triatoma dimidiata* en su diferenciación por sexo sobre el primer (PC1) y el segundo (PC2) componentes principales, a partir del Análisis de Componentes Principales.

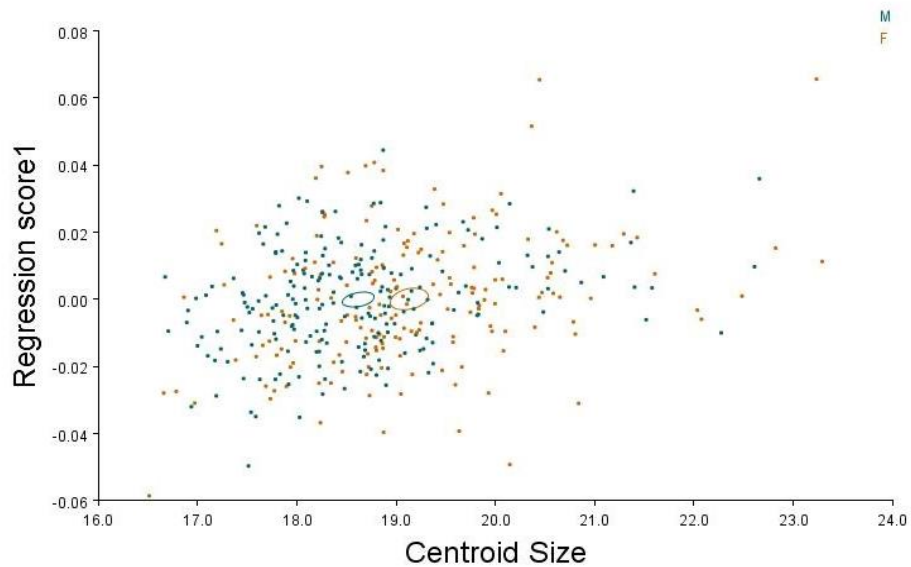


Gráfico 6.11. Análisis de regresión lineal para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador, dividiéndolos por sexo sobre el primer valor de regresión y el tamaño del centroide.

6.3.1. Análisis morfométrico y conformación por sexo

Hembras

De las 214 alas seleccionadas para dicho estudio se utilizaron 183 que cumplieran con la visibilidad de los landmarks; 6 individuos provenientes de Ahuachapán, 16 de Santa Ana, 17 de Sonsonate, 7 de Chalatenango, 19 de La Libertad, 15 de San Salvador, 25 de Cuscatlan, 10 de La Paz, 3 de Cabañas, 17 de San Vicente, 8 de Usulután, 19 de San Miguel, 14 de Morazán y 7 de La Unión. Para la conformación de las alas podemos reafirmar que si existe una diferencia estadísticamente significativa al comparar los grupos procedentes de los diferentes departamentos (cuadro 6.6) con valores Wilk's Lambda= 0.03516, $F=2.064$, $df_1=286$, $df=1701$, $P<0.001$ (MANOVA/CVA de las variables de forma).

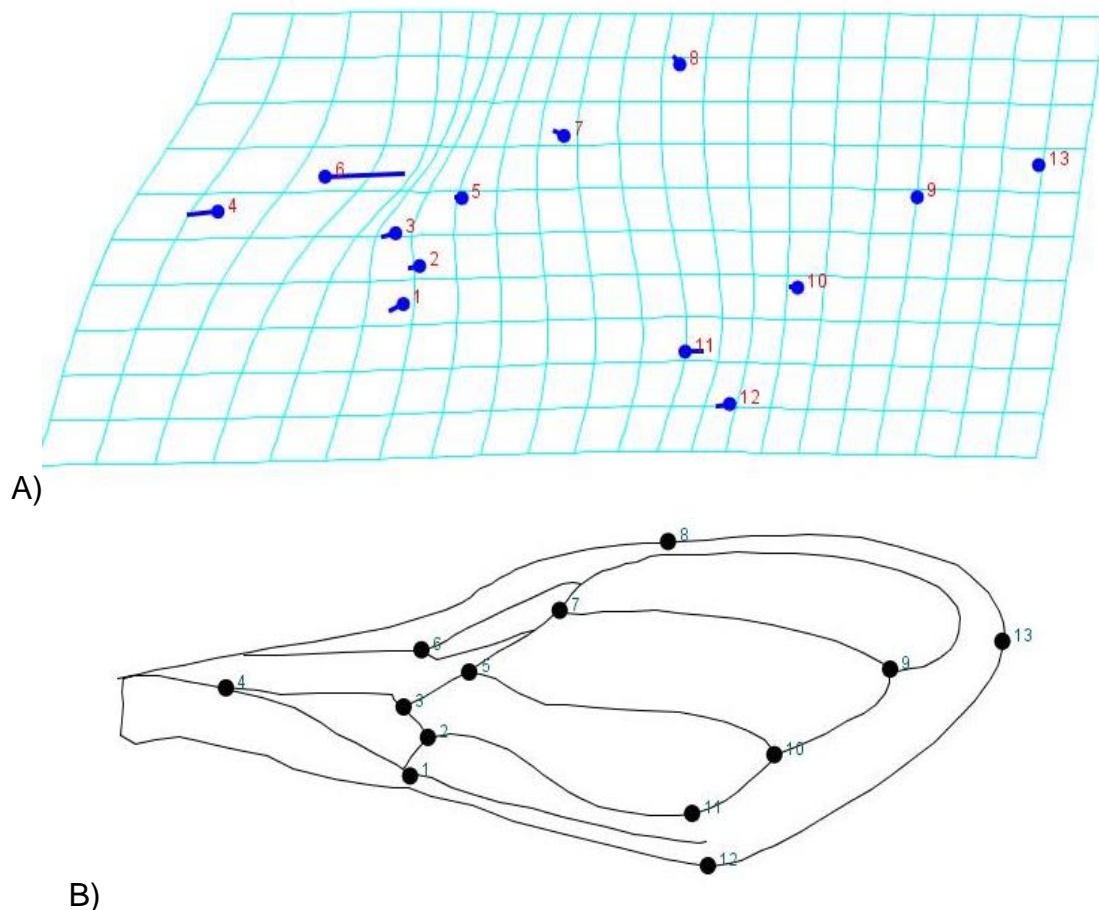


Figura 6.4. Deformación del ala de las hembras de los 14 departamentos. La deformación de las rejillas corresponden a las diferencias en conformación de las alas de *Triatoma dimidiata* en variación en el espacio de forma en base al

componente principal 1. A) Proyección de la deformación de rejillas del análisis de componentes principales. B) Presentación de la ilustración de los contornos en la deformación del ala.

En la Figura 6.4 podemos observar la deformación del ala de *Triatoma dimidiata*. La deformación de las rejillas corresponde a las diferencias en conformación de las alas en la variación del espacio de forma en base a los componentes principales. En este caso se muestra mayormente las diferencias o alteraciones en el largo del ala, con alteraciones en la zona inicial de los landmarks, así como también se puede observar una ligera alteración entre los puntos 11 y 12. En el Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los 14 departamentos de El Salvador (gráfico 6.12) podemos observar los promedios de las diferencias en la conformación en el espacio de forma.

Cuadro 6.6. Análisis multivariante de varianza (MANOVA) para las medidas de conformación de las alas de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador, utilizando únicamente el ala izquierda de las hembras.

| | | | |
|----------------|----------|---------------|----------|
| Wilks' lambda: | 0.03516 | Pillai trace: | 2.706 |
| df1: | 286 | df1: | 286 |
| df2: | 1701 | df2: | 2080 |
| F: | 2.064 | F: | 1.912 |
| p (same): | 1.28E-18 | p (same): | 1.45E-15 |

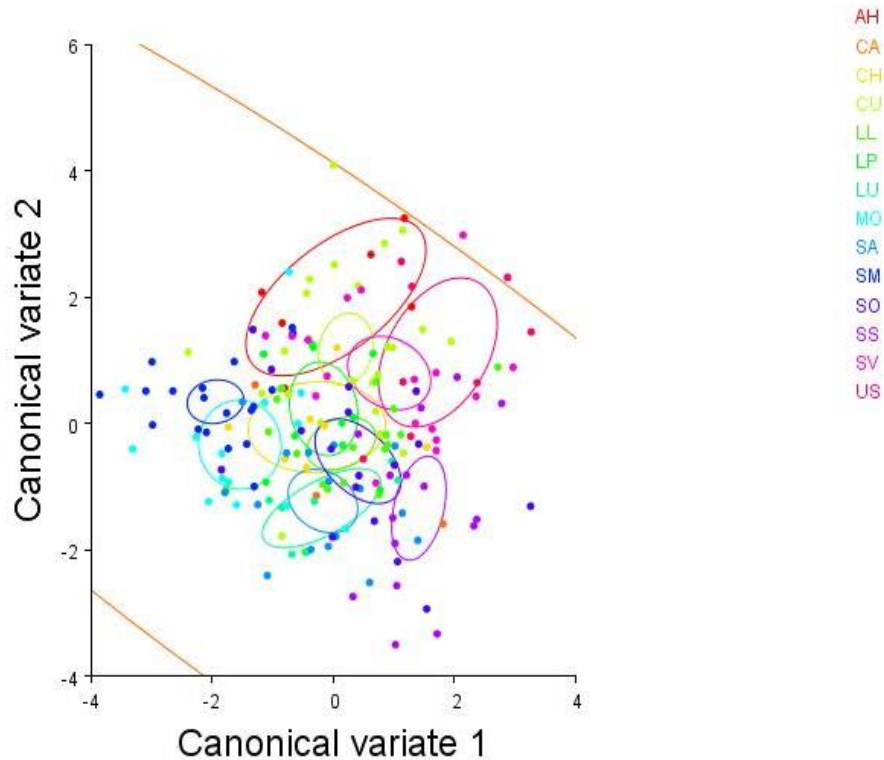


Gráfico 6.12. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de las hembras de los 14 departamentos de El Salvador, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares.

En base a la conformación de las mediciones del ala se generó un esquema del promedio de la forma del ala de cada uno de los departamentos (Figura 6.5). Utilizando las distancias de Procrustes podemos conocer las similitudes y diferencias (cuadro 6.7) entre las mediciones promedio de la conformación de las alas por departamento (Gráficos 6.13 y 6.14). Para los departamentos se obtuvieron valores del efecto de alometría estadísticamente significativos (Figura 6.15), del 2.1832% (valor mayor al 0.5%).

Cuadro 6.7. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de las alas de las hembras de los especímenes de *Triatoma dimidiata*.

| | AH | CA | CH | CU | LL | LP | LU | MO | SA | SM | SO | SS | SV | US |
|----|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AH | 0 | 0.5225 | 0.3388 | 0.6865 | 0.1860 | 0.0174 | 0.0542 | 0.0202 | 0.0031 | 0.1395 | 0.1410 | 0.0907 | 0.9708 | 0.6763 |
| CA | 0.025 | 0 | 0.1102 | 0.0363 | 0.0616 | 0.0053 | 0.0811 | 0.0267 | 0.0008 | 0.0948 | 0.0898 | 0.0414 | 0.1440 | 0.2510 |
| CH | 0.055 | 0.0463 | 0 | 0.2720 | 0.7699 | 0.0617 | 0.2864 | 0.1835 | 0.3572 | 0.3981 | 0.0904 | 0.3580 | 0.1179 | 0.0537 |
| CU | 0.017 | 0.027 | 0.059 | 0 | 0.0184 | 0.0115 | 0.0011 | 0.0001 | <.0001 | 0.0007 | 0.0019 | 0.0011 | 0.3901 | 0.1391 |
| LL | 0.017 | 0.0251 | 0.048 | 0.019 | 0 | 0.0454 | 0.2590 | 0.1167 | 0.2040 | 0.1789 | 0.0288 | 0.1248 | 0.0039 | 0.0078 |
| LP | 0.024 | 0.0345 | 0.052 | 0.023 | 0.016 | 0 | 0.0154 | 0.005 | 0.0007 | 0.0071 | 0.0032 | 0.035 | 0.0026 | 0.0052 |
| LU | 0.029 | 0.0322 | 0.037 | 0.032 | 0.021 | 0.0246 | 0 | 0.9391 | 0.8209 | 0.4970 | 0.0918 | 0.3276 | 0.0015 | 0.0126 |
| MO | 0.017 | 0.0323 | 0.053 | 0.021 | 0.0153 | 0.0216 | 0.0224 | 0 | 0.7813 | 0.7542 | 0.0382 | 0.0488 | 0.0001 | 0.0006 |
| SA | 0.013 | 0.0239 | 0.052 | 0.018 | 0.0127 | 0.0215 | 0.024 | 0.014 | 0 | 0.1797 | 0.0326 | 0.1726 | <.0001 | 0.0011 |
| SM | 0.016 | 0.027 | 0.045 | 0.023 | 0.0162 | 0.02 | 0.024 | 0.018 | 0.016 | 0 | 0.0153 | 0.0112 | 0.0005 | 0.0010 |
| SO | 0.015 | 0.0278 | 0.05 | 0.02 | 0.0115 | 0.017 | 0.0216 | 0.013 | 0.0131 | 0.0155 | 0 | 0.0025 | 0.0029 | 0.1348 |
| SS | 0.02 | 0.0259 | 0.059 | 0.019 | 0.0228 | 0.0277 | 0.0318 | 0.025 | 0.0221 | 0.0251 | 0.0223 | 0 | 0.0037 | 0.0114 |
| SV | 0.019 | 0.024 | 0.063 | 0.018 | 0.0247 | 0.0307 | 0.0376 | 0.027 | 0.0217 | 0.0274 | 0.0236 | 0.014 | 0 | 0.4143 |
| US | 0.018 | 0.0303 | 0.058 | 0.026 | 0.0258 | 0.0314 | 0.0286 | 0.02 | 0.019 | 0.0278 | 0.0214 | 0.024 | 0.024 | 0 |
| | Distancias de procrustes | | | | | | | | | | | | | |
| | P-valores | | | | | | | | | | | | | |

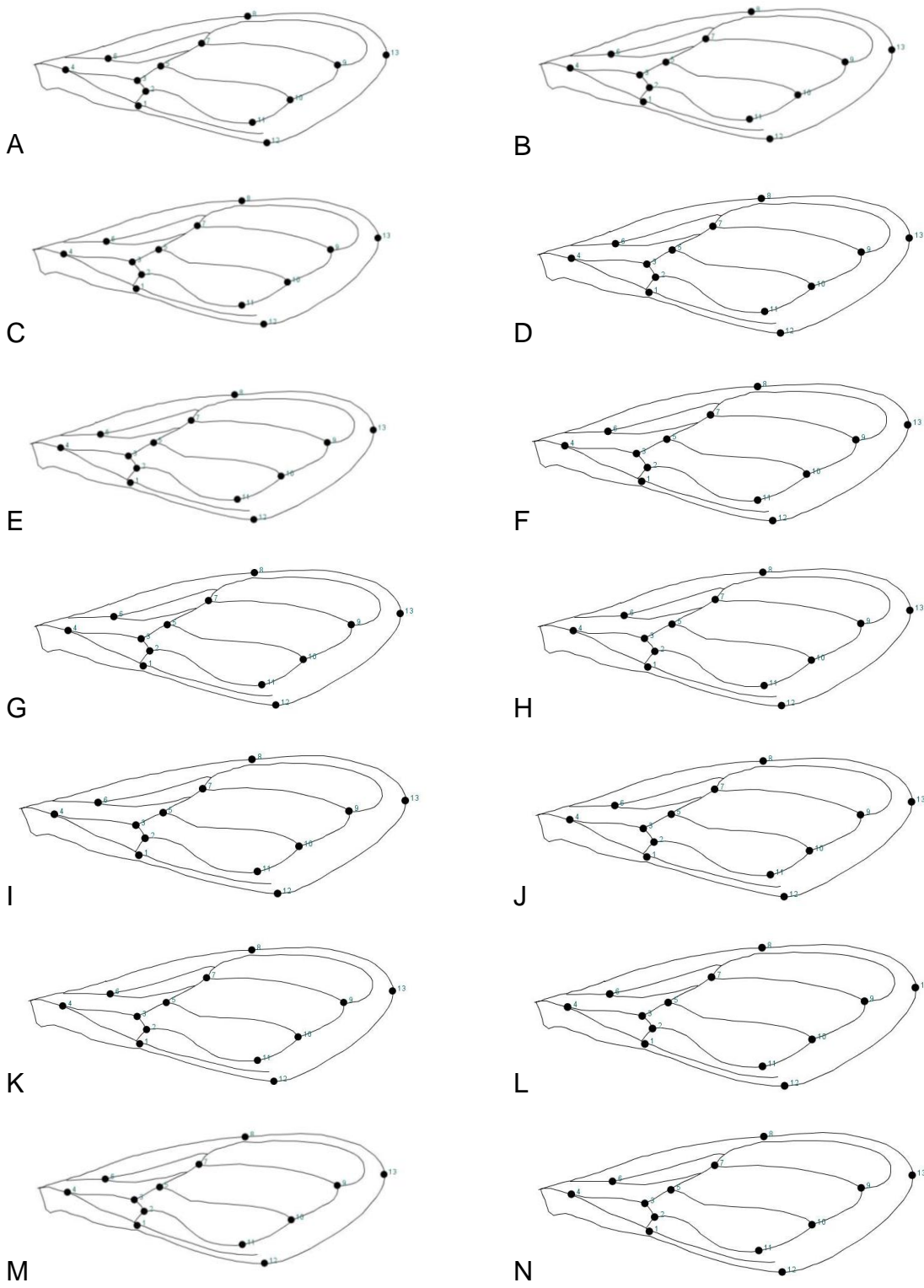


Figura 6.5. Conformación promedio de las alas de las hembras de *Triatoma dimidiata* colectadas en los diferentes departamentos A. Ahuachapán, B. Santa Ana, C. Sonsonate, D. Chalatenango, E. La Libertad, F. San Salvador, G. Cuscatlán, H. La Paz, I. Cabañas, J. San Vicente, K. Usulután, L. San Miguel, M. Morazán, N. La Unión.

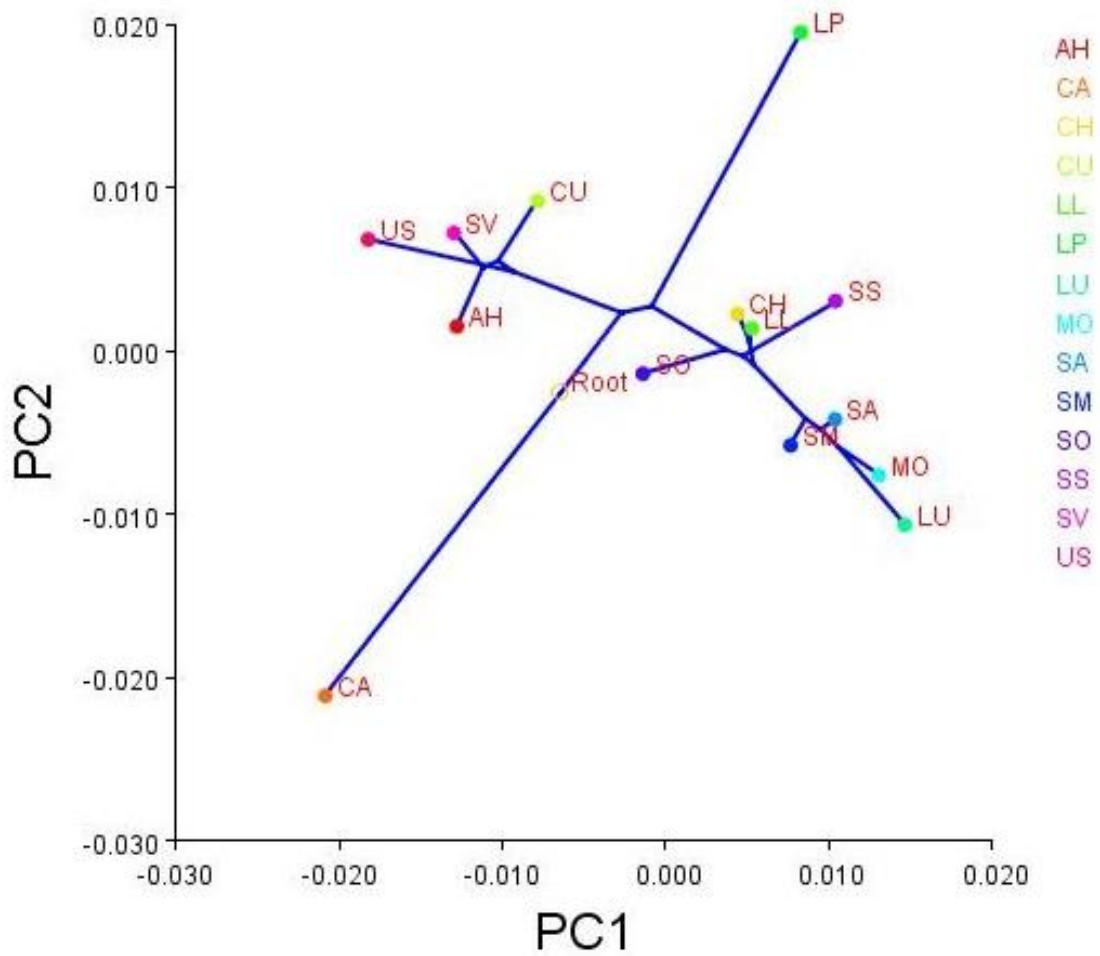


Gráfico 6.13. Ubicación del promedio de la conformación de las alas de las hembras de *Triatoma dimidiata* en el espacio de forma sobre el primer (PC1) y el segundo (PC2) componentes principales y las distancias de Procrustes por departamento.

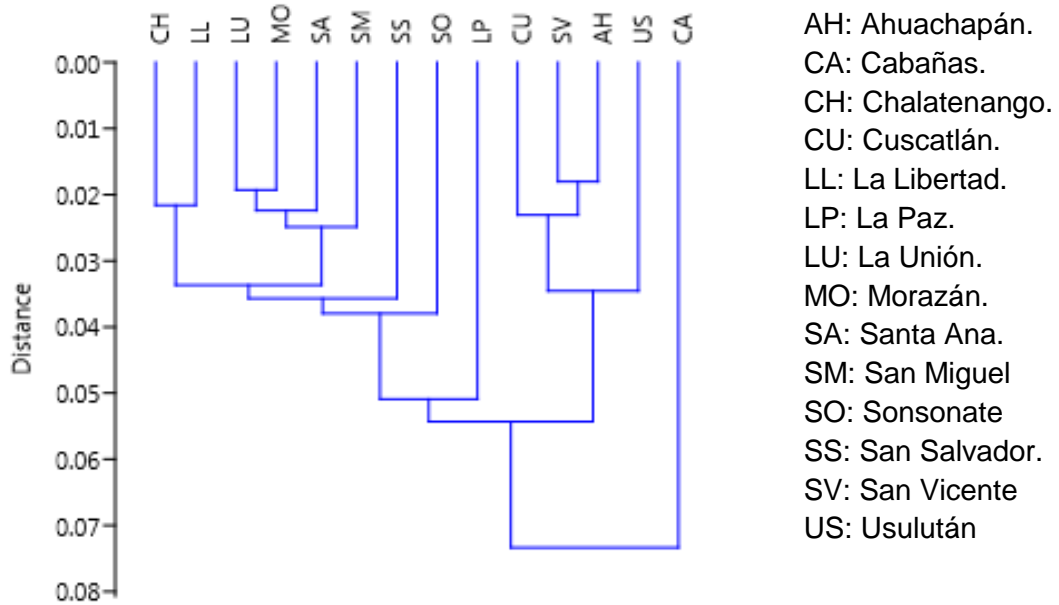


Gráfico 6.14. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de las alas de las hembras de *Triatoma dimidiata*.

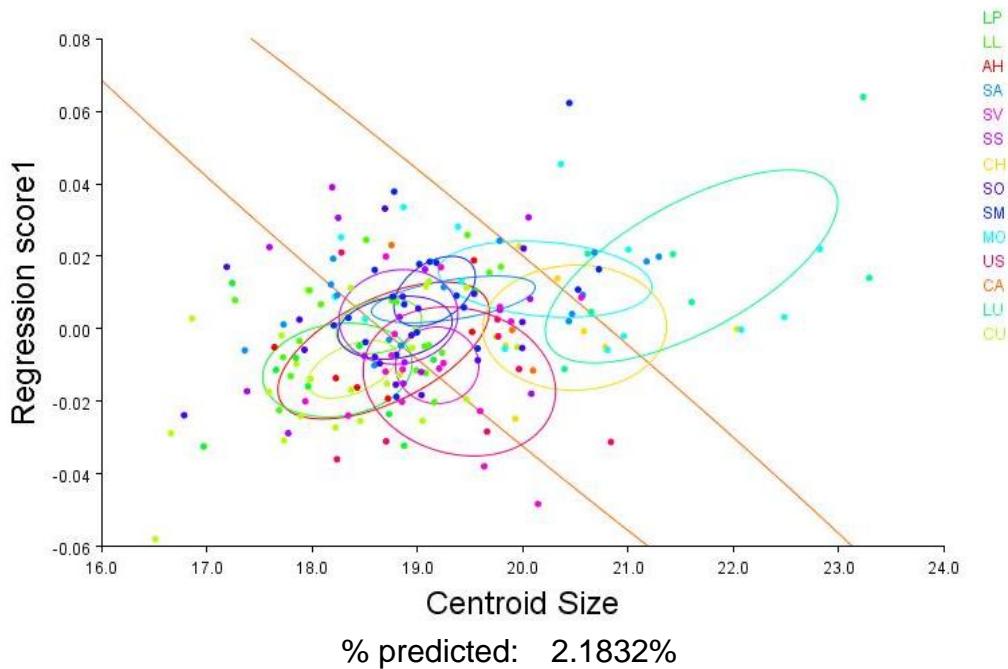


Gráfico 6.15. Efecto alométrico de las alas de las hembras de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador.

Machos

De las 269 seleccionadas para dicho estudio se utilizaron 213 que cumplían con la visibilidad de los landmarks; 12 individuos provenientes de Ahuachapán, 15 de Santa Ana, 25 de Sonsonate, 1 de Chalatenango, 20 de La Libertad, 26 de San Salvador, 14 de Cuscatlan, 13 de La Paz, 4 de Cabañas, 21 de San Vicente, 8 de Usulután, 33 de San Miguel, 11 de Morazán y 10 de La Unión. Para la conformación de las alas podemos reafirmar que si existe una diferencia estadística altamente significativa al comparar los grupos procedentes de los diferentes departamentos (cuadro 6.8) con valores Wilk's Lambda= 0.06218, F=2.179, $df_1=264$, $df=1916$, $P<0.001$ (MANOVA/CVA de las variables de forma).

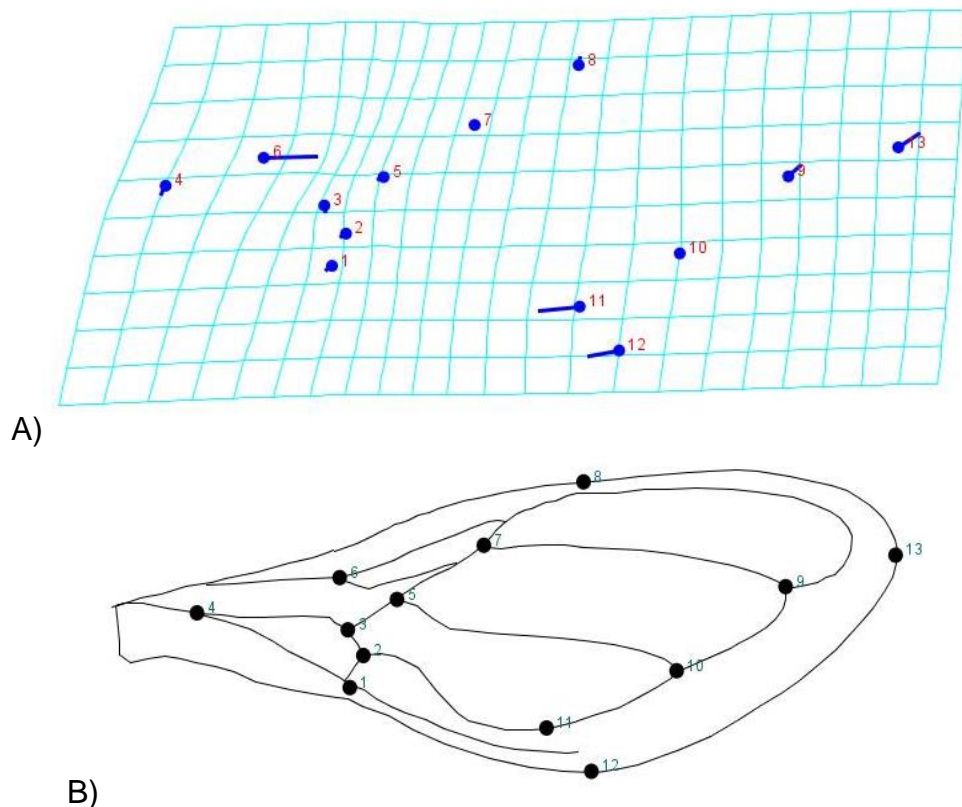


Figura 6.6. Deformación del ala de los machos de los machos de los 14 departamentos. La deformación de las rejillas corresponden a las diferencias en conformación de las alas de *Triatoma dimidiata* en variación en el espacio de forma en base al componente principal 1. A) Proyección de la deformación de rejillas del análisis de componentes principales. B) Presentación de la ilustración de los contornos en la deformación del ala.

En la Figura 6.6 podemos observar la deformación del ala de *Triatoma dimidiata*. La deformación de las rejillas corresponde a las diferencias en conformación de las alas en la variación del espacio de forma en base a los componentes principales. En el caso de las alas de los machos podemos observar diferencias en el ancho de las alas aunque igual que las alas de las hembras podemos observar diferencia en el landmark 6, se aprecia deformación especialmente en la zona del borde exterior con los puntos 12 y 13, pero también en el 10 y 11 con reducción o ampliación en la zona.

En el Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de los machos de los 14 departamentos de El Salvador (gráfico 6.16) podemos observar los promedios de las diferencias en la conformación en el espacio de forma. Utilizando las distancias de Procrustes podemos conocer las similitudes y diferencias (cuadro 6.9) entre las mediciones de la conformación de las alas por departamento (Figura 6.17 y 6.18).

Cuadro 6.8. Análisis multivariante de varianza (MANOVA) para las medidas de conformación de las alas de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador, utilizando únicamente el ala izquierda de los machos.

| | | | |
|----------------|----------|---------------|----------|
| Wilks' lambda: | 0.06218 | Pillai trace: | 2.31 |
| df1: | 264 | df1: | 264 |
| df2: | 1916 | df2: | 2268 |
| F: | 2.179 | F: | 2.048 |
| p (same): | 1.04E-20 | p (same): | 4.53E-18 |

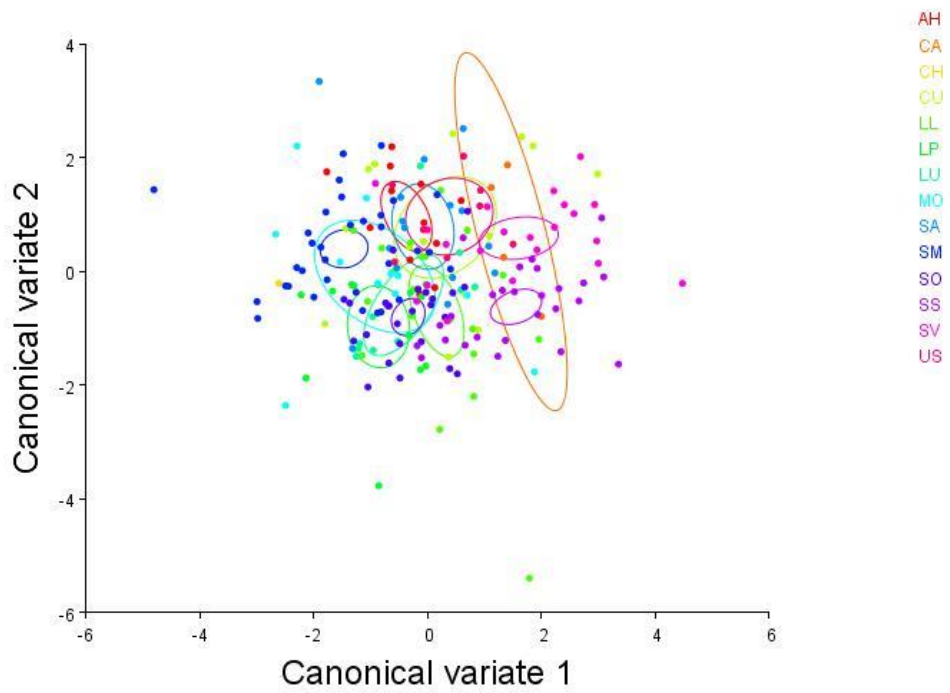


Gráfico 6.16. Análisis de variables canónicas (CVA) para los especímenes de *Triatoma dimidiata* de las machos de los 14 departamentos de El Salvador, la primer variable canónica (CV1) sobre la segunda variable (CV2). Las circunferencias encierran los espacios promedio de los ejemplares.

Cuadro 6.9. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de las alas de los machos de los especímenes de *Triatoma dimidiata*.

| | AH | CA | CH | CU | LL | LP | LU | MO | SA | SM | SO | SS | SV | US |
|----|--------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| AH | 0 | 0.3196 | 0.0165 | 0.261 | 0.1712 | 0.05 | 0.0165 | 0.3629 | 0.5882 | 0.154 | 0.2526 | 0.0159 | 0.053 | 0.563 |
| CA | 3.45 | 0 | 0.5267 | 0.1562 | 0.1953 | 0.054 | 0.0836 | 0.0191 | 0.1375 | 0.061 | 0.0993 | 0.0696 | 0.1337 | 0.302 |
| CH | 5.58 | 5.81 | 0 | 0.0025 | 0.1513 | 0.171 | 0.4402 | 0.0411 | 0.0493 | 0.179 | 0.2162 | 0.0279 | 0.0208 | 0.262 |
| CU | 2.19 | 3.15 | 5.56 | 0 | 0.0406 | 0.025 | 0.0005 | 0.0493 | 0.0501 | 3E-04 | 0.0179 | 0.0092 | 0.0481 | 0.063 |
| LL | 2.49 | 3.08 | 5.16 | 2.19 | 0 | 0.277 | 0.0617 | 0.3306 | 0.3938 | 0.018 | 0.4373 | <.0001 | 0.0001 | 0.025 |
| LP | 2.67 | 4.30 | 5.53 | 2.96 | 2.74 | 0 | 0.0494 | 0.0779 | 0.0204 | 0.009 | 0.1543 | <.0001 | <.0001 | 0.018 |
| LU | 2.87 | 3.63 | 4.33 | 2.94 | 2.38 | 2.79 | 0 | 0.0887 | 0.0133 | 0.0031 | 0.0402 | <.0001 | <.0001 | 0.090 |
| MO | 2.64 | 4.21 | 5.17 | 2.61 | 2.47 | 2.94 | 2.42 | 0 | 0.3962 | 0.046 | 0.499 | <.0001 | 0.0001 | 0.357 |
| SA | 2.49 | 3.19 | 5.23 | 2.00 | 2.07 | 3.24 | 2.63 | 2.46 | 0 | 0.035 | 0.2724 | 0.0002 | 0.0011 | 0.225 |
| SM | 2.15 | 4.00 | 4.57 | 2.56 | 2.66 | 2.59 | 2.65 | 2.06 | 2.32 | 0 | 0.0184 | <.0001 | <.0001 | 0.003 |
| SO | 2.42 | 3.69 | 5.22 | 2.53 | 1.80 | 2.25 | 2.12 | 1.95 | 2.27 | 2.08 | 0 | 0.0001 | 0.0001 | 0.11 |
| SS | 3.03 | 3.09 | 6.14 | 2.57 | 2.30 | 3.25 | 2.96 | 3.10 | 2.82 | 3.24 | 2.34 | 0 | 0.0788 | 0.02 |
| SV | 2.66 | 3.07 | 6.15 | 2.34 | 2.79 | 3.42 | 3.07 | 3.18 | 2.60 | 3.28 | 2.66 | 1.86 | 0 | 0.022 |
| US | 2.25 | 3.66 | 6.10 | 3.09 | 3.28 | 3.46 | 2.92 | 2.96 | 2.73 | 3.27 | 2.75 | 3.13 | 2.76 | 0 |
| | Distancias de procrustes | | | | | | | | | | | | | |
| | P-valores | | | | | | | | | | | | | |

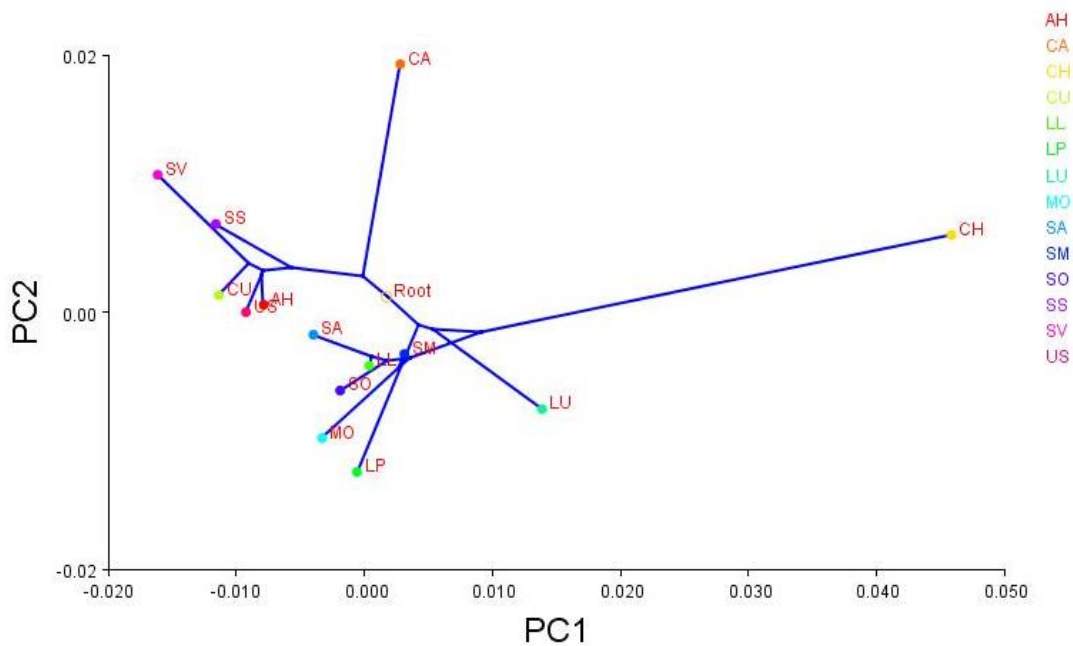


Gráfico 6.17. Ubicación del promedio de la conformación de las alas de los machos de *Triatoma dimidiata* en el espacio de forma sobre el primer (PC1) y el segundo (PC2) componentes principales y las distancias de Procrustes por departamento.

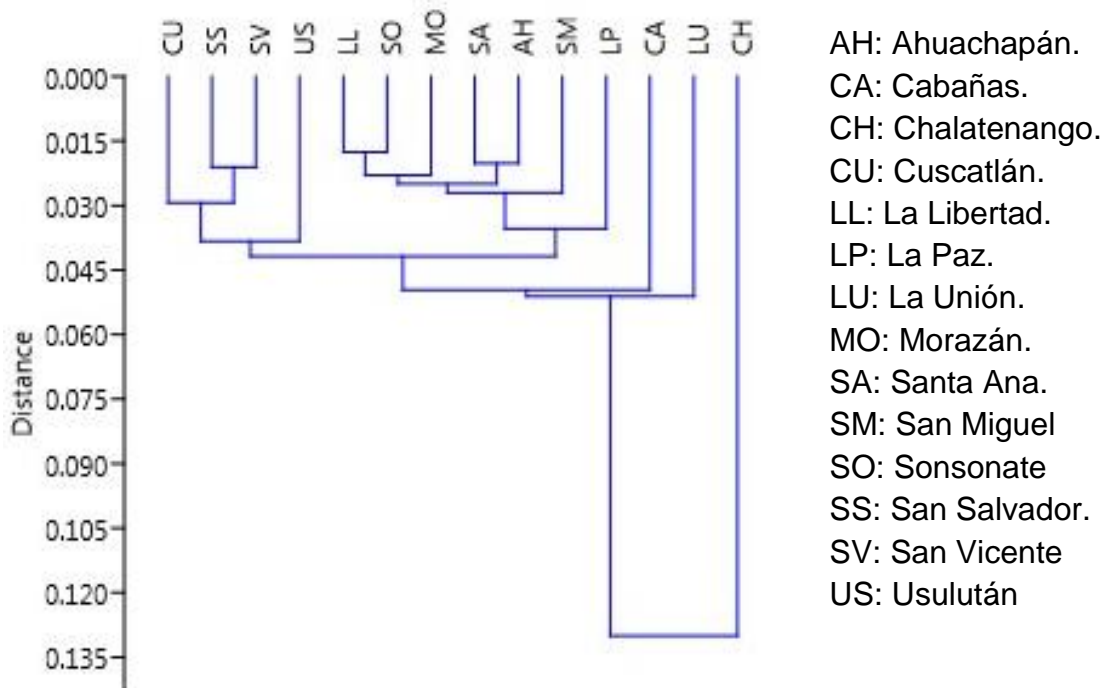


Gráfico 6.18. Distancias de Procrustes a partir del análisis de variables canónicas (CVA) por departamento de las alas de los machos de *Triatoma dimidiata*.

Para los departamentos se obtuvieron valores del efecto de alometría estadísticamente significativos (Figura 6.1), del 1.4706% (valor mayor al 0.5%).

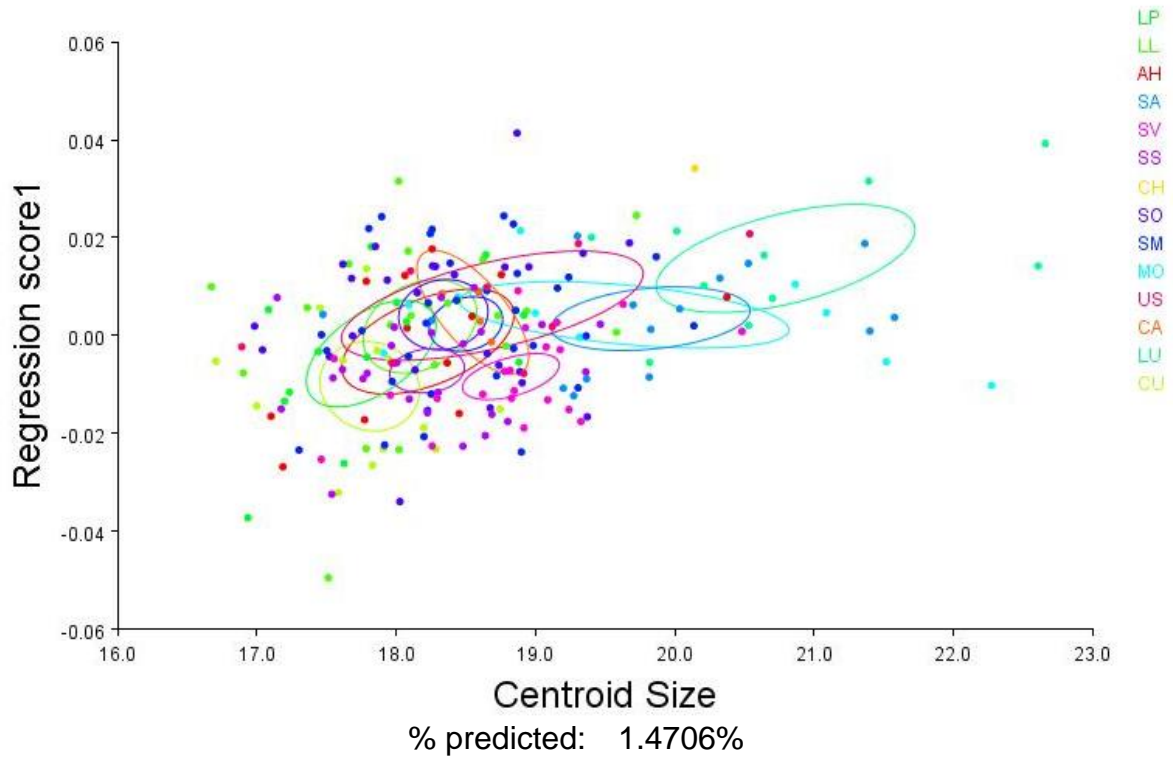


Gráfico 6.19. Efecto alométrico de las alas de los machos de *Triatoma dimidiata* de los departamentos de El Salvador.

Error de medición

Para el análisis de medición se obtuvo que el valor de los cuadrados medios de los individuos es mayor a los cuadrados medios del error 1 (cuadro 6.10) indicando una validación en la digitalización de las alas de los especímenes de *Triatoma dimidiata* para los 14 departamentos.

Cuadro 6.10. Análisis Procrustes ANOVA para determinar el error de medición en la digitalización de las alas de *Triatoma dimidiata* de los 14 departamentos.

| Procrustes ANOVA | | | | | | | |
|--------------------------|----------|----------|------|-------|-----------|------------|-----------|
| Centroid size: | | | | | | | |
| Effect | SS | MS | df | F | P (param) | | |
| Individual | 569.7130 | 1.435045 | 397 | 41.33 | <0.0001 | | |
| Error 1 | 0.9722 | 0.034724 | 50 | | | | |
| Shape, Procrustes ANOVA: | | | | | | | |
| Effect | SS | MS | df | F | P (param) | Pillai tr. | P (param) |
| Individual | 0.7040 | 8.06E-05 | 8734 | 1.61 | <0.0001 | 21.24 | <0.0001 |
| Error 1 | 0.0309 | 5.01E-05 | 616 | | | | |

7. DISCUSIÓN

7.1. Análisis morfométrico por departamentos

La presencia de *Triatoma dimidiata* en los 14 departamentos del país se ve reflejada en este estudio. Los especímenes seleccionados son de tipo domésticos colectados en 72 municipios a lo largo del territorio nacional, con altitudes estimadas desde los 5 m. s.n.m hasta los 1,517 m.s.n.m. A partir del 2010 *Triatoma dimidiata* se convierte en el principal vector de la enfermedad de Chagas en El Salvador, con un reporte en 1995 de infestación en los 14 departamentos del país. Con presencia en sitios desde el nivel del mar hasta los 1900 metros según reportes del Departamento de Control de Vectores del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS).

Triatoma dimidiata es una de las tres especies de importancia vectorial para Centroamérica y una especie nativa de la región, la cual está muy dispersa en la región siendo esta el principal vector en Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica (Hernández 2004).

De los resultados obtenidos del Análisis de Componentes Principales (PCA) y el Análisis de Variables Canónicas (CVA) se logró observar una diferencia en base a la conformación del ala en referencia a las variables de la forma. Existiendo un valor de Wilk's Lambda del 0.12, dándonos a conocer la diferencia entre los grupos procedentes de cada departamento, mostrando diferencias en el crecimiento, en relación al tamaño y la forma del ala. Varios estudios de estructura poblacional en triatomíneos han demostrado la importancia de marcadores como el tamaño y la conformación, otros autores han señalado diferencias morfométricas importantes entre poblaciones de triatomíneos provenientes de hábitats diferentes (Schachter-Broide et al. 2004; Soto Vivas et al. 2007).

Utilizando el ala izquierda de los especímenes se logró realizar una comparación intraespecie de poblaciones de *Triatoma dimidiata* de los 14 departamentos, donde se nos permitió observar tendencias y diferenciaciones que se describirán más adelante. La morfología del ala ha sido utilizada frecuentemente en estudios de sistemática de insectos y la mayoría de los grupos pueden ser identificados en base a la morfología de una sola de sus alas (Paez 2008).

Sin embargo este crecimiento varía en base al sexo del individuo como conoceremos más adelante. La Morfometría geométrica ha demostrado ser una herramienta muy capaz de mostrar las diferencias entre poblaciones de una misma especie de Triatomíneos, permitiendo ampliar los conocimientos acerca de este vector; siendo este un método cuantitativo que se basa en la realización y análisis de mediciones de algún segmento del cuerpo y que utiliza principalmente los conceptos de tamaño y forma (Lopez et al 2001).

En cuanto a los resultados de la comparación intraespecie independientemente del sexo se pueden observar dos grandes grupos: el grupo de Cuscatlán, San Vicente, Usulután, Ahuachapán, San Salvador y Cabañas, que comparten características en cuanto a la conformación de los individuos diferentes a las del grupo de Chalatenango, La Libertad, Santa Ana, Sonsonate, Morazán, San Miguel, La Unión y La Paz. La morfometría geométrica es una herramienta que nos permite la recolección de la información del tamaño y la conformación de una estructura u organismo de manera independiente de los factores ambientales, por lo tanto nos permite la recolección de datos de las variaciones fenotípicas que reflejan variaciones genotípicas (Jaramillo et al 2002; Paez, 2008).

El crecimiento de los individuos y las diferencias métricas entre las poblaciones podría estar relacionado a las diferentes altitudes debido a que las poblaciones que provienen de sitios con altitudes bajas presentan diferencias a los individuos de altitudes medias a altas, como fue el caso de Hernández (2004) en su estudio “Diferencias métricas entre poblaciones de *Triatoma dimidiata* Latreille (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) de México, Centro América y Colombia: Efecto de la procedencia geográfica y el ecotopo” la población de La Primavera de El Salvador, la cual se agrupó con las poblaciones del norte en la península de Yucatán presentando iguales características de conformación con dichos especímenes, lo que en su momento podía, de acuerdo a Jaramillo & Dujardin (2002) evidenciar cambios adaptativos en esta población.

Tales son los casos de las poblaciones de mayor altitud que presentan una reducción en el tamaño, no solo en las alas sino también de los individuos, en los análisis de las distancias entre los grupos en cuanto a los promedios de la

conformación de las alas del departamento de La Paz (LP) en un análisis de comparación con la variación entre Cabañas (CA) existe una diferencia en la variación medible del 0.037 entre ambos grupos, dando a conocer una diferencia en cuanto a las características de los individuos procedentes de los distintos departamentos. Según Hernández (2004) es posible encontrar diferentes maneras de crecer (alometrías divergentes) entre poblaciones geográficas y ecológicas de la misma especie, aunque no se sabe con qué frecuencia y hasta qué niveles.

Estos cambios podrían atribuirse a factores ambientales como temperatura y humedad, las cuales exhiben diferencias bien marcadas entre estas regiones durante todo el año, sino también a las características microclimáticas y de construcción del ambiente doméstico y al acceso de los insectos a la fuente de alimentación. La Ley de Bergmann expone la variación en el tamaño corporal de los individuos describiendo el patrón ecográfico de dicha variación, donde las especies con mayor tamaño corporal se distribuyen en latitudes más altas.

Sin embargo, la ley de Bergmann *sensu lato* incluye factores abióticos como la temperatura y la altitud para complementar la explicación de este patrón. Sin embargo en el caso de la Clase Insecta se sabe que las variaciones en el tamaño corporal de los insectos influyen en las dinámicas de búsqueda de alimentos u otro recurso. Por lo tanto, la información ambiental que perciben y procesan los insectos varía con cambios en el tamaño corporal absoluto y relativo (Barragán 2020).

No obstante, la variación en el tamaño corporal en insectos no se debe exclusivamente a la influencia de factores abióticos, también se presentan variaciones genéticas que interactúan en el tamaño y número de células asociadas a la conformación del tamaño corporal de los insectos adultos (Nijhout 2003; Barragán 2020). Los resultados obtenidos muestran un valor alométrico estadísticamente significativo del 1.51%, entre los departamentos, así como también en el mismo departamento entre los municipios, confirmando la diferencia en el desarrollo de los individuos dependiendo del sitio de procedencia de cada uno.

7.2. Dimorfismo sexual

Una de las diferencias más significativas en la morfología de algunos animales es el tamaño corporal de machos y hembras, en *Triatoma dimidiata* son los caracteres morfológicos básicos los que permiten diferenciar a simple vista los dos sexos, tales como los órganos sexuales o también el tamaño corporal. En triatominos el tamaño de la hembra es superior al tamaño del macho, y en algunos estudios se ha demostrado que este dimorfismo sexual disminuye en los ejemplares adaptados al domicilio o de laboratorio respecto a sus parentales de campo (Dujardin et al., 1999; Soto Vivas et al. 2007).

En los resultados se pudo apreciar una diferencia entre los machos y hembras, tanto en el crecimiento como en la forma del ala, en el análisis de rejilla al separar los especímenes por sexo se observó una marcada diferencia en que las hembras por departamento su diferencia en crecimiento era en la zona más coriosa más cercana al inicio del ala y en el caso de los machos podían ser más o menos anchos de la parte posterior del ala; se puede entender que el dimorfismo sexual hace referencia a las diferencias físicas de las especies, en la forma del cuerpo o de alguno de los apéndices, dirigida a actividades específicas tanto reproductivas como de gestación (Cortés-Suarez et al 2021).

Así como también se observó una diferencia en el promedio del espacio forma mucho más marcada en el análisis de variables canónicas (CVA) y en el análisis de regresión lineal la influencia del tamaño en el promedio de los individuos, dando valores alométricos mayores al 0.5% dando a demostrar que las hembras son mucho más grande que los machos, con una deformación diferente entre machos y hembras, con diferencias en las altitudes. Se encontró una diferencia estadísticamente significativa con valores de $p=2.719E-05$ para un Análisis de Varianza entre machos y hembras por lo que confirmó que el dimorfismo sexual está presente en las alas, así como en otras partes del espécimen.

En el análisis de los departamentos por sexo también se observó diferencias en los valores de Wilk's Lambda 0.04 para las hembras y 0.06 para los machos. Estas diferencias métricas y el dimorfismo estadísticamente significativa entre las

poblaciones, con especímenes de los diferentes departamentos se podrían atribuir no sólo a factores ambientales como temperatura y humedad, las cuales exhiben diferencias bien marcadas entre estas poblaciones, sino también a las características micro climáticas y al acceso de los insectos a las fuentes de alimentación (Aranda & Vayes 2018).

8. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que existe una diferencia significativa entre los individuos de los diferentes departamentos, en cuanto a la conformación de las alas existe una diferencia estadísticamente significativa al comparar los grupos procedentes de los diferentes departamentos debido a la influencia en el crecimiento y desarrollo de las diferencias métricas entre las poblaciones derivado de las diferentes altitudes.

La variación del tamaño corporal en insectos no se debe exclusivamente a la influencia de factores abióticos, también se presentan variaciones genéticas que interactúan en el tamaño y número de células asociadas a la conformación del tamaño corporal de los insectos adultos. La información ambiental que perciben y procesan los insectos varía con cambios en el tamaño corporal absoluto y relativo.

En consecuencia los valores alométricos reflejan una diferencia significativa en cómo el crecimiento y la deformación de los individuos, especialmente a nivel del ala, se ven afectados por los diferentes factores del ambiente en que estos se desarrollan. Dando como resultado diferencias significativas entre las alométrias de los diferentes departamentos, demostrando que entre los mismos departamentos existen diferencias, considerando que los insectos no se rigen por divisiones antropológicas sino más bien por sus necesidades y adaptaciones al medio.

Así como también se encontraron diferencias significativas entre los grupos de datos entre machos y hembras por lo que sugirió que el dimorfismo sexual está presente en las alas, así como en otras partes del espécimen. Dando como resultado patrones de crecimiento bien diferenciados entre los sexos, en cuanto a las deformaciones por departamentos que se ven influenciadas por los patrones de crecimiento y desarrollo antes descritos.

9. RECOMENDACIONES

A partir de la presente deseamos sugerir algunas recomendaciones en base a los resultados y las conclusiones obtenidas, entre ellas podemos mencionar el realizar una investigación más profunda con individuos identificados y marcados a nivel de municipios o cantón, utilizando herramientas de georreferenciación para obtener resultados más específicos, para conocer de una mejor manera la influencia de las altitudes en los individuos. Se recomienda de igual manera incluir estudios de dieta y disposición de alimento en los sitios de mayor altitud que es donde los individuos estudiados presentaron una reducción en cuanto a tamaño.

Así como también se recomienda realizar una separación muestral de machos/hembras, específicamente utilizando únicamente hembras debido a que fueron éstas quienes presentaron una mayor diferencia en el análisis de conformación por departamentos; para una comparación del comportamiento o la influencia del tamaño y conformación entre los municipios muestreados hasta la fecha.

Realizar un acompañamiento de análisis genético y molecular para ampliar los conocimientos sobre la biología de esta especie junto con un estudio de análisis de variación de la forma, utilizando siempre herramientas y técnicas de morfometría geométrica, no sólo en el ala sino también en otras partes del individuo.

Realizar un seguimiento de análisis PCR entre las poblaciones más distantes para observar posibles modificaciones o adaptaciones reflejadas entre los individuos.

Realizar una comparación entre poblaciones domesticas con poblaciones peri domésticas y especímenes silvestres de *Triatoma dimidiata* para observar posibles modificaciones entre los individuos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. 2004. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution.' *Ital J Zool.* 71(1):5–16.

Aranda Asturizaga RC, Vayes Segales A, Tutor. 2018. Estudio de la posible domiciliación de *Triatoma infestans* silvestre en comunidades reportadas libres de infestación [Thesis].

Avendaño FA. 2008. Estructura espacial de *Triatoma maculata* de la parroquia Xaguas (Estado de Lara) usando morfometría geométrica". Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. Mérida. Venezuela.

Barragán, H. (2020) Efectos de la elevación sobre la alometría sensorial en la abeja de la miel, *Apis mellifera*. Facultad Ciencias Naturales. Programa de Biología Universidad del Rosario Bogotá. Colombia.

Belén, A., B. Alten & A.M. Aytekin. 2004. Altitudinal variation in morphometric and molecular characteristics of *Phlebotomus papatasi* populations. *Med. Vet. Entomol.* 18: 343-350.

Benítez, H. and Püschel, T. 2014. Modelando la Varianza de la Forma: Morfometría Geométrica Aplicaciones en Biología Evolutiva. *International Journal of Morphology* 32, n.º 3. 998-1008. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022014000300041>.

Bookstein FL. 1992. *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bookstein FL, L BF. 1991. *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Cambridge University Press.

Bookstein, F.L. 1996. Biometría, biomatemáticas y la síntesis morfométrica. *Boletín de Biología Matemática*. vol. 58(2), págs. 313-365.

Calle, D.A., M. Quiñónez, H. Erazo & N. Jaramillo. 2008. Discriminación por morfometría geométrica de once especies de *Anopheles* (*Nyssorhynchus*) presentes en Colombia. *Biomedica* 28: 371-385.

Castillo D, Wolff M. 2000. Triatomine (Hemiptera: Reduviidae) behavioral aspects: Chagas disease vectors. *Biomédica*. 20(1):59–64.

Cazorla-Perfetti D. 2016. Revisión de los Vectores de la Enfermedad de Chagas en Venezuela (Hemiptera-Heteroptera, Reduviidae, Triatominae). *SABER Rev Multidiscip Cons Investig Univ Oriente*. 28(3):387–470.

Colasante XP. 2008. Estudio Morfogeométrico del Complejo Opercular de Huevos Ecllosionados del Género *Rhodnius*. Facultad de Ciencia de Los Andes. Mérida. Venezuela. 67.

Cortés-Suarez, Leidy, Yesica S. Durango, y Giovan F. Gómez. Dimorfismo sexual en la geometría alar de *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) de Colombia. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 80, n.º 1 (2021). *Sociedad Entomológica Argentina*. [cited 2021 Jul 20]. Available https://www.redalyc.org/journal/3220/322065128009/html/#redalyc_322065128009_ref27.

Daly HV. 1985. Insect Morphometrics. *Annu Rev Entomol*. 30(1):415–438. doi:10.1146/annurev.en.30.010185.002215.

De La Riva, J., F. Le Pont, V. Ali, A. Matias, S. Mollinedo & J.P. Dujardin. 2001. Wing Geometry as a tool for studying the *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae). *Mem. inst. Oswaldo Cruz* 96: 1089-1094.

Dujardin, J.P. 2000. Introducción a la Morfometría, con énfasis en Triatominae y Phlebotominae. iRD, UMR CNRS-iRD 9226. [cited 2023 March 7] Available <http://www.mpl.ird.fr/morphometrics/>

Dvorak, V., A.M. Aytekin, B. Alten, S. Skarupova, J. Votypka & P. Volf. 2006. A comparison of the intraspecific variability of *Phlebotomus sergenti* Parrot, 1917 (Diptera: Psychodidae). *J. Vector. Ecol*. 31: 229-238.

Girón D, Gonzalez A, Recino G, Funes B, Ramirez J, Diaz A. 2019. Análisis morfoométrico alar de *Triatoma dimidiata* en siete departamentos de El Salvador. Poster Científico. Universidad de El Salvador. Centro de Investigación y Desarrollo en Salud, Laboratorio de Entomología de Vectores, San Salvador, El Salvador.

Hernández, M. 2004. Diferencias métricas entre poblaciones de *Triatoma dimidiata* Latreille (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) de México, Centroamérica y Colombia: Efecto de la procedencia geográfica y el ecotopo [Thesis].

Gower, 1975; Gower, J. C. (1975). Generalized Procrustes analysis. *Psychometrika* Vol. 40. 33-51)

Hernández, M L, Amelotti, I, Catalá, S, & Gorla, D. E. (2018). Does nutrition influence sexual dimorphism in *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) of natural habitats?. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 77(1), 1-10. *Sociedad Entomológica Argentina*. [cited 2023 Jan 31]., de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0373-56802018000100001&lng=es&tlng=en .

Hernandez N, Barragán Á, Dupas S, Silvain J-F, Dangles O. 2010. Wing shape variations in an invasive moth are related to sexual dimorphism and altitude. *Bull Entomol Res*. 100:529–41.

Jolliffe I. 2002 *Principal Component Analysis*. 2ed., Springer.

Kendall DG. 1977. The diffusion of shape. *Adv Appl Probab*. 9(3):428–430.

Lent H, Wygodzinsky PW. 1979. Revision of the Triatominae (Hemiptera, Reduviidae), and their significance as vectors of Chagas' disease. *Bulletin of the AMNH* ; v. 163, article 3. Triatominae.

López E, Acosta N, González N, Fernández MJ, Ferreira E, Rojas de Arias A. 2001. Diferencias morfométricas en poblaciones de *Triatoma infestans* provenientes de las regiones Oriental y Occidental del Paraguay. *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*, Vol. 1(1) 2001/02.

López, A. 2015. Morfometría geométrica: el estudio de la forma y su aplicación en biología. *Temas de Ciencia y Tecnología*. Vol. 19 (55)

Matías, A., J.X. De La Riva, M. Torrez & J.P. Dujardin. 2001. *Rhodnius robustus* in Bolivia identified by its Wings. *Mem. inst. Oswaldo. Cruz* 96: 947-950.

[OPS] Organización Panamericana de la Salud. 2010. *La enfermedad de Chagas*

en El Salvador, evolución histórica y desafíos para el control. San Salvador, El Salvador.: OPS.

OPS: Diez enfermedades transmitidas por vectores que ponen en riesgo a la población de las Américas [Internet]. 2014. Organización Panamericana de la Salud [cited 2021 Mar 20] Available <https://www.paho.org/es/noticias/7-4-2014-diez-enfermedades-transmitidas-por-vectores-que-ponen-riesgo-poblacion-americas>

OPS: Enfermedad de Chagas Organización Panamericana de la Salud. [Internet]. 2016. Organización Panamericana de la Salud [cited 2021 Jul 24] Available <https://www.paho.org/es/temas/enfermedad-chagas>

OPS: Información general: Enfermedad de Chagas. [Internet]. 2018. Organización Panamericana de la Salud [cited 2021 Oct 1] Available https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=5856:2011-informacion-general-enfermedad-chagas&Itemid=40370&lang=fr

OPS: Vectores: Manejo Integrado y Entomología en Salud Pública [Internet]. 2021. Organización Panamericana de la Salud. [cited 2021 Jul 20]. Available https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=13315:vectors-public-health-entomology&Itemid=42362&lang=es

Peña D. 2002. Análisis de datos multivariados. Madrid: McGraw Hill.

Pereyra, N. 2018. Efecto de la infección con Trypanosoma cruzi sobre los patrones de alimentación y de excreción/defecación de Triatoma infestans [Thesis].

Rohlf FJ. 1990. Morphometrics. Annu Rev Ecol Syst. 21(1):299–316. doi:10.1146/annurev.es.21.110190.001503.

Rohlf FJ, Marcus LF. 1993. A morphometrics revolution. Trends Ecol Evol. 8(4):129–132.

Rohlf FJ. 1999. Shape Statistics: Procrustes Superimpositions and Tangent Spaces. J Classif. 16(2):197–223.

Rohlf, F. J. 2005. tpsDig232, digitize landmarks and outlines, version 2.05. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook

(accessed 16 Aug 2022).

Rohlf, F. J. 2015. tpsUtil32, file utility program. version 1.61. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook (accessed 16 Aug 2022).

Salvador S. 2014. Plan Nacional para la Prevención, Control y Eliminación de las Enfermedades Infecciosas Desatendidas. Ministerio de Salud. 1a. Edición. San Salvador. El Salvador. 87.

Schachter-Broide, J., J.P. Dujardin, U. Kitron & R. Gurtler. 2004. Spatial structuring of *Triatoma infestans* (Hemiptera, Reduviidae) populations from Northwestern Argentina using wing geometric Morphometry. J. Med. Entomol. 41: 643-649.

Sneath, P.H.A. 1967. Trend-surface analysis of trans-formation grids. Journal of Zoology, Vol. 151. 65-122

Solís, Á. (2021). *Spartocera fusca*. *Identificación y monitoreo de insectos*. [cited 2021 Dic 3]. Available <http://identomologica.com/uncategorized/spartocera-fusca/>

Soto Vivas A, Rodríguez C, Bonfante-Cabarca R, Aldana E. 2007. Morfometría geométrica de *Triatoma maculata* (Erichson, 1848) de ambientes doméstico y peridoméstico, estado Lara, Venezuela. Bol Malariol Salud Ambient. 47(2):231–235.

Soto-Vivas, A., J. Liria & E. De Luna. 2011. Morfometría geométrica y filogenia en *Rhodnius* (Hemiptera, Reduviidae) de Venezuela. Acta Zool. Mex. 27: 87-102.

Torcida, S. Perez, S. 2012. Análisis de procrustes y el estudio de la variación morfológica. *Revista argentina de antropología biológica* 14, n.º 1. 131-41. [cited 2021 Jul 20]. Available http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1514-79912012000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

Villegas, J., M.D. Feliciangeli & J.P. Dujardin. 2002. Wing shape divergence between *Rhodnius prolixus* from Cojedes (Venezuela) and *Rhodnius robustus* from Mérida (Venezuela). infect. Genet. Evol. 2: 121-128.

[WHO] World Health Organization. 1997. Tropical disease research: progress 1995-96: thirteenth programme report UNDP/World Bank/WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases (TDR). Geneva: World Health Organization.

Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. 2004. Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer. Academic Press.

ANEXOS

| Departamento | Municipio | Altitud Estimada (m.s.n.m.) | F | M | Total F | Total M |
|--------------|--------------------------|-----------------------------|----|----|---------|---------|
| Ahuachapán | Ahuachapán | 799 m | 2 | 4 | 15 | 24 |
| | Atiquizaya | 599 m | 3 | 8 | | |
| | Jujutla | 520 m | 6 | 6 | | |
| | San Pedro Puxtla | 504 m | 2 | 1 | | |
| | Tacuba | 699 m | 2 | 5 | | |
| Santa Ana | Coatepeque | 759 m | 4 | 2 | 16 | 16 |
| | Chalchuapa | 720 m | 1 | 1 | | |
| | Metapán | 469 m | 0 | 1 | | |
| | Santiago de la Frontera | 511 m | 0 | 2 | | |
| | Texistepeque | 405 m | 11 | 10 | | |
| Sonsonate | Acajutla | 24 m | 2 | 9 | 23 | 42 |
| | Armenia | 350 m | 2 | 1 | | |
| | Cuisnahuat | 430 m | 2 | 2 | | |
| | Izalco | 1.950 m | 3 | 7 | | |
| | Juayúa | 1.060 m | 5 | 9 | | |
| | Nahuizalco | 540 m | 3 | 3 | | |
| | San Antonio del Monte | 212 m | 0 | 1 | | |
| | San Julian | 37 m | 3 | 6 | | |
| | Santo Domingo de Guzman | 173 m | 3 | 4 | | |
| Chalatenango | Concepcion Quezaltepeque | 470 m | 4 | 0 | 7 | 1 |
| | La Laguna | 1.027 m | 2 | 1 | | |
| | San Ignacio | 965 m | 1 | 0 | | |
| La Libertad | Colón | 570 m | 1 | 1 | 27 | 29 |
| | San Juan Opico | 492 m | 6 | 12 | | |
| | San Matias | 488 m | 5 | 5 | | |
| | San Pablo Tacachico | 306 m | 15 | 11 | | |
| San Salvador | Nejapa | 456 m | 2 | 11 | 17 | 29 |

| | | | | | | |
|-------------|------------------------|---------|----|----|----|----|
| | Panchimalco | 570 m | 11 | 11 | | |
| | Tonacatepeque | 603 m | 4 | 7 | | |
| Cuscatlan | Cojutepeque | 853 m | 2 | 1 | 27 | 18 |
| | El Rosario | 839 m | 7 | 6 | | |
| | Monte San Juan | 657 m | 5 | 8 | | |
| | San Jose Guayabal | 525 m | 1 | 0 | | |
| | San Pedro Perulapán | 599 m | 1 | 2 | | |
| | Santa Cruz Analquito | 486 m | 1 | 0 | | |
| | Tenancingo | 597 m | 10 | 1 | | |
| La Paz | Santa Maria Ostuma | 579 m | 9 | 14 | 9 | 14 |
| Cabañas | Ilobasco | 750 m | 1 | 4 | 3 | 7 |
| | Sensuntepeque | 820 m | 2 | 3 | | |
| San Vicente | Apastepeque | 563 m | 3 | 0 | 19 | 23 |
| | Santa Clara | 585 m | 4 | 14 | | |
| | Santo Domingo | 573 m | 2 | 2 | | |
| | San Lorenzo | 598 m | 1 | 0 | | |
| | Verapaz | 659 m | 9 | 4 | | |
| | Desconocido | x | 0 | 3 | | |
| Usulután | Berlin | 1,200 m | 1 | 2 | 7 | 9 |
| | Estanzuela | 220 m | 1 | 0 | | |
| | Mercedes Umaña | 360 m | 0 | 1 | | |
| | San Francisco Javier | 310 m | 3 | 0 | | |
| | Tecapan | 633 m | 1 | 1 | | |
| | Desconocido | x | 1 | 5 | | |
| San Miguel | Ciudad Barrios | 906 m | 20 | 23 | 23 | 34 |
| | Chinameca | 580 m | 1 | 0 | | |
| | San Antonio Mosco | 617 m | 0 | 1 | | |
| | Desconocido | x | 2 | 10 | | |
| Morazán | Arambala | 819 m | 1 | 0 | 14 | 12 |
| | Corinto | 839 m | 3 | 3 | | |
| | Chilanga | 281 m | 3 | 0 | | |
| | Delicias de Concepción | 590 m | 0 | 1 | | |

| | | | | | | |
|----------------|---------------------|--------|---|---|-----|-----|
| | Guatajiagua | 264 m | 1 | 1 | | |
| | San Simón | 567 m | 3 | 2 | | |
| | Sensembra | 257 m | 3 | 3 | | |
| | Yamabal | 257 m | 0 | 2 | | |
| La Unión | Anamorós | 166 m | 1 | 0 | 7 | 11 |
| | Conchagua | 293 m | 1 | 2 | | |
| | El Carmen | 665 m | 0 | 1 | | |
| | Intipucá | 101 m | 1 | 0 | | |
| | La Unión | 5 m | 3 | 5 | | |
| | Lislique | 254 m | 0 | 1 | | |
| | Meanguera del Golfo | 20.0 m | 1 | 0 | | |
| | Nueva Esparta | 225 m | 0 | 1 | | |
| | Santa Rosa de Lima | 106 m | 0 | 1 | | |
| Total por sexo | | | | | 214 | 269 |
| TOTAL | | | | | 483 | |

Anexo 1. Sitios de procedencia de los especímenes de *Triatoma dimidiata* y tamaño de las muestras.

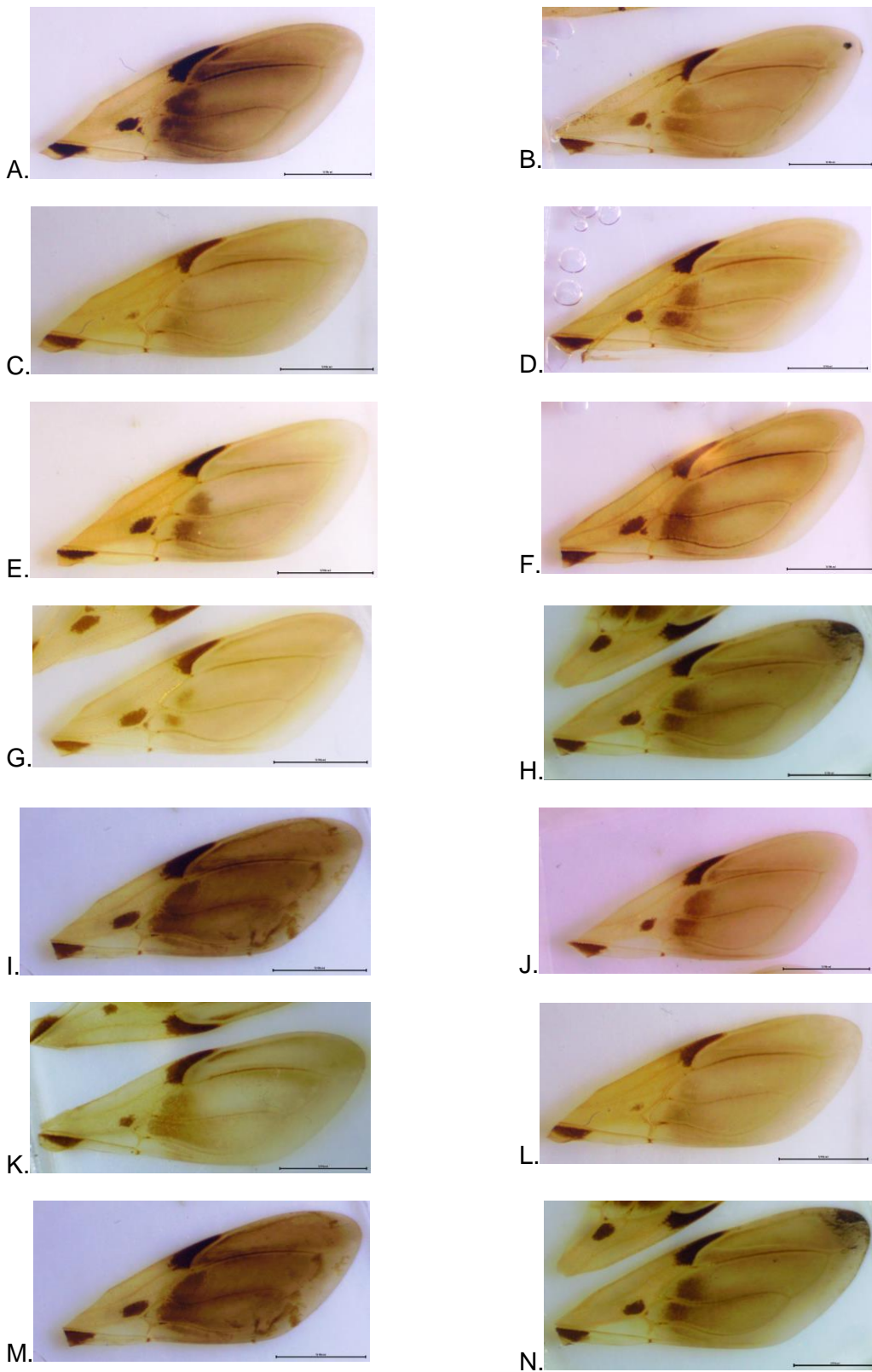
| | | Depto | | Municipio | | Cantón | Altitud Estimada | Rango |
|----|----|------------|----|------------------|----|------------------------|------------------|-------|
| 1 | 01 | Ahuachapán | 01 | Ahuachapán | 01 | Ashapuco | 713 m | M |
| 2 | | | | | 07 | El junquillo | 618 m | M |
| 3 | | | | | 19 | Llano de la laguna | 700 m | M |
| 4 | | | | | 20 | Llano de la Doña Maria | 653 m | M |
| 5 | | | 03 | Atiquizaya | 01 | Joya del Platanar | 856 m | M |
| 6 | | | | | 03 | Izcaquilio | 620 m | M |
| 7 | | | 07 | Jujutla | 13 | Zapua | 695 m | M |
| 8 | | | 10 | San Pedro Puxtla | 00 | Area urbana | 527 m | M |
| 9 | | | | | 05 | Pululapa | 462 m | B |
| 10 | | | 11 | Tacuba | 00 | Area urbana | 681 m | M |
| 11 | | | | | 01 | Agua Fria | 546 m | M |
| 12 | | | | | 04 | El Nispero | 1,170 m | A |
| 13 | | | | | 09 | La Montaña | 1,283 m | A |
| 14 | 02 | Santa Ana | 02 | Coatepeque | 12 | Conacaste | 750 m | M |
| 15 | | | | | 14 | El Cerro | 771 m | M |

| | | | | | | | | |
|----|----|--------------|----|--------------------------|----|-----------------------|---------|---|
| 16 | | | 03 | Chalchuapa | 02 | Buenos aires | 1,517 m | A |
| 17 | | | | | 12 | Magdalena | 658 m | M |
| 18 | | | 07 | Metapan | ** | Desconocido | 469 m | B |
| 19 | | | 12 | Santiago de la Frontera | 04 | Las Piletas | 545 m | M |
| 20 | | | 13 | Texistepeque | 01 | Costa Rica | 648 m | M |
| 21 | | | | | 02 | Cujucuyo | 380 m | B |
| 22 | | | | | 03 | El Jute | 326 m | B |
| 23 | | | | | 06 | Chilcuyo | 458 m | B |
| 24 | 03 | Sonsonate | 01 | Acajutla | 04 | Metalio | 7 m | B |
| 25 | | | 02 | Armenia | 01 | Azucualpa | 618 m | M |
| 26 | | | 04 | Cuisnahuat | 00 | Area urbana | 393 m | B |
| 27 | | | | | 02 | Apancoyo | 82 m | B |
| 28 | | | 06 | Izalco | 00 | Area urbana | 422 m | B |
| 29 | | | | | 08 | El Sunza | 617 m | M |
| 30 | | | 07 | Juayua | 01 | Buenos Aires | 1,213 m | A |
| 31 | | | | | 02 | La Puente | 1,301 m | A |
| 32 | | | 08 | Nahuizalco | 12 | Sabana San Juan abajo | 561 m | M |
| 33 | | | 11 | San Antonio del Monte | 04 | El Castaño | 309 m | B |
| 34 | | | 12 | San Julian | 05 | Los Lagartos | 544 m | M |
| 35 | | | | | 08 | El Sunza | 30 m | B |
| 36 | | | | | 10 | Valle Nuevo | 64 m | B |
| 37 | | | 14 | Santo Domingo de Guzman | 01 | El Carrizal | 370 m | B |
| 38 | | | | | 02 | El Caulote | | |
| 39 | | | | | 04 | El Zope | 134 m | B |
| 40 | 04 | Chalatenango | 06 | Concepcion Quezaltepeque | 02 | El Jocotillo | 427 m | B |
| 41 | | | 11 | La Laguna | 01 | Las Pacayas | 800 m | M |
| 42 | | | | | 05 | La Cuchilla | 769 m | M |
| 43 | | | 25 | San Ignancio | 01 | El Carmen | 915 m | M |
| 44 | 05 | La Libertad | 03 | Colon | 06 | Entre Rios | 482 m | B |
| 45 | | | 15 | San Juan Opico | 00 | Area urbana | 570 m | M |
| 46 | | | | | 02 | Barranca Honda | 529 m | M |
| 47 | | | | | 06 | El Angel Talcualuya | 440 m | B |
| 48 | | | | | 24 | San Pedro Martir | 652 m | M |
| 49 | | | 16 | San Matias | 02 | El Jocote | 340 m | B |
| 50 | | | 17 | San Pablo Tacachico | 00 | Area urbana | 317 m | B |
| 51 | | | | | 02 | La Campana | 450 m | B |
| 52 | 06 | San Salvador | 09 | Nejapa | 04 | Conacaste | 550 m | M |
| 53 | | | | | 08 | Tutultepeque | 406 m | B |
| 54 | | | 10 | Panchimalco | 02 | Azucualpa | 450 m | B |
| 55 | | | | | 09 | Los Troncones | 529 m | M |
| 56 | | | | | 13 | San Isidro | 639 m | M |
| 57 | | | 18 | Tonacatepeque | 07 | Malacof | 689 m | M |

| | | | | | | | | |
|----|----|-------------|----|----------------------|----------|--------------------|---------|---|
| 58 | | | | 08 | Veracruz | 711 m | M | |
| 59 | 07 | CUSCATLAN | 02 | Cojutepeque | 06 | Ojos de agua | 663 m | M |
| 60 | | | 04 | El Rosario | 01 | El Amatillo | 750 m | M |
| 61 | | | | | 03 | San Martin | 650 m | M |
| 62 | | | 05 | Monte San Juan | 09 | San Nicolas | 750 m | M |
| 63 | | | | | 10 | La Soledad | 600 m | M |
| 64 | | | 09 | San Jose Guayabal | 06 | Palacios | 616 m | M |
| 65 | | | 10 | San Pedro Perulupan | 06 | El Paraiso | 664 m | M |
| 66 | | | | | 09 | La Cruz | 633 m | M |
| 67 | | | 13 | Santa Cruz Analquito | 00 | Area urbana | 561 m | M |
| 68 | | | 16 | Tenancingo | 03 | Copalchan | 384 m | B |
| 69 | | | | | 04 | El Pepeto | 524 m | M |
| 70 | | | | | 05 | Huisiltepeque | 634 m | M |
| 71 | 08 | LA PAZ | 18 | Santa Maria Ostuma | 02 | El Chaperno | 625 m | M |
| 72 | | | | | 04 | Loma Larga | 625 m | M |
| 73 | 09 | CABAÑAS | 03 | Ilobasco | 18 | Sitio Viejo | 764 m | M |
| 74 | | | 06 | Sensutepeque | 05 | El Aguacate | 687 m | M |
| 75 | 10 | San Vicente | 01 | Apastepeque | 02 | Cutumayo | 391 m | B |
| 76 | | | | | 10 | San Nicolas | 290 m | B |
| 77 | | | 04 | Santa Clara | 00 | Area urbana | 576 m | M |
| 78 | | | | | 05 | San Juan de Merino | 389 m | B |
| 79 | | | 05 | Santo Domingo | 02 | Izcanales | 633 m | M |
| 80 | | | | | 03 | Los Rodriguez | 651 m | M |
| 81 | | | 08 | San Lorenzo | 04 | Santa Lucia | 689 m | M |
| 82 | | | 13 | Verapaz | 01 | El Carmen | 742 m | M |
| 83 | | | | | 02 | Molineros | 606 m | M |
| 84 | | | | | 05 | San Jeronimo Limon | 586 m | M |
| 85 | 11 | Usulután | 02 | Berlin | 04 | El Tablon | 522 m | M |
| 86 | | | | | 15 | Virginia | 393 m | B |
| 87 | | | 07 | Estanzuela | 02 | El Caragual | 327 m | B |
| 88 | | | 11 | Mercedes Umaña | 03 | El Jocotillo | 444 m | B |
| 89 | | | 19 | San Francisco Javier | 03 | El Zungano | 314 m | B |
| 90 | | | 22 | Tecapan | 00 | Area Urbana | 682 m | M |
| 91 | 12 | San Miguel | 02 | Ciudad Barrios | 00 | Area Urbana | 847 m | M |
| 92 | | | | | 01 | Belen | 571 m | M |
| 93 | | | | | 02 | Guanacaste | 843 m | M |
| 94 | | | | | 03 | Llano El Angel | 899 m | M |
| 95 | | | | | 09 | San Matias | 881 m | M |
| 96 | | | 05 | Chinameca | 01 | Boquerón | 718 m | M |
| 97 | | | 09 | Moncagua | 02 | El Jobo | 468 m | B |
| 98 | | | 13 | San Antonio Mosco | 01 | San Diego | 471 m | B |
| 99 | 13 | Morazán | 01 | Arambala | 02 | Pueblo Viejo | 1,024 m | A |

| | | | | | | | | |
|-----|----|----------|----|------------------------|----|-------------------|-------|---|
| 100 | | | 03 | Corinto | 01 | Corralito | 872 m | M |
| 101 | | | 04 | Chilanga | 05 | Lajitas | 376 m | B |
| 102 | | | 05 | Delicias de Concepción | 02 | La Cuchilla | 455 m | B |
| 103 | | | 09 | Guatajiagua | 05 | Pajigua | 322 m | B |
| 104 | | | | | 06 | Los Abelines | 716 m | M |
| 105 | | | 21 | San Simón | 05 | Valle Grande | 753 m | M |
| 106 | | | 22 | Sensembra | 01 | El Limón | 510 m | M |
| 107 | | | 25 | Yamabal | 01 | Joya del Matazano | 841 m | M |
| 108 | | | | | 02 | Loma Del Chile | 227 m | B |
| 109 | 14 | La Unión | 01 | Anamorós | 01 | Agua Blanca | 721 m | M |
| 110 | | | 04 | Conchagua | 10 | Los Angeles | 159 m | B |
| 111 | | | | | 13 | Piedra Blanca | 429 m | B |
| 112 | | | 05 | El Carmen | 04 | El Piche | 218 m | B |
| 113 | | | 07 | Intipucá | 03 | El Carao | 94 m | B |
| 114 | | | 08 | La Unión | 01 | Agua Caliente | 247 m | B |
| 115 | | | | | 02 | Agua Escondida | 247 M | B |
| 116 | | | | | 04 | El Coyolito | 447 m | B |
| 117 | | | | | 07 | La Quesadilla | 200 m | B |
| 118 | | | 09 | Lislique | 05 | Higueras | 205 m | B |
| 119 | | | 10 | Meanguera del Golfo | 07 | La Negra | 50 m | B |
| 120 | | | 11 | Nueva Esparta | 03 | Las Marias | 809 m | M |
| 121 | | | 16 | Santa Rosa de Lima | 03 | El Portillo | 277 m | B |

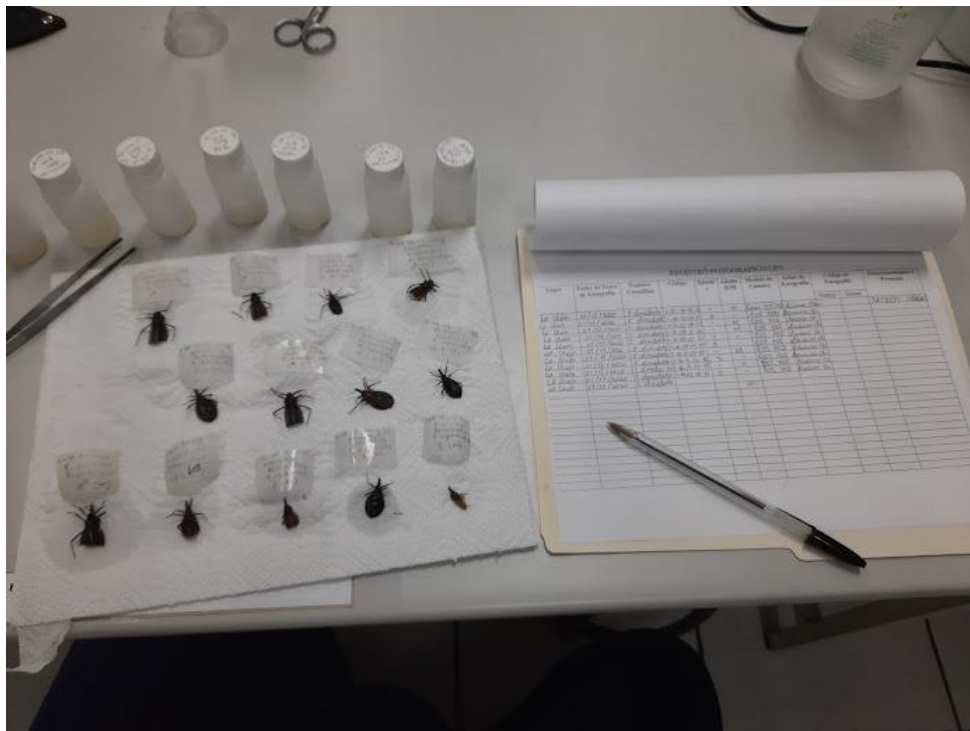
Anexo 2. Código de Departamentos, municipios y cantones, lugar donde fueron colectados los especímenes de *Triatoma dimidiata* y las altitudes de los sitios, el rango se basó en altitudes baja (B), media (M) y alta (A), donde se consideraron las altitudes como zona baja de 0 a 500 m.s.n.m., zona media de 501 a 1,000 m.s.n.m. y de 1,001 m.s.n.m. en adelante como zona alta.



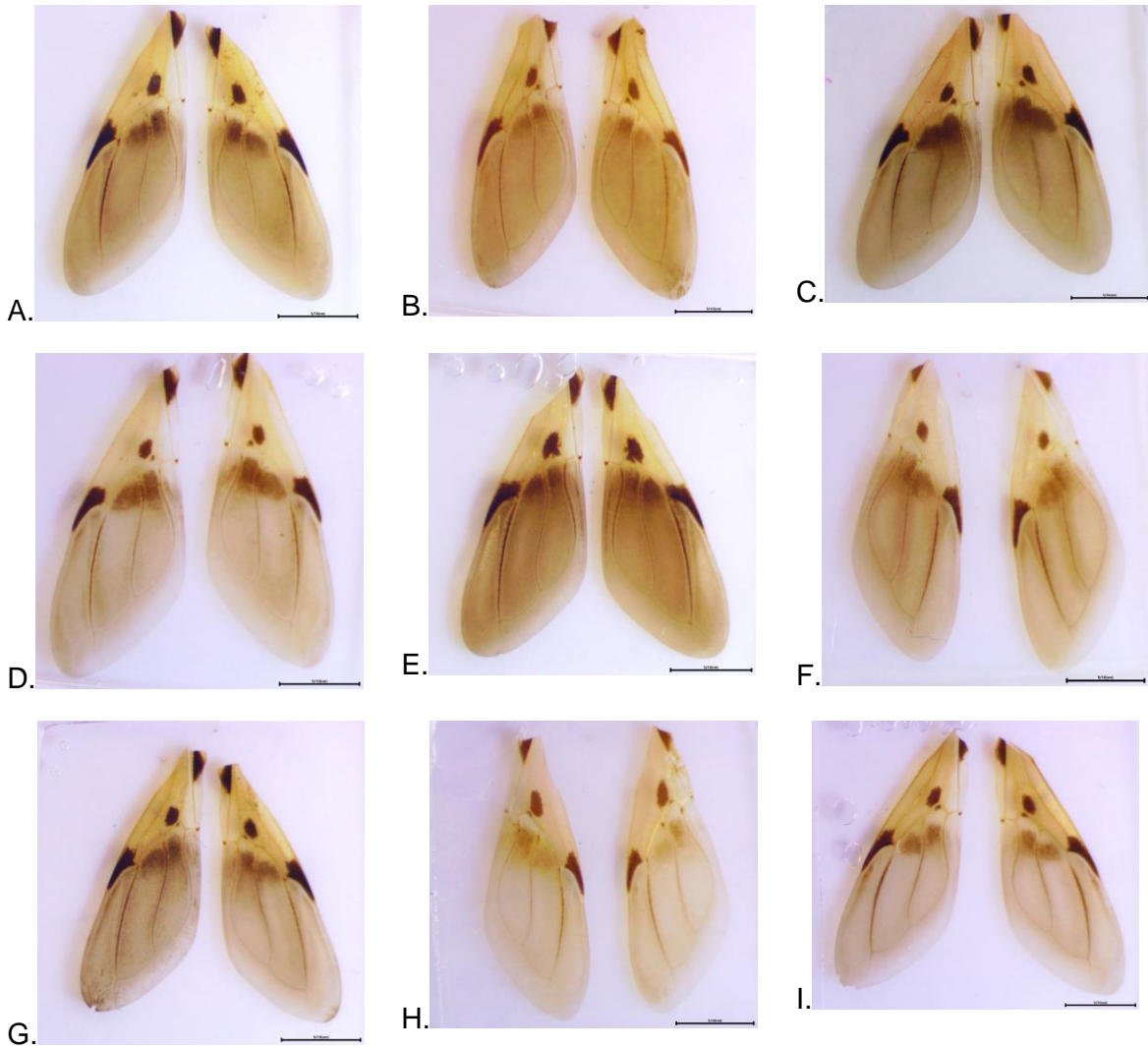
Anexo 3. Ala izquierda de *Triatoma dimidiata* de los diferentes departamentos A. Ahuachapán, B. Santa Ana, C. Sonsonate, D. Chalatenango, E. La Libertad, F. San Salvador, G. Cuscatlán, H. La Paz, I. Cabañas, J. San Vicente, K. Usulután, L. San Miguel, M. Morazán, N. La Unión.



Anexo 4. Selección de los especímenes de *Triatoma dimidiata* utilizados en la investigación.



Anexo 5. Selección y revisión de los Triatominos adultos con alas completas.



Anexo 6. Par de alas *Triatoma dimidiata* montadas y fotografiadas con su respectiva escala de referencia. A. Ahuachapán, B. Santa Ana, C. Sonsonate, D. Chalatenango, E. La Libertad, F. San Salvador, G. Cuscatlán, H. La Paz, I. Cabañas.