



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN

PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL

UNIDAD DURANGO

---

---

## Evaluación de la variabilidad morfológica de poblaciones de *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) en distintas localidades urbanas del estado de Durango

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTA

Biol. Arturo Enrique Barraza Villarreal

DIRECTORES

M. en C. MARTHA CELINA GONZÁLEZ GÜERCA

M. en C. IRMA LORENA LÓPEZ ENRÍQUEZ

VICTORIA DE DURANGO, DGO., NOVIEMBRE DEL 2025



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**Dirección de Posgrado**

**ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS**  
**Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS**

Ciudad de México, a 10 de marzo del 2025

El Colegio de Profesores de Posgrado de IPN CIIDIR Unidad Durango en su Sesión

(Unidad Académica)

Ordinaria No. 3 celebrada el día 07 del mes marzo de 2025, conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	<b>Barraza</b>	Apellido Materno:	<b>Villarreal</b>	Nombre (s):	<b>Arturo Enrique</b>
-------------------	----------------	-------------------	-------------------	-------------	-----------------------

Número de boleta: B 2 3 1 2 1 4

del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

Referente al registro de su tema de tesis

1.- Se acordó aprobar el tema de tesis:

Evaluación de la variabilidad morfológica de poblaciones de *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) en distintas localidades urbanas del estado de Durango

Objetivo general del trabajo de tesis:

Evaluar la variabilidad morfológica de *Periplaneta americana* en poblaciones de diferentes localidades urbanas en el estado de Durango

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: M. en C. Martha Celina González Güereca Director: M. en C. Irma Lorena López Enríquez

No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

El posgrado de la Maestría en Gestión Ambiental en el CIIDIR Unidad Durango

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis  
  
M. en C. Martha Celina González Güereca

Alumno

Arturo Enrique Barraza Villarreal

Director de Tesis (en su caso)  
  
M. en C. Irma Lorena López Enríquez

Presidente del Colegio

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
 Dirección de Posgrado

SIP-14  
 REP 2017

**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 11:00 horas del día 6 del mes de Noviembre del 2025 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: IPN CIIDIR Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

Evaluación de la variabilidad morfológica de poblaciones de *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) en distintas localidades urbanas del estado de Durango.

del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Barraza	Apellido Materno:	Villarreal	Nombre (s):	Arturo Enrique
-------------------	---------	-------------------	------------	-------------	----------------

Número de boleta:

B 2 3 1 2 1 4

Alumno del Programa Académico de Posgrado:

Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 10 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI  NO  SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.

**JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:**

Dado que la tesis cumple con los estándares establecidos, dando un 10% de similitud, que corresponde a textos debidamente citados o listados descriptivos de métodos y un 0% de uso de inteligencia artificial, concluimos que es aceptable para que el alumno defienda su trabajo.

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:

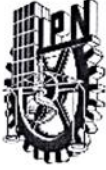
El alumno, concluyó el trabajo del proyecto y cumplió con los objetivos planteados en trabajo.

**COMISIÓN REVISORA DE TESIS**

M. en C. Martha Celina González Guereca  
 Director de Tesis  
 Nombre completo y firma  
  
 M. en C. Irma Lorena López Enriquez  
 2º Director de Tesis (en su caso)  
 Nombre completo y firma

M. en C. Reinier Núñez Bazán  
 Nombre completo y firma  
  
 Dr. Karías Cháirez Hernández  
 Nombre completo y firma

Dr. Jesús Guadalupe González Galegos  
 Nombre completo y firma  
  
 Dr. Eduardo Sánchez Ortiz  
 Nombre completo y firma  
  
 CENTRO INTERDISCIPLINARI DE INVESTIGACIÓN PARA EL PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES IPN CIIDIR DURANGO



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN*

En la Ciudad de Durango, Dgo., el día 6 del mes de Noviembre del año 2025, el (la) que suscribe **Arturo Enrique Barraza Villarreal** alumno(a) del programa Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental con número de registro B231214, adscrito(a) al CIIDIR Unidad Durango manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección de M. en C. Martha Celina González Güereca y la M. en C. Irma Lorena López Enríquez y cede los derechos del trabajo intitulado Evaluación de la variabilidad morfológica de poblaciones de *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) en distintas localidades urbanas del estado de Durango, al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es). Este puede ser obtenido escribiendo a las siguiente(s) dirección(es) de correo arturo.barraza.95@gmail.com; celina.ciidirdgo@gmail.com; irma\_lorena05@yahoo.com.mx Si el permiso se otorga, al usuario deberá dar agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

Arturo Enrique Barraza Villarreal

Nombre completo y firma autográfica del (de la) estudiante

La presente investigación se desarrolló en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, del Instituto Politécnico Nacional Unidad Durango, bajo la dirección de las M. en C. Martha Celina González Güereca y la M en C. Irma Lorena López Enríquez

EL FINANCIAMIENTO FUE SUSPICADO POR LA SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL A TRAVÉS DE LOS PROYECTOS: “CONTROL DE INFESTACIONES POR CHINCHES DE CAMA (*Cimex lectularius*) CON PLANTAS AROMÁTICAS REGIONALES EN DOS SITIOS DE LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE DURANGO, MÉXICO” SIP 20231501, 20241794 Y “REDUCCIÓN DE LOS ÍNDICES DE INFESTACIÓN DE GARRAPATA *Rhipicephalus* spp MEDIANTE EL USO DE PRODUCTOS DERIVADOS DE ORÉGANO MEXICANO (*Lippia graveolens* HBK”, SIP20254010.

## DEDICATORIA

Esta tesis, llena de aprendizaje, es el resultado de paciencia y constancia, de parte mía y de todos aquellos que me acompañaron y me ofrecieron su apoyo hasta este punto.

A mi abuelo Severo Villarreal Martínez, mi modelo a seguir y héroe.

A mis abuelas María de Jesús Solís Martínez y María Elena Solís Martínez por darme su amor incondicional.

A mi hermana Mariana Patricia Barraza Villarreal y a mi madre Patricia Villarreal Solís que nunca dejaron de creer en mí.

A mi novio Jacob Ferman Cosain por estar conmigo durante todo el camino haciendo más ameno el proceso y dándome todo su apoyo.

A mis amigos que me ofrecieron un hombro donde recargarme y un oído para escucharme.

A mi comité tutorial, que sin su invaluable conocimiento y ayuda, este proyecto nunca se hubiera realizado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todos aquellos que me permitieron ser parte de este proyecto, pero sobre todo quiero agradecer:

A mi comité tutorial conformado por la M. C Martha Celina González Güereca, la M. C. Irma Lorena López Enríquez, el Dr. Jesús Guadalupe González Gallegos, y el Dr. Reinier Núñez Bazán por apoyarme con sus conocimientos y su paciencia, sin su ayuda este proyecto no hubiera llegado a concretarse.

Al Dr. Isaías Cháirez Hernández, por su apoyo en el modelo estadístico de este proyecto y que me mostró el rostro amable de la estadística.

Al SECIHTI y al IPN-BEIFI por el apoyo económico otorgado con el cual este proyecto fue posible de realizar.

# ÍNDICE

RELACIÓN FIGURAS .....	i
RELACIÓN CUADROS .....	iv
Resumen.....	v
Abstract .....	vi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Características de <i>Periplaneta americana</i> .....	3
2.1.1 Distribución e importancia como especie plaga.....	4
2.2 Morfología .....	6
2.2.1 Influencia del ambiente en la morfología .....	6
2.2.2 Influencia de factores antropogénicos en la morfología.....	7
2.3 Morfometría.....	8
2.3.1 Morfometría tradicional .....	8
2.3.1.1 Métodos de obtención de datos y análisis de morfometría lineal.....	8
2.3.1.2 Análisis de conglomerados.....	8
2.3.1.3 Análisis de componentes principales .....	9
2.3.1.4 Análisis de varianza y prueba de Tukey .....	9
2.3.1.5 análisis de correspondencias .....	10
2.3.2 Morfometría geométrica.....	10
2.3.2.1 Métodos de obtención de datos y análisis de morfometría lineal.....	10
2.3.2.2 Descriptores elípticos de Fourier .....	10
2.3.2.3 Prueba de Kruskal-Wallis y prueba de Dunn.....	11
III. JUSTIFICACIÓN .....	12
IV. OBJETIVOS.....	13
4.1 Objetivo general.....	13
4.2 Objetivos específicos .....	13
V. HIPÓTESIS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	14
5.1 Hipótesis .....	14
5.2 Pregunta de investigación .....	14
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
6.1 Descripción de las áreas de estudio .....	15

6.1.1	Municipio de Durango .....	15
6.1.2	Municipio de Nuevo Ideal .....	17
6.2	Obtención del material biológico .....	17
6.2.1	Toma de fotografías del material biológico .....	23
6.3	Análisis estadístico .....	23
VII.	RESULTADOS .....	25
7.1	Caracteres de dimorfismo sexual .....	25
7.2	Análisis de agrupación de las medidas lineales para hembras .....	27
7.3	Análisis de agrupación de las medidas lineales para machos .....	29
7.4	Análisis de componentes principales para datos de las hembras .....	30
7.4.1	Cálculo de contribución de las variables para hembras .....	31
7.5	Análisis de componentes principales para datos de los machos .....	32
7.5.1	Cálculo de contribución de las variables para machos .....	33
7.6	ANOVA y Análisis de correspondencias por sexo y sitio .....	34
7.6.1	Análisis de varianza para hembras .....	35
7.6.2	Análisis de correspondencias para hembras .....	44
7.6.3	Relación entre sitios y variables .....	44
7.6.4	Análisis de varianza para machos .....	46
7.6.5	Análisis de correspondencias para machos .....	56
7.6.6	Relación entre sitios y variables .....	56
7.7	Análisis geométrico .....	57
7.7.1	Comparación entre sexos .....	60
7.7.2	Escalado multidimensional no métrico Prueba de Kruskal-Wallis y prueba <i>post hoc</i> de Dunn para hembras .....	62
7.7.3	Escalado multidimensional no métrico y prueba de Kruskal-Wallis y una prueba <i>post hoc</i> de Dunn para machos .....	65
VIII.	DISCUSIÓN .....	68
8.1	Morfometría lineal .....	68
8.2	Morfometría geométrica .....	70
XI.	CONCLUSIONES .....	72
X.	RECOMENDACIONES .....	74
XI.	BIBLIOGRAFÍA .....	75

## RELACIÓN FIGURAS

Figura 1. Localización del estado de Durango (INEGI, 1990; INEGI, 2024; INEGI, 2024). .....	16
Figura 2. Mapa de manzanas urbanas de la Ciudad De Durango (INEGI 2019). .....	16
Figura 3. Mapa de manzanas urbanas de la Ciudad de Nuevo Ideal (INEGI 2019).....	17
Figura 4. Mapa de los sitios de colecta de <i>Periplaneta americana</i> . .....	18
Figura 5. Estructuras morfológicas dorsales: A) Largo de pronoto y Ancho de pronoto B) Largo tegmina derecha y ancho de tegmina derecha, C) largo de tegmina izquierda y ancho de tegmina izquierda. Esquema hecho por Núñez-Bazán, 2024. ....	22
Figura 6. Estructuras morfológicas de la cabeza: largo de cabeza, ancho de cabeza, distancia entre ojos y distancia entre ocelos. Esquema hecho por Núñez-Bazán, 2024.....	22
Figura 7. Estructuras morfológicas ventrales: ancho máximo de abdomen, largo de cercos izquierda, largo de cercos derecho, largo de primera pata derecha, largo de primera pata izquierda, largo de segunda pata derecha, largo de segunda pata izquierda, largo de tercera pata derecha, largo de tercera pata izquierda, largo de estiletes derecha y largo de estiletes izquierda solo en machos. Esquema hecho por Núñez-Bazán, 2024.....	22
Figura 8. Comparación entre sexos mediante análisis de varianza de variables de largo de pronoto, ancho de pronoto, largo de tegmina izquierda y largo de tegmina derecha. ....	25
Figura 9. Comparación entre sexos mediante análisis de varianza de variables de ancho de tegmina izquierda, ancho de tegmina derecha, largo de cabeza, ancho de cabeza, distancia entre ojos, distancia entre ocelos, y ancho máximo de abdomen.....	26
Figura 10. Dendrograma de hembras por localidad con base en morfometría lineal por el método de Ward y localización geográfica de los grupos de Ward.....	28
Figura 11. Dendrograma de machos por localidad con base en morfometría lineal por el método de Ward y localización geográfica de los grupos de Ward. ....	30
Figura 12. Análisis de componentes principales sobre las variables de morfometría lineal: nube de datos para hembras. ....	31
Figura 13. Contribución y relación de variables de morfometría lineal en el análisis de componentes principales de hembras de <i>Periplaneta americana</i> .....	32
Figura 14. Análisis de componentes principales sobre las variables de morfometría lineal: nube de datos para machos.....	33

Figura 15. Contribución y relación de variables de morfometría lineal en el análisis de componentes principales de machos de <i>Periplaneta americana</i> . .....	34
Figura 16. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de hembras: largo de pronoto, ancho de pronoto, largo de tegminas izquierda y largo de tegminas derechas y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.....	36
Figura 17. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de hembras: ancho de tegmina derecha, ancho de tegmina izquierda, largo de cabeza y ancho de cabeza y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño. ....	38
Figura 18. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de hembras: distancia entre ojos, ancho máximo de abdomen, largo de cercos izquierda y largo de cercos derecha y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño. ....	40
Figura 19. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de hembras: largo primera pata derecha, largo primera pata izquierda, largo segunda pata derecha y largo segunda pata izquierda y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.....	42
Figura 20. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de hembras: largo tercer pata derecha y largo tercer pata izquierda y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño. ....	43
Figura 21. Análisis de correspondencias simple entre variables de morfometría lineal y sitios de colecta en hembras.....	45
Figura 22. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de machos: largo de pronoto, ancho de pronoto, largo de tegminas izquierda y largo de tegminas derechas y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.....	47
Figura 23. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de machos: ancho de tegmina derecha, ancho de tegmina izquierda, largo de cabeza y ancho de cabeza y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño. ....	49

Figura 24. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de machos: distancia entre ojos, distancia entre ocelos, ancho máximo de abdomen y largo cercos derecha y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño. ....	51
Figura 25. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de machos: largo primera pata derecha, largo primera pata izquierda, largo segunda pata derecha y largo segunda pata izquierda y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.....	53
Figura 26. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de machos: largo primera pata derecha, largo primera pata izquierda, largo segunda pata derecha y largo segunda pata izquierda y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.....	55
Figura 27. Análisis de correspondencia simple entre variables de morfometría lineal y sitios de colecta en machos .....	57
Figura 28. Extracción y binarización de contorno de pronoto de hembras y machos de <i>Periplaneta americana</i> mediante la evaluación de descriptores elípticos de Fourier. ....	58
Figura 29. Varianza acumulativa explicada por componentes principales destacando el componente principal donde se alcanza el 99% de la varianza acumulada. ....	59
Figura 30. Escalado multidimensional no métrico de hembras y machos.....	60
Figura 31. Comparación entre sexos con prueba de Kruskal-Wallis y prueba de Dunn para componente principal 1 y 8. ....	61
Figura 32. Escalado multidimensional no métrico con las poblaciones de hembras de los sitios de colecta. ....	62
Figura 33. Comparación de componentes principales significativos por medio de una prueba de Kruskal-Wallis derivados del análisis multidimensional no métrico en hembras por sitio de colecta y mapa asociado al componente principal 2 .....	64
Figura 34. Escalado multidimensional no métrico con las poblaciones de machos de los sitios de colecta. ....	65
Figura 35. Comparación de componentes principales significativos por medio de una prueba de Kruskal-Wallis derivados del análisis multidimensional no métrico en machos por sitio de colecta. ....	67

## RELACIÓN CUADROS

Cuadro 1. Sitios de colecta, rangos de temperatura y precipitación (CONAGUA. s.f) .....	19
Cuadro 2. Diversidad de tipos de infraestructura aledaña identificada en los sitios de recolección.....	20
Cuadro 3. Variables medidas a los individuos colectados. ....	21
Cuadro 4. Matriz de confusión para datos de 15, 20, 25 y 30 armónicos. ....	58

## Resumen

*Periplaneta americana* es una especie de cucaracha que se comporta como plaga, con distribución cosmopolita, originaria del norte de África. Esta especie habita en sitios insalubres como tiraderos de basura y alcantarillas lo que la hace un vector mecánico para enfermedades gastrointestinales y respiratorias. Al ser residentes de entornos urbanos, las poblaciones de *P. americana* están sometidas a diversos cambios ambientales debido a la rápida urbanización y al uso desmedido de insecticidas. El objetivo de este estudio fue evaluar la variabilidad morfológica de *Periplaneta americana* en poblaciones de diferentes localidades urbanas en el estado de Durango. Por lo cual se realizó el análisis morfométrico lineal y geométrico de 12 sitios de *P. americana* de diferentes localidades en la ciudad de Durango y de la cabecera municipal de Nuevo Ideal, Dgo. De cada sitio se seleccionaron al azar 20 machos y 20 hembras, y como grupo testigo, se tomaron 14 hembras y 17 machos de un criadero estandarizado de cinco generaciones del CIIDIR Durango. Los resultados de este trabajo aportaron evidencias que señalan diferencias significativas entre sexos, así como la presencia de dos morfotipos en tamaño, tanto para machos y hembras. También, se encontraron diferencias en la forma del pronoto entre sexos y entre localidades. Estas diferencias sugieren una respuesta fenotípica relacionada a las condiciones ambientales de cada localidad. Igualmente se elaboraron mapas de distribución de *P. americana* en la ciudad de Durango con la información obtenida en los análisis morfométricos y se realizó una correlación de los resultados con el entorno ambiental de los sitios de recolección. Los resultados generados en esta investigación podrían tener utilidad en el manejo integrado de esta especie plaga para disminuir el abuso hacia los insecticidas químicos y, en consecuencia, minimizar la resistencia de *P. americana* a los mismos.

## Abstract

*Periplaneta americana* is a species of cockroach that behaves as a pest, with a cosmopolitan distribution, native from Africa. This species dwells in unsanitary places like landfills and sewers, turning them into mechanical vectors of gastrointestinal and respiratory diseases. Being residents of urban environments, the populations of *P. americana* are subjected to various environmental changes due to rapid urbanization and excessive use of insecticides. The objective of this study was to evaluate the morphological variability of *P. americana* in different urban localities in the state of Durango. Linear and geometric morphometric analyses were conducted on 12 sites of *P. americana* from various localities of Durango city and the municipal seat of Nuevo Ideal, Dgo. Each site consisting of 20 males and 20 females randomly selected and as a control group 14 females and 17 males bred for up to five generations under standardized conditions at CIIDIR Durango. This project provided evidence showing significant differences between sexes, as well as the presence of two size morphotypes in both males and females. Differences in the shape of the pronotum were also found between sexes and localities. These morphological differences suggest a phenotypic response to the environmental conditions of each locality. Likewise, the distribution of *P. americana* in Durango City was mapped using the data obtained in the morphometric analysis as well as a correlation between the morphometric analysis results and the urban characteristics of the collection sites. The results generated in this investigation might be useful in the integrated pest management of this plague species and in the reduction of chemical insecticide abuse, which in turn would minimize the insecticide resistance of *P. americana*.

## I. INTRODUCCIÓN

Los insectos son el grupo más abundante de animales en la actualidad, al ser más numerosos y al poseer mayor diversidad que otros grupos (Grimaldi & Engel, 2005). Alrededor de un millón de insectos han sido descritos y se piensa que el total de especies diferentes podría ascender a 30 millones (Galante, 2023).

Estos organismos presentan una amplia gama de formas y tamaños corporales, que pueden variar significativamente de una especie a otra. Esta variabilidad suele estar influenciada por su entorno y por las adaptaciones específicas que han desarrollado para sobrevivir en diferentes hábitats (Komlyk y Brygadyrenko, 2019).

El orden Blattodea se encuentra clasificado dentro de la cohorte *Polyneoptera* (Du, *et al.* 2024) y es considerado como uno de los órdenes de insectos más primitivos (Hernández-Rodríguez, *et al.*, 2015; Wang *et al.* 2017), con un registro fósil que data a estos organismos en el periodo Carbonífero inferior desde hace 340 millones de años (Legendre, *et al.*, 2015). Este orden está conformado por las termitas de la epifamilia Termitoidae, y las cucarachas (Beccaloni & Eggleton, 2013; Wang *et al.* 2017). Según los estudios filogenéticos de Inward *et al.* (2007), se ha podido confirmar que las termitas y la familia de cucarachas *Cryptocercidae* son grupos hermanos y que este clado se encuentra dentro del orden *Blattodea*.

Se cuenta con dos aproximaciones, publicadas en la década anterior, a la diversidad de especies de cucarachas que habitan en México. Estrada-Álvarez (2013) menciona la existencia de 8 familias, 12 subfamilias, 57 géneros y 156 especies, además de una especie fósil y una especie indeterminada (*incertae sedis*) mientras que Cueto *et al.* (2015) menciona la presencia de 170 especies en México.

En la Ciudad De Durango se carece de información acerca de la distribución de poblaciones de *Periplaneta americana*, así como de su manejo como especie plaga y

presencia en sitios de interés humano como lo son supermercados, escuelas, hospitales, etc.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Características de *Periplaneta americana*

*Periplaneta americana* pertenece a la familia Blattidae, es conocida como la cucaracha de drenaje o cucaracha americana. Su capacidad de expandirse e invadir diferentes áreas de distribución se debe a su habilidad de reproducirse a lo largo de todo el año y en tasas elevadas (Ejimadu *et al.*, 2015; Lucañas, 2023). El ciclo de vida de la cucaracha americana tiene tres etapas generales: ooteca, ninfa y adulto. Las ninfas emergen de la ooteca después de seis a ocho semanas, los estadios ninfales son variables y pueden alcanzar la madurez en un periodo de tiempo de entre seis a 12 meses, mientras que la esperanza de vida de un adulto puede llegar hasta 400 días, en función de los factores ambientales como humedad y temperatura (Bell & Adiyodi 1981).

El estado ninfal de *P. americana* comienza al nacer de su ooteca y termina después de la última muda donde alcanzan la etapa adulta. El número de veces que la cucaracha americana muda depende de las condiciones ambientales y acceso al alimento. Normalmente muda 13 veces, pero puede variar de nueve a 14 mudas. Las alas no se encuentran presentes en este estado, sino hasta que alcanza la madurez sexual después de la última muda (Bell & Adiyodi 1981).

Los adultos se caracterizan por la presencia de alas, y poseen un color café rojizo, y un pronoto café con un contorno café pálido o amarillento. Los machos poseen mayor longitud de tegminas y alas que las hembras ya que estas se extienden entre cuatro y ocho milímetros del abdomen. Tanto machos como hembras poseen un par de estructuras en la parte posterior del abdomen llamados cercos, en los machos los cercos están conformados por 18 a 19 segmentos, mientras que en las hembras incluyen 13 a 14 segmentos. Otra diferencia es la presencia de estiletes en machos los cuales son un par de estructuras ubicadas en la parte posterior del abdomen entre los cercos (Barbara, 2014; Borah & Hazarika, 2019).

Esta especie de cucaracha es altamente adaptable al entorno en el que se desarrolla. Posee un cuerpo ovalado y plano, y la capacidad de guardar sus alas debajo de sus tegminas les confiere la facultad de pasar por espacios reducidos, o esconderse en recovecos. La hembra carga sus ootecas con ella hasta que las pueden depositar en un lugar seguro, para asegurar la supervivencia de la siguiente generación y es capaz de producir más de 250 huevos en un solo año. Típicamente las ninfas solo tardan un año en llegar a edad reproductiva (Li *et al.* 2018). Los adultos poseen un tamaño de entre 34-53 mm y muestran crecimiento excesivo en condiciones favorables, especialmente en climas cálidos-húmedos y con presencia de comida abundante (Kaya & Baran, 2015; Pascual, 2015). Esta cucaracha es considerada como la especie de mayor tamaño de entre las cucarachas plaga, mientras que en abundancia es considerada como la segunda mayor solo por detrás de *Blattella germanica* (Barbara, 2014).

La dieta de la cucaracha americana se basa en materia orgánica en descomposición; sin embargo, posee hábitos oportunistas y se alimenta de casi cualquier cosa (Barbara, 2014).

### **2.1.1 Distribución e importancia como especie plaga**

Esta especie de cucaracha surgió en África del norte, y fue introducida en lo que hoy es Estados Unidos en 1625 (Bell & Adiyodi 1981). Debido a sus adaptaciones a vivir en cavernas es común encontrar a esta cucaracha en alcantarillas, sistemas de drenaje, sótanos, etc. En casos donde las condiciones ambientales sean las adecuadas pueden desarrollarse de forma prolífica y alcanzar los 5000 individuos en una sola alcantarilla, lo que las hace capaces de infestar incluso casas habitación (Rust *et. al.*, 1991). También es común encontrar a la cucaracha americana en lugares sombreados y húmedos como tocones de árboles, hojarasca y en general en sitios donde haya acumulación de materia orgánica (Hagenbuch *et al.*, 1988). Y debido a que vive en asociación cercana con los humanos, es considerado como una especie con distribución cosmopolita.

Debido a la naturaleza sinantrópica de esta especie como portadora importante de bacterias, hongos y parásitos patógenos de origen fecal, los cuales toman de su hábitat en alcantarillas, basureros, rendijas, con abundantes desperdicios de comida y residuos orgánicos, logran afectar la salud humana. Pueden producir enfermedades como diarrea, disentería, cólera, lepra, tifoidea y algunas causadas por helmintos. También pueden provocar problemas de las vías respiratorias, debido a la desintegración de su cutícula y a sus excreciones (Ejimadu, 2015; Schapheer *et al.*, 2018). Igualmente se ha comprobado su relación en infecciones nosocomiales (Nasirian & Salehzadeh, 2019).

La cucaracha americana es una de las especies plaga de ambientes urbanos más importantes del mundo debido a sus hábitos invasivos, convirtiéndola en una molestia para los humanos por su relación no solo con enfermedades o alergias, sino también por daños en ropa, telas y documentos (Nasirian & Salehzadeh, 2019). Por lo anterior, *P. americana* se ha convertido en un potencial problema de salud pública debido a su habilidad de movimiento entre alcantarillas, negocios de todo tipo y hogares especialmente durante el verano (Bell & Adiyodi 1981).

Otra problemática importante que ha reportado con *P. americana* es la de ser una especie invasora capaz de desplazar de sus nichos ecológicos a otras cucarachas nativas (Lucañas *et al.* 2022).

El manejo de *P. americana* como plaga es complejo debido a que la infestación comienza desde las alcantarillas. Aplicar insecticidas directamente a las alcantarillas es posible, sin embargo, es necesario una formulación específica del insecticida, y al menos un mes para que elimine a la población plaga, además, a medida que pasa el tiempo la formulación pierde su capacidad como insecticida (Nasirian & Saghafipour, 2021).

Su manejo como plaga es variado, se debe tomar en cuenta la susceptibilidad hacia los insecticidas, las aplicaciones de éstos en diferentes presentaciones como cebos o polvos, aplicaciones de productos alternativos como los aceites esenciales y sus derivados, inclusive el control biológico con enemigos naturales como algunos

himenópteros, que son parásitos de *P. americana* (Suiter *et al.*, 1998; Nasirian & Salehzadeh, 2019).

Otro problema surge con el uso libre de insecticidas porque a diferencia de la aplicación de insecticidas en ambientes agrícolas donde el enfoque es cuantitativo, el enfoque en ambientes urbanos es subjetivo y cualitativo, además, las condiciones socioeconómicas de los residentes de estos ambientes contribuyen al éxito o fracaso del manejo de plagas en ambientes urbanos (Buczowski, 2014). Tampoco está claro cómo es que las poblaciones de esta cucaracha se relacionan entre sí dentro del ambiente urbano, y por lo mismo, esa falta de conocimiento sobre la dispersión de la cucaracha americana dificulta el establecimiento de programas de control eficientes contra esta plaga urbana (Jaramillo-Ramirez, *et al.*, 2010).

## **2.2 Morfología**

La morfología describe la forma y estructura de los organismos, centrándose en su funcionamiento y en la diversidad de sus rasgos físicos. Es una de las disciplinas biológicas más antiguas y contribuye de manera significativa en la comprensión de la historia evolutiva y las relaciones entre los diferentes organismos. La morfología es esencial para reconstruir los patrones fenotípicos fundamentales y comprender la evolución de los caracteres, destacando su importancia en la biología evolutiva (Wanninger, 2015).

### **2.2.1 Influencia del ambiente en la morfología**

Los insectos reaccionan de varias maneras a la par de los cambios en el ambiente lo que influye en su abundancia, distribución, morfología, entre otros parámetros. Las poblaciones de invertebrados acumulan la influencia de los factores ambientales a lo largo del tiempo, y los vuelve bioindicadores de las condiciones ambientales (Moskalev *et al.*, 2015). Por un lado, el resultado de la influencia de un factor en particular está determinado por la duración e intensidad de la exposición, así como por la efectividad de

mecanismos compensatorios a niveles molecular, genético, celular, de organismo, poblacional y ecosistémico (Bygadyrenko & Slynko, 2015).

El tamaño del cuerpo es una de las características principales de los organismos, y está asociado con la historia de vida del individuo, con su patrón fisiológico (expresión de genes) y con las interacciones con el ecosistema (Brygaderinko, 2019). Por lo cual, el estudio de la relación entre el tamaño de cuerpo de los insectos y el tipo de hábitat es importante para entender las regularidades. Aunado a lo anterior, el estudio de los llamados ecomorfos, que se encuentran relacionados con las adaptaciones morfológicas de una especie y de su nicho ecológico, auxilia en el entendimiento de las nociones evolutivas de adaptación y convergencia (Bignon & Berger, 2025).

### **2.2.2 Influencia de factores antropogénicos en la morfología**

Los entornos urbanos pueden impulsar la microevolución de los insectos y provocar cambios en su morfología. Esto se debe a la rápida urbanización que altera las condiciones ecológicas, lo que puede afectar a las características de las poblaciones de insectos (Alberti *et al.*, 2017). En adición, el uso de pesticidas en ambientes urbanos también es un factor de importancia debido a que sus habitantes se resisten a compartir espacios con insectos, y procuran la erradicación de éstos, lo que contribuye a una dependencia de los pesticidas (Zhu *et al.*, 2016).

*Periplaneta americana*, se ha adaptado a los entornos urbanos, lo que influye en su morfología y desarrollo. Esta adaptación está vinculada a su capacidad para prosperar en diversos hábitats, lo que puede provocar variaciones en el tamaño y la estructura del cuerpo en función de las condiciones ambientales (Li *et al.*, 2018). La especie ha estado en contacto con una serie de compuestos insecticidas, entre ellos los neonicotinoides.

Los neonicotinoides son una clase de insecticidas que se utiliza ampliamente desde principios de la década de 1990 para controlar las plagas de insectos en la agricultura y la sanidad animal debido a su alta eficacia (Bao *et al.*, 2021). Algunos de

ellos como la cicloxaprida y el imidacloprid son capaces de alterar la morfología de *P. americana* de manera significativa. Según Bao *et al.* (2021), los tratamientos con estos insecticidas provocaron una respuesta física pronunciada en el intestino anterior de ejemplares utilizados en el experimento y se produjo un estiramiento y engrosamiento de su cuerpo, debido a que las bacterias que se encuentran en el intestino anterior produjeron gas metano, lo que causó este cambio morfológico.

## **2.3 Morfometría**

Históricamente la comparación entre organismos por medio de caracteres anatómicos ha sido clave en el área de la biología comparada y son la base de la clasificación taxonómica (Benítez & Püschel, 2014). Sin embargo, durante el siglo XX ocurrió un cambio donde la biología comparada paso a ser una ciencia cuantitativa (Adams *et al.*, 2004) lo que hizo surgir a la morfometría como el análisis cuantitativo de forma y tamaño en los organismos (Bookstein, 1991).

### **2.3.1 Morfometría tradicional**

La morfometría lineal o tradicional es la cuantificación de las distinciones morfológicas mediante mediciones lineales en especímenes, basándose en mediciones estándar (Bookstein, 1991). Las medidas obtenidas posteriormente son sometidas a análisis estadísticos multivariados con la finalidad de encontrar variaciones tanto entre grupos de individuos, como dentro de éstos (Adams *et al.*, 2004).

#### **2.3.1.1 Métodos de obtención de datos y análisis de morfometría lineal**

#### **2.3.1.2 Análisis de conglomerados**

El análisis de conglomerados es una herramienta en estadística multivariada la cual es utilizada para organizar conjuntos de datos complejos con base en similitudes y diferencias para formar grupos homogéneos, busca la máxima similitud dentro de estos

grupos y la mínima similitud entre ellos mediante varios métodos. El método de Ward en particular es un método de agrupamiento jerárquico que minimiza la varianza entre grupos al disminuir el aumento de los errores de la suma de cuadrados y optimiza la homogeneidad del conglomerado al formar un dendrograma o gráfica de árbol (Santana, 1991; Trebuña, & Halčinová, 2013).

### **2.3.1.3 Análisis de componentes principales**

Conocido como PCA por sus siglas en inglés, es una técnica estadística empleada para transformar de forma ortogonal y reducir las dimensiones de un conjunto de datos correlacionados con el objetivo de tener un conjunto de datos más pequeño y menos redundante que capture la mayor parte de la variación presente en los datos originales, a este nuevo conjunto de datos se le denomina componentes principales. Dentro de estos componentes los primeros dos o tres normalmente poseen la mayor parte de la información de los datos originales (Marramá & Kriwet, 2017; Pandit *et al.*, 2020). El PCA proyecta y representa las unidades de estudio como puntos en un espacio de dos o tres dimensiones. La similitud entre las muestras es visible por medio de la proximidad de los puntos representados en estas dimensiones (López-Galán, 2016).

### **2.3.1.4 Análisis de varianza y prueba de Tukey**

El análisis de varianza (ANOVA) es un método estadístico paramétrico que compara las varianzas para establecer la existencia de diferencias significativas entre las medias de varios grupos (Kim, 2017). Para la identificación de las diferencias significativas existen varias pruebas *post-hoc*, una de ellas es la prueba de Tukey que compara todos los pares posibles de medias posterior a un análisis de varianza significativa entre tres o más medias grupales (Nanda *et al.*, 2021).

### **2.3.1.5 Análisis de correspondencias**

El análisis de correspondencias es una herramienta exploratoria de estadística multivariada utilizada para la visualización e interpretación de datos, los cuales son transformados a gráficos con factores ortogonales y permite identificar patrones y asociaciones en un conjunto de datos complejos (Hsu *et al.*, 2019).

### **2.3.2 Morfometría geométrica**

Por otro lado, la morfometría geométrica, es una técnica morfométrica que utiliza coordenadas cartesianas de los puntos de referencia para capturar las variaciones de forma y descarta las variaciones dependientes del tamaño al usar las relaciones espaciales entre las partes de una misma estructura. Estos análisis entre variaciones de forma son empleados para caracterizar una estructura específica y relacionarla con la función en el entorno que posee el organismo estudiado (Rohlf y Marcus, 1993; Bignon & Berger, 2025).

#### **2.3.2.1 Métodos de obtención de datos y análisis de morfometría lineal**

#### **2.3.2.2 Descriptores elípticos de Fourier**

La técnica matemática de los descriptores elípticos de Fourier permite cuantificar la forma de un contorno cerrado bidimensional. La base de esta técnica es la descomposición ortogonal de la forma en una serie de elipses llamadas armónicos, cada armónico se refiere a un aspecto diferente de la forma, que a su vez cada armónico está definido por coeficientes de Fourier, los cuales describen la forma y orientación de las elipses lo que quiere decir que entre más armónicos se usen se tendrá mayor exactitud al representar la forma original (Zahn & Roskies, 1972; Kuhl & Giardina, 1982; López-Sampson & Page, 2018;).

### **2.3.2.3 Prueba de Kruskal-Wallis y prueba de Dunn**

La prueba de Kruskal-Wallis es un método estadístico no paramétrico que determina la existencia de diferencias significativas entre las medianas de varios grupos (Elsayed, 2015). Para la identificación de las diferencias significativas existen varias pruebas *post-hoc* no paramétricas, una de ellas es la prueba de Dunn, la cual realiza un procedimiento de comparación múltiple por pares con el fin de identificar grupos específicos con diferencias significativas (Dinno, 2015).

### III. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación pretende evaluar el tamaño y forma de *Periplaneta americana* en diferentes localidades urbanas, lo cual, además de generar información científica básica, podría tener utilidad en el manejo integrado de plaga de esta especie. Esto con el fin de encontrar diferencias en la morfología, las cuales son evidencia del efecto de factores ambientales urbanos sobre esta especie. Con esto se pretende aportar información actualizada sobre esta especie plaga asociada a entornos urbanos y que sirvan de apoyo para estudios futuros.

## IV. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general

Evaluar la variabilidad morfológica de *Periplaneta americana* en poblaciones de diferentes localidades urbanas en el estado de Durango.

### 4.2 Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad morfométrica lineal y geométrica entre poblaciones de *Periplaneta americana*.
- Caracterizar la distribución de la especie en la zona urbana de la Ciudad de Durango y la relación entre los sitios de colecta con las variables estudiadas.
- Generar mapas de distribución de *P. americana* con base en su análisis morfométrico y sitios de colecta.

- 

## V. HIPÓTESIS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

### 5.1 Hipótesis

Existen diferencias morfológicas inter e intra poblacionales de *Periplaneta americana* en varias localidades urbanas de Durango, México.

### 5.2 Pregunta de investigación

¿Qué tanta variabilidad morfológica existe dentro y entre poblaciones de *Periplaneta americana* de Durango, México?

## **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1 Descripción de las áreas de estudio**

El área de estudio contempló la colecta de muestras en sitios mayoritariamente de la ciudad de Durango, los que fueron empleados como punto focal en los análisis morfológicos. Sin embargo, también se contó con individuos de quinta generación criados en bioterio en CIIDIR Durango, cuyo pie de cría corresponde a una mezcla de individuos colectados en el Fraccionamiento Fidel Velázquez, Col. San Juan, Lomas Del Parque, Barrio de Tierra Blanca, Col. Los Ángeles, Col. Morelos Norte, Col. El Ciprés, Col. Del Maestro, Col. 8 De Septiembre, Fracc. Arantza Ciudad Industrial y Fracc. 20 De Noviembre II, y con otra muestra de índole urbana en el municipio de Nuevo Ideal. Estas muestras adicionales sirvieron como testigos de primer y segundo orden.

#### **6.1.1 Municipio de Durango**

La ciudad de Durango se localiza en la región del Valle del Guadiana y es la cabecera del municipio, y capital del Estado con el mismo nombre (figura 1). Su ubicación geográfica se encuentra entre los meridianos 104° 06' y 105° 35' de longitud Oeste y los paralelos 23° 28' y 24° 26' de latitud Norte. Se encuentra a una altitud promedio de 1 880 m sobre el nivel del mar (figura 2). Con una temperatura media anual de 17.5 ° C Posee un clima semiseco templado y templado subhúmedo y durante el verano cuenta con lluvias escasas. Mientras que en invierno es semifrío y subhúmedo (CONAGUA, 2014).

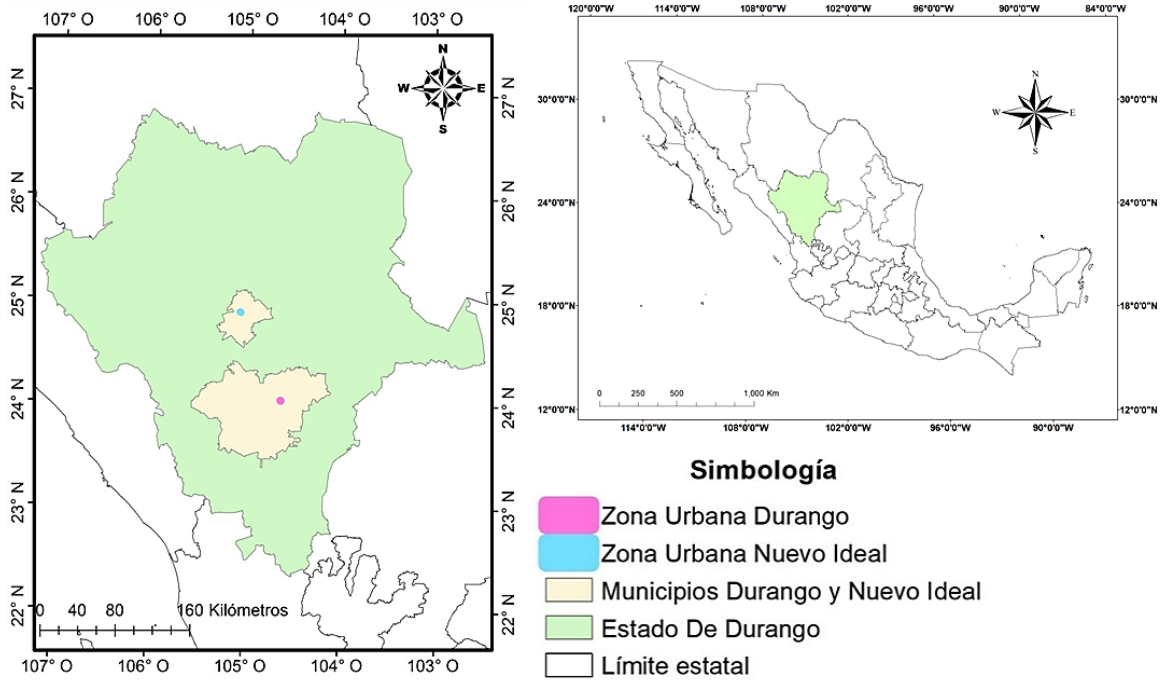


Figura 1. Localización del estado de Durango (INEGI, 1990; INEGI, 2024; INEGI, 2024).

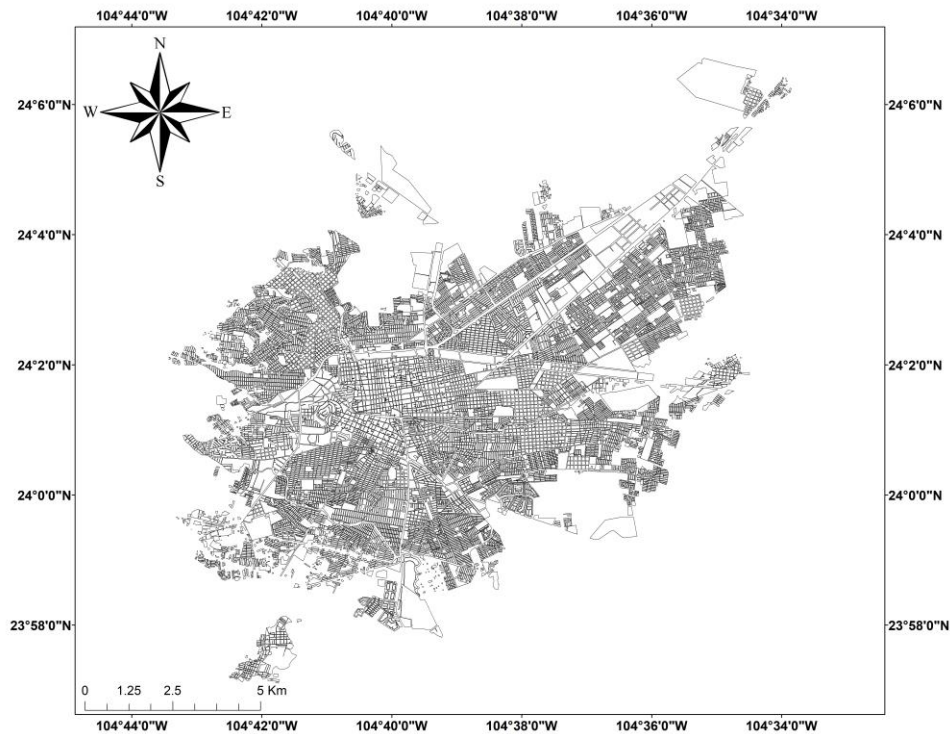


Figura 2. Mapa de manzanas urbanas de la Ciudad De Durango (INEGI 2019).

### 6.1.2 Municipio de Nuevo Ideal

La ciudad de Nuevo Ideal se localiza en el municipio con el mismo nombre, y es la cabecera municipal del mismo, se encuentra a 122 km de distancia de la ciudad De Durango. Geográficamente se encuentra en el meridiano  $105^{\circ}4'22''$  de longitud Oeste y el paralelo  $24^{\circ}53'15''$  de latitud Norte, y posee una altitud promedio de 1995 m sobre el nivel del mar (figura 3). El clima es semiseco templado con una temperatura media anual de  $15^{\circ} \text{C}$  (INEGI, 2021; Gobierno del Estado de Durango, s. f.)

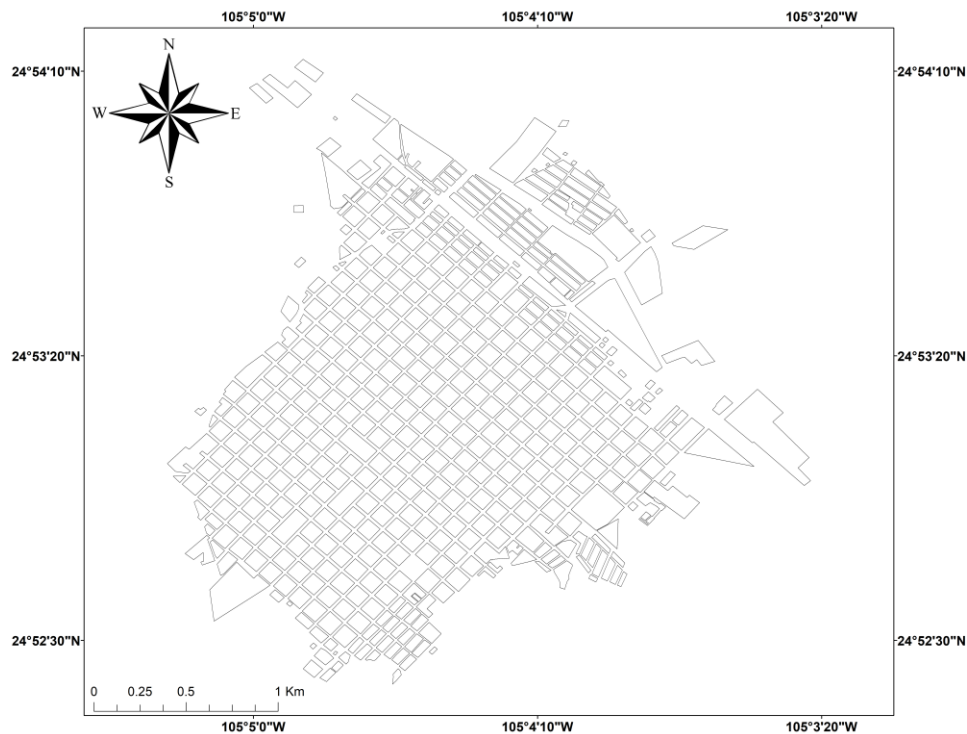


Figura 3. Mapa de manzanas urbanas de la Ciudad de Nuevo Ideal (INEGI 2019).

### 6.2 Obtención del material biológico

Se seleccionaron 12 sitios de colecta de la especie de *P. americana*, y se colectaron un total de 511 individuos (figura 4, Cuadro 1); así mismo, se tomaron otros

31 individuos de quinta generación de una cría estandarizada, los cuales se utilizaron como grupo testigo.

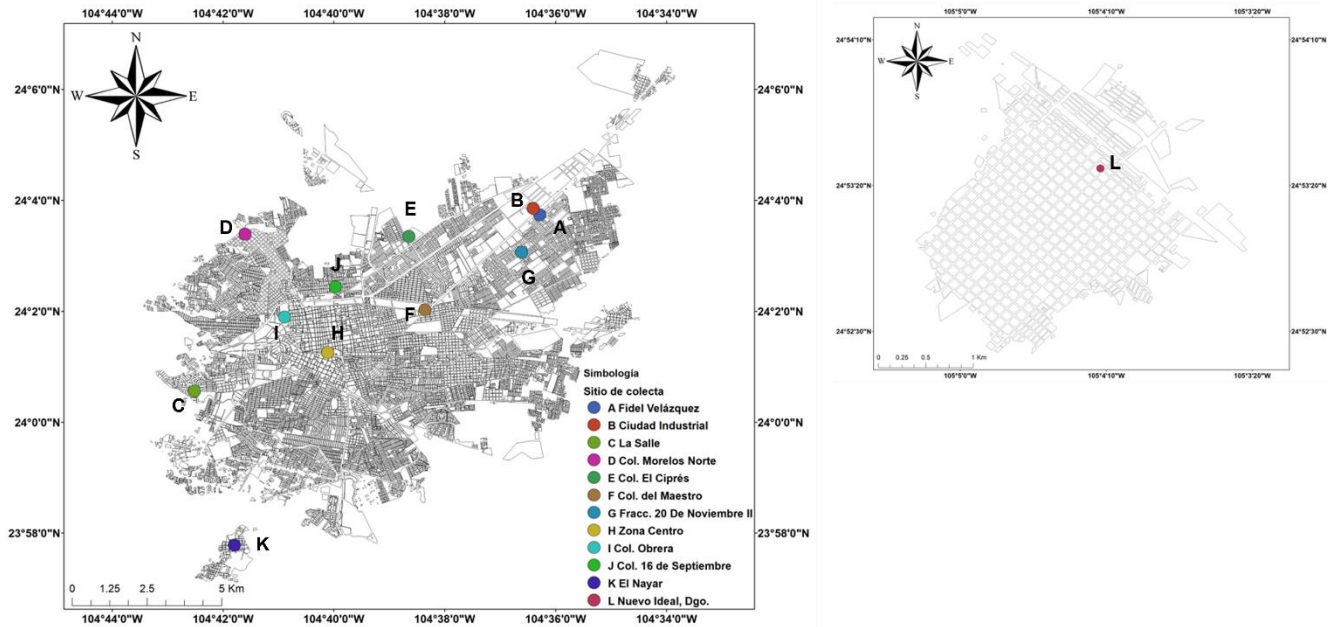


Figura 4. Mapa de los sitios de colecta de *Periplaneta americana*.

Las cucarachas fueron colectadas en los meses de junio, agosto y septiembre de 2024, así como en marzo y abril de 2025 (Cuadro1). Los insectos se colectaron en alcantarillas, registros, árboles, tocones, grietas en banquetas, asfalto y jardines. Se colectaron en forma directa, por redes o con un sebo de yogurt de fresa, al menos 40 individuos adultos (20 machos y 20 hembras) por cada localidad. Posteriormente, los individuos colectados se sacrificaron por refrigeración y se pasaron a frascos etiquetados individualmente con alcohol al 70% para la posterior toma de medidas.

Cuadro 1. Sitios de colecta, rangos de temperatura y precipitación (CONAGUA. s.f.)

<i>Condiciones de temperatura y precipitación promedio mensual por sitio</i>		
Sitio	temperatura (°C)	precipitación (mm)
Testigo (Cría)	18 – 38	0
Fidel Velázquez	8.2- 32.8	0-38.32
Ciudad Industrial	14.9 – 32.8	38.32-42.02
Av. La Salle	8.2 – 31.2	0-42.02
Col. Morelos Norte	8.2 – 31.2	0-42.03
Col. El Ciprés	16.8 – 36.4	54.23
Col. Del Maestro	8.2 – 32.4	0-42.02
Fracc. 20 De Noviembre II	10.2 – 32.4	0-54.23
Zona Centro	8.2 – 32.8	0-42.02
Col. Obrera	14.9 – 31.2	0-42.02
Col. 16 de Septiembre	14.9 – 31.2	0-42.02
El Nayar	8.2 – 31.2	0-42.02
Nuevo Ideal, Dgo.	8.2 – 32.4	0-5

Los sitios de colecta se seleccionaron con base en puntos que se consideraron de importancia humana como escuelas, expendios de comida, centros de salud, terrenos baldíos, viviendas y diversos tipos de negocios (Cuadro 2).

Cuadro 2. Diversidad de tipos de infraestructura aledaña identificada en los sitios de recolección.

<i>Elementos de caracterización</i>	
Artesanías	Industrias
Bancos	Jardines y parques
Canchas deportivas	Laboratorios de análisis clínicos
Casas fúnebres	Lavandería
Casa habitación	Mueblerías
Central de camiones	Negocios de comida
Cervecerías	Notarías públicas u oficialías
Consultorios médicos o dentales	Plazas comerciales
Embotelladoras	Puestos o edificios abandonados
Escuelas	Salones de eventos
Estacionamientos	Supermercados, fruterías, carnicerías, tiendas de conveniencia, misceláneas
Estéticas y tiendas de belleza	Talleres y desponchadoras
Facultad de enfermería y obstetricia	Terrenos baldíos
Ferreterías	Tiendas de artículos de limpieza para el hogar
Florerías	Tiendas departamentales
Gasolineras	Tiendas de pintura
Hospitales y farmacias	Universidades
Hoteles	Veterinarias
Iglesias	Zona residencial o torre de departamentos

Los 511 individuos de los 12 sitios de colecta y al grupo testigo compuesto por solo 31 individuos fueron examinados y medidos. Se tomaron 21 variables en machos y 19 en hembras (Cuadro 3). Esta diferencia se debe a que los machos poseen dos caracteres morfológicos que las hembras no poseen. Las variables medidas se dividieron en variables dorsales, de cabeza y ventrales (figuras 6, 7 y 8).

Cuadro 3. Variables medidas a los individuos colectados.

<b>No. Variable</b>	<b>Estructura morfológica</b>	<b>Machos</b>	<b>Hembras</b>
1	Largo pronoto (LP)	√	√
2	Ancho pronoto (AP)	√	√
3	Largo tegmina derecha (LTD)	√	√
4	Largo tegmina izquierda (LTI)	√	√
5	Ancho tegmina derecha (ATD)	√	√
6	Ancho tegmina izquierda (ATI)	√	√
7	Largo cabeza (LC)	√	√
8	Ancho cabeza (AC)	√	√
9	Distancia entre ojos (DO)	√	√
10	Distancia entre ocelos (DOC)	√	√
11	Ancho máximo de abdomen (AMA)	√	√
12	Largo cerco izquierdo (LCI)	√	√
13	Largo cerco derecho (LCD)	√	√
14	Largo primera pata derecha (LPPD)	√	√
15	Largo primera pata izquierda (LPPI)	√	√
16	Largo segunda pata derecha (LSPD)	√	√
17	Largo segunda pata izquierda (LSPI)	√	√
18	Largo tercera pata derecha (LTPD)	√	√
19	Largo tercera pata izquierda (LTPI)	√	√
20	Largo estilete derecho (LED)	√	×
21	Largo estilete izquierdo (LEI)	√	×

### Estructuras morfológicas

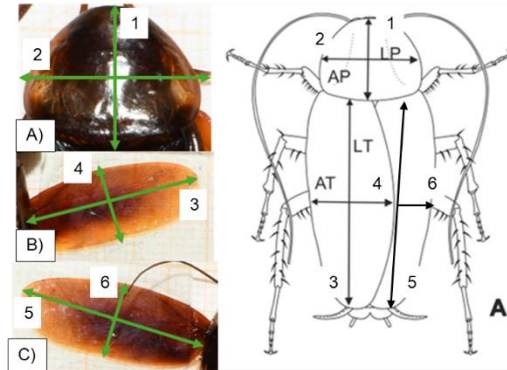


Figura 5. Estructuras morfológicas dorsales: A) Largo de pronoto y Ancho de pronoto B) Largo tegmina derecha y ancho de tegmina derecha, C) largo de tegmina izquierda y ancho de tegmina izquierda. Esquema hecho por Núñez-Bazán, 2024.

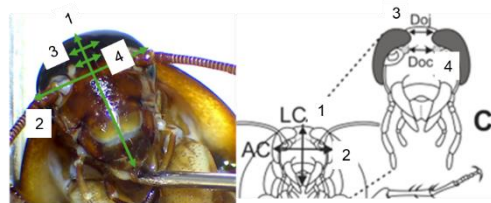


Figura 6. Estructuras morfológicas de la cabeza: largo de cabeza, ancho de cabeza, distancia entre ojos y distancia entre ocelos. Esquema hecho por Núñez-Bazán, 2024.

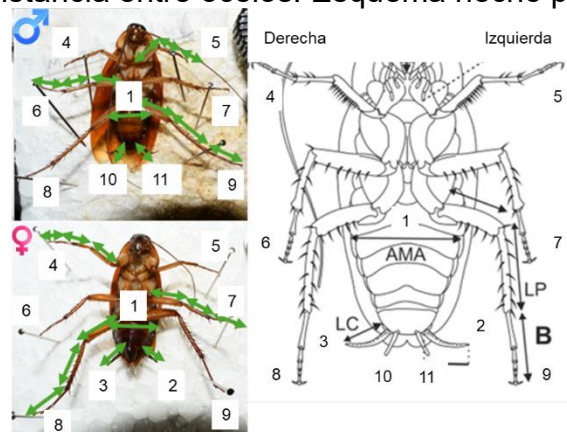


Figura 7. Estructuras morfológicas ventrales: ancho máximo de abdomen, largo de cercos izquierda, largo de cercos derecha, largo de primera pata derecha, largo de primera pata izquierda, largo de segunda pata derecha, largo de segunda pata izquierda, largo de tercera pata derecha, largo de tercera pata izquierda, largo de estiletes derecha y largo de estiletes izquierda solo en machos. Esquema hecho por Núñez-Bazán, 2024.

### **6.2.1 Toma de fotografías del material biológico**

Se siguió la técnica de fotografiado de las estructuras morfológicas de cada individuo de acuerdo con Núñez-Bazán & Dennis en 2017. Se utilizó una cámara profesional Nikon con una lente Nikon Af-p Dx Nikkor 18-55 mm, la cual se fijó en un trípode a una altura de 50 mm del objetivo para disminuir al mínimo el porcentaje de error, y estandarizar la toma de fotos para todos los individuos. En el caso de las medidas de ancho y largo de cabeza y distancia de ojos y ocelos, se utilizó un estereomicroscopio con cámara Euromex a 10 cm de distancia, de igual manera, para disminuir al mínimo el porcentaje de error y estandarizar la toma de fotos para todos los individuos.

Para las técnicas de morfometría lineal se tomaron fotografías para realizar las mediciones de las variables dorsales y ventrales. Las fotografías se trabajaron en el software Tpsdig264, para generar las mediciones lineales a partir de las fotos. Como escala de referencia se usó la escala de un vernier, con la cual se calculó la distancia en píxeles de 1 mm.

En cuanto a la captura para análisis de morfometría geométrica, se tomaron fotografías de la estructura morfológica del pronoto, posteriormente mediante el software R (versión 4.3.3.) se trataron los datos para obtener el contorno y realizar el análisis estadístico correspondiente.

## **6.3 Análisis estadístico**

### **6.3.1 Análisis estadístico de morfometría lineal**

Las ANOVAS se obtuvieron por sexo y para cada una de las variables. Se realizó un análisis de *post-hoc* de Tukey para identificar los sitios que presentan diferencias significativas en tamaño. Los datos generados de las diversas estructuras morfológicas se analizaron en el software R a través de técnicas de análisis multivariado como análisis de clúster, componentes principales utilizando el método de Ward y un análisis de

correspondencia para identificar si existe una relación entre las variables y las localidades de colecta. Otros softwares utilizados en el manejo de los datos, fueron los de Past Ver. 5.2.1 y Statistica Ver. 7.

### **6.3.2 Análisis estadístico de morfometría geométrica**

Para la obtención de datos de morfometría geométrica se utilizó la estructura morfológica del pronoto, porque fue la estructura menos canibalizada entre los individuos de cada población. Las fotografías de los pronotos fueron recortadas y estandarizadas en tamaño para disminuir el porcentaje de error. Posteriormente, las fotos se sometieron a un proceso de binarización para su correcto análisis por medio de R Versión 4.3.3.

Debido a que el pronoto es una estructura con un contorno cerrado, se utilizaron los descriptores elípticos de Fourier a través del programa R Versión 4.3.3. Para lo cual se utilizó el paquete Momocs, útil en la descripción de contornos cerrados. Se utilizaron 20 armónicos debido a que, al incrementar el número de armónicos, se describe con mayor detalle la forma de la estructura. Seguido se realizó un análisis de componentes principales para reducir la complejidad de los datos y los puntajes obtenidos se sometieron a un análisis de Kruskal-Wallis y un análisis *post-hoc* de Dunn, con la finalidad de identificar las poblaciones que presentan diferencias significativas en la forma del pronoto.

### **6.3.3 Aplicación de Sistemas de Información Geográfica**

Para la generación de los distintos mapas, se utilizaron las capas vectoriales de división política estatal 2023, división política municipal 2023 y manzanas por localidad 2019, las cuales fueron descargadas de la cartografía en línea de CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), s.f.). Los datos recopilados sobre las características urbanas de cada localidad se analizaron en el software de ArcGIS Ver. 10.6.1 mediante un análisis de correspondencias.

## VII. RESULTADOS

### 7.1 Caracteres de dimorfismo sexual

Se obtuvieron diferencias significativas entre sexos mediante el análisis de varianza de las variables de morfometría lineal: largo de pronoto, ancho de pronoto, largo de tegmina izquierda y derecha, ancho de tegmina izquierda y derecha, largo y ancho de cabeza, distancia entre ojos, distancia entre ocelos y ancho máximo de abdomen (figuras 8 y 9). Las diferencias fueron más evidentes en el largo de ambas tegminas, largo de cabeza, distancia entre ojos y distancia entre ocelos. Por lo tanto, este análisis confirma la presencia de dimorfismo sexual.

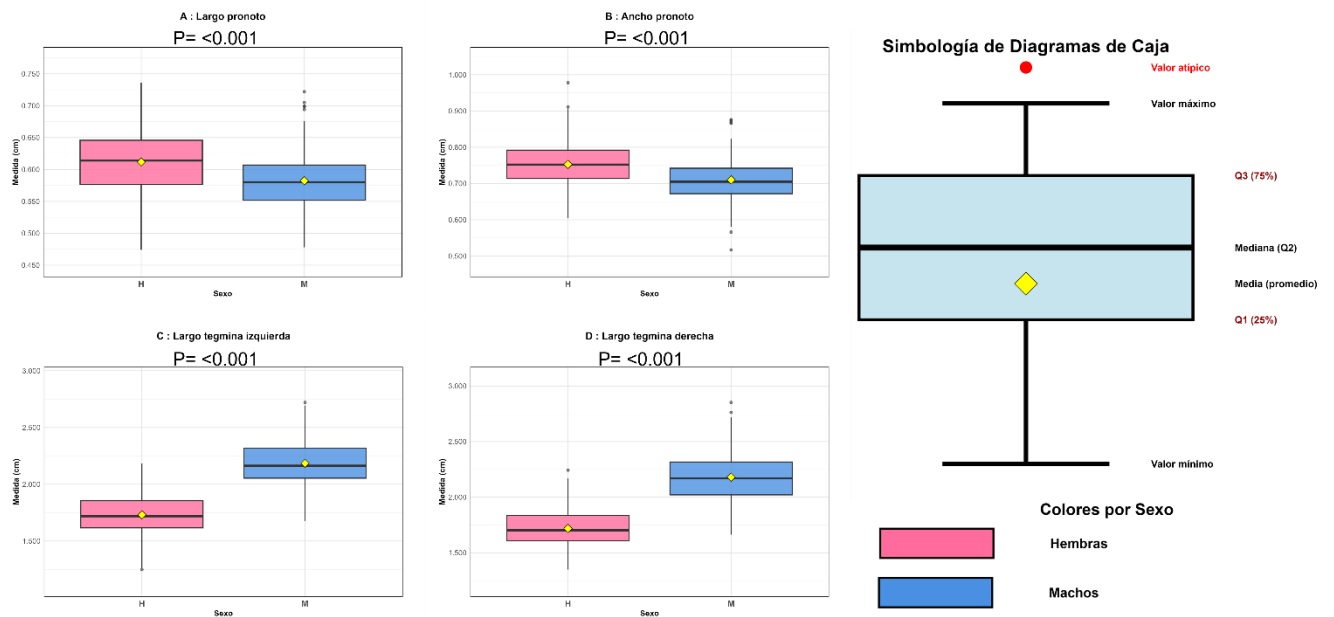


Figura 8. Comparación entre sexos mediante análisis de varianza de variables de largo de pronoto, ancho de pronoto, largo de tegmina izquierda y largo de tegmina derecha.

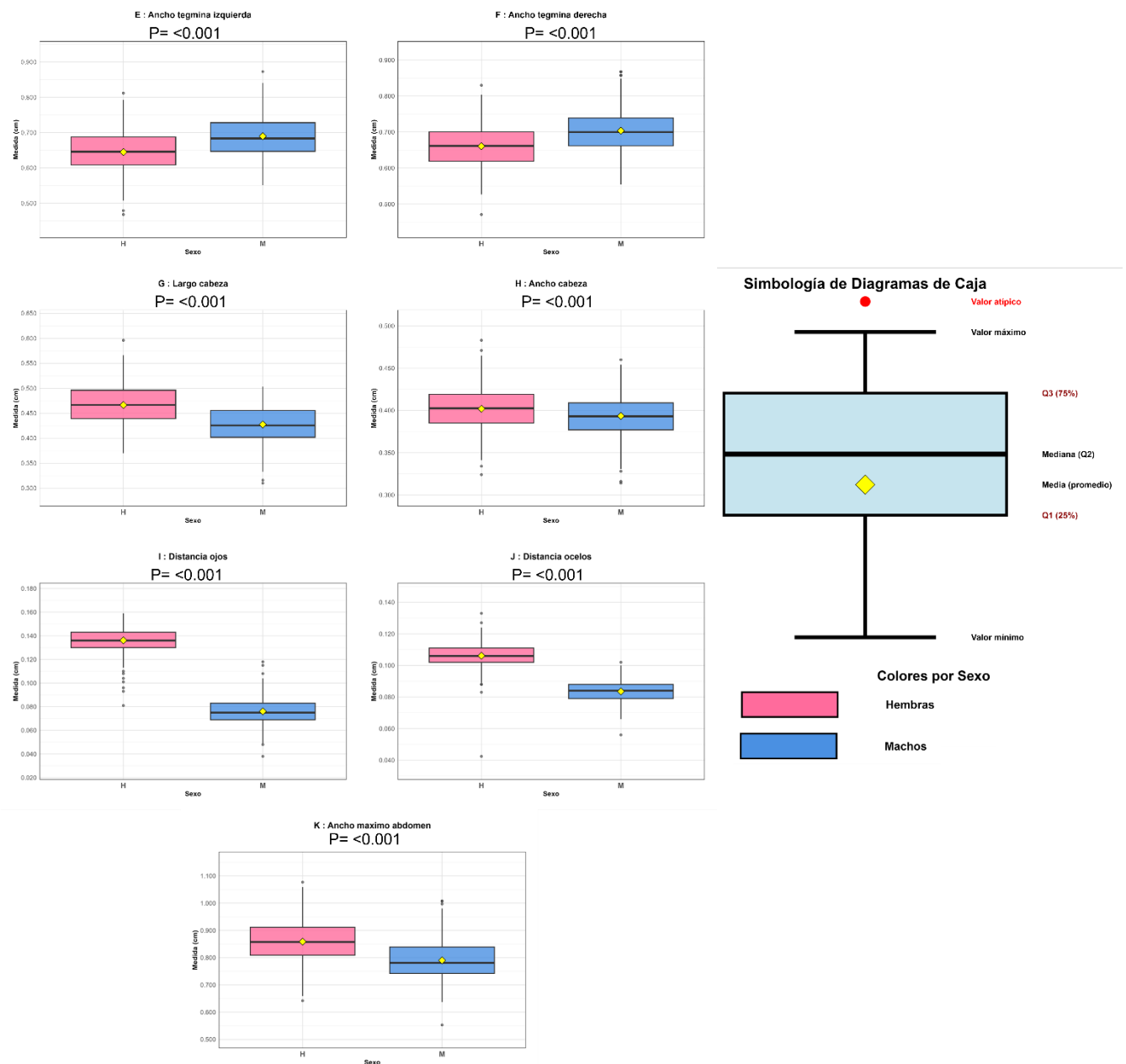


Figura 9. Comparación entre sexos mediante análisis de varianza de variables de ancho de tegmina izquierda, ancho de tegmina derecha, largo de cabeza, ancho de cabeza, distancia entre ojos, distancia entre ocelos, y ancho máximo de abdomen.

## 7.2 Análisis de agrupación de las medidas lineales para hembras

En el análisis de clasificación se utilizaron distancias euclidianas y el método de Ward, para separar los sitios y agruparlos con base en su similitud de varianza. Se utilizaron las variables morfométricas lineales. Este análisis agrupó a los sitios con patrones morfométricos similares, minimizando las diferencias internas dentro de cada grupo y maximizando las diferencias entre grupos. Esto indica que los sitios que se encuentran en el mismo grupo poseen características morfológicas similares (figura 10).

El primer grupo lo forman los sitios de El Nayar, Col. El Ciprés y la Col. Obrera. Una característica en común que comparten los sitios de las colonias El Ciprés y la Obrera es la presencia de hospitales en su entorno. Y otra característica que comparten los tres sitios son la presencia de farmacias, negocios de alimentos preparados y jardines. Además, junto con estos sitios se agrupó la población testigo, lo que indica que existe mayor disponibilidad de alimento para las poblaciones de hembras en estos tres sitios de colecta en comparación con los sitios restantes.

El segundo grupo está compuesto por los sitios del Fraccionamiento 20 de Noviembre II y la Ciudad Industrial. Las características en común de estos sitios son las fumigaciones mensuales con insecticidas químicos y los desechos particulares que se generan en los laboratorios usados para sus diversas actividades.

El tercer grupo está conformado por los sitios de Zona Centro, Colonia del Maestro (Central de Autobuses), La Salle y la cabecera municipal de Nuevo Ideal. La característica que predomina en estos sitios es la presencia de negocios de alimentos y de residencias privadas, aunque también se tiene un aumento del movimiento vehicular comparado con las otras zonas de recolección.

Finalmente, el último grupo lo forman los sitios de las Colonias Morelos Norte, Fidel Velázquez y 16 de Septiembre, los cuales tienen como característica en común, ser sitios casi exclusivamente destinados a ser áreas residenciales.

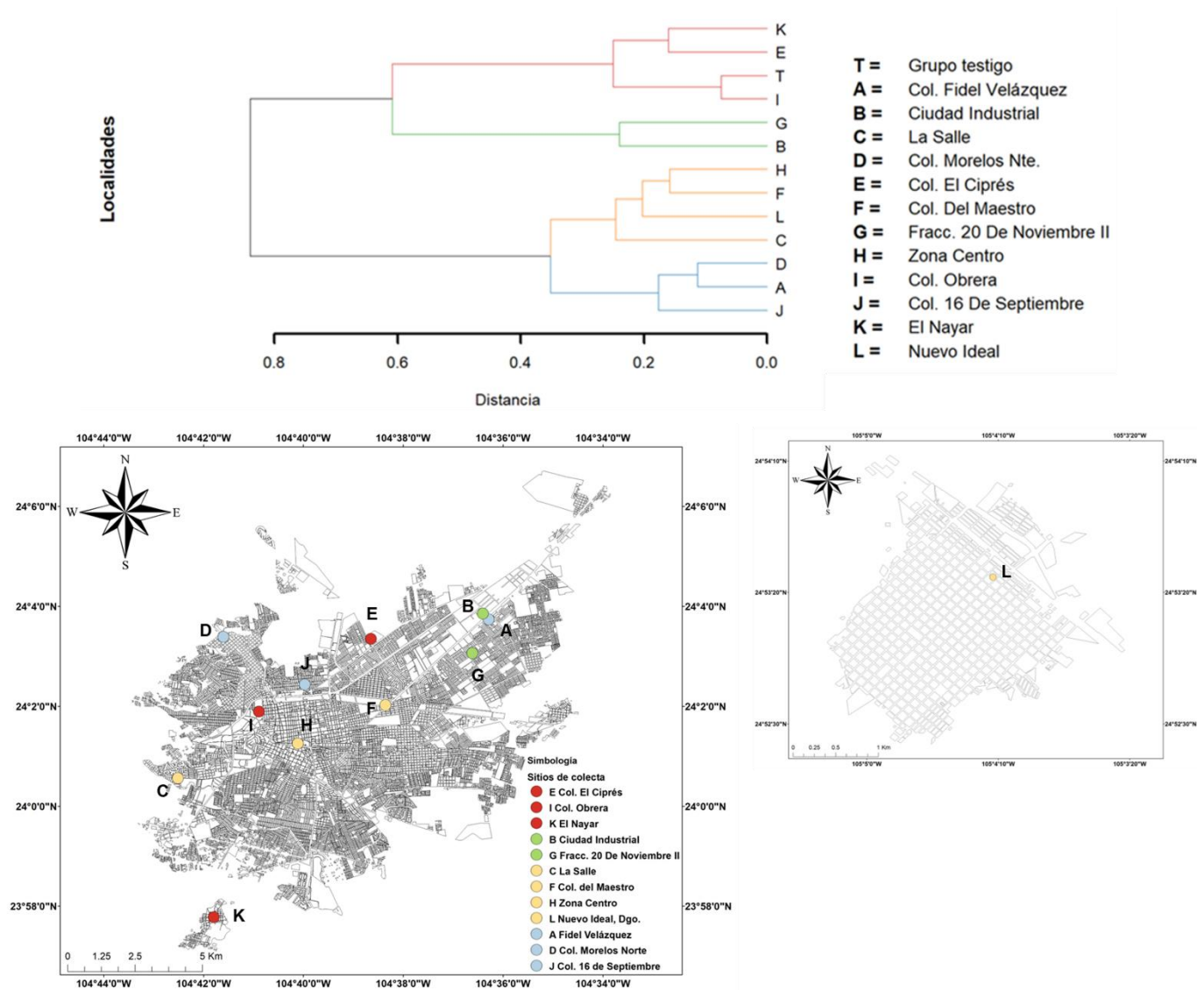


Figura 10. Dendrograma de hembras por localidad con base en morfometría lineal por el método de Ward y localización geográfica de los grupos de Ward.

### **7.3 Análisis de agrupación de las medidas lineales para machos**

De la misma manera que para hembras, se realizó el análisis de agrupamiento por el método de Ward con las variables morfométricas lineales para los machos (figura 11)

El primer grupo lo conformaron los sitios del grupo testigo, Colonia 16 de septiembre, El Nayar y La Salle. La característica en común de los primeros tres sitios es la disponibilidad y abundancia de alimentos por la presencia de negocios

El segundo grupo aglutina los sitios del Fraccionamiento 20 De Noviembre II, Colonia El Ciprés y la Ciudad Industrial. La característica en común que comparten estos tres sitios son las fumigaciones regulares, y los desechos químicos que producen. Además, es importante destacar la cercanía que hay entre esos sitios, ya que poseen una distancia moderada entre ellos.

El tercer grupo está conformado por los sitios de Colonia Morelos Norte, Colonia Obrera y la Zona Centro. La característica en común que comparten estos tres sitios de colecta es la presencia de casas habitación. Cabe señalar que tanto la Zona Centro, como la Colonia Obrera, poseen mayor tránsito y sitios de actividades humanas diferentes. Esta similitud podría deberse a la distancia moderada que se encuentra entre la Col. Morelos Norte con los sitios de la Zona Centro y la Colonia Obrera.

El último grupo está formado por los sitios de Nuevo Ideal, Colonia del Maestro y el Fraccionamiento Fidel Velázquez. En este caso la característica en común de dos de los sitios es la presencia de negocios pequeños tanto en Nuevo Ideal, como en la Colonia del Maestro (Central de Autobuses). Mientras que, en el caso del sitio del Fraccionamiento Fidel Velázquez, esta es un área residencial, aunque en la periferia del fraccionamiento, se tiene la presencia de negocios de alimentos de diversos giros.

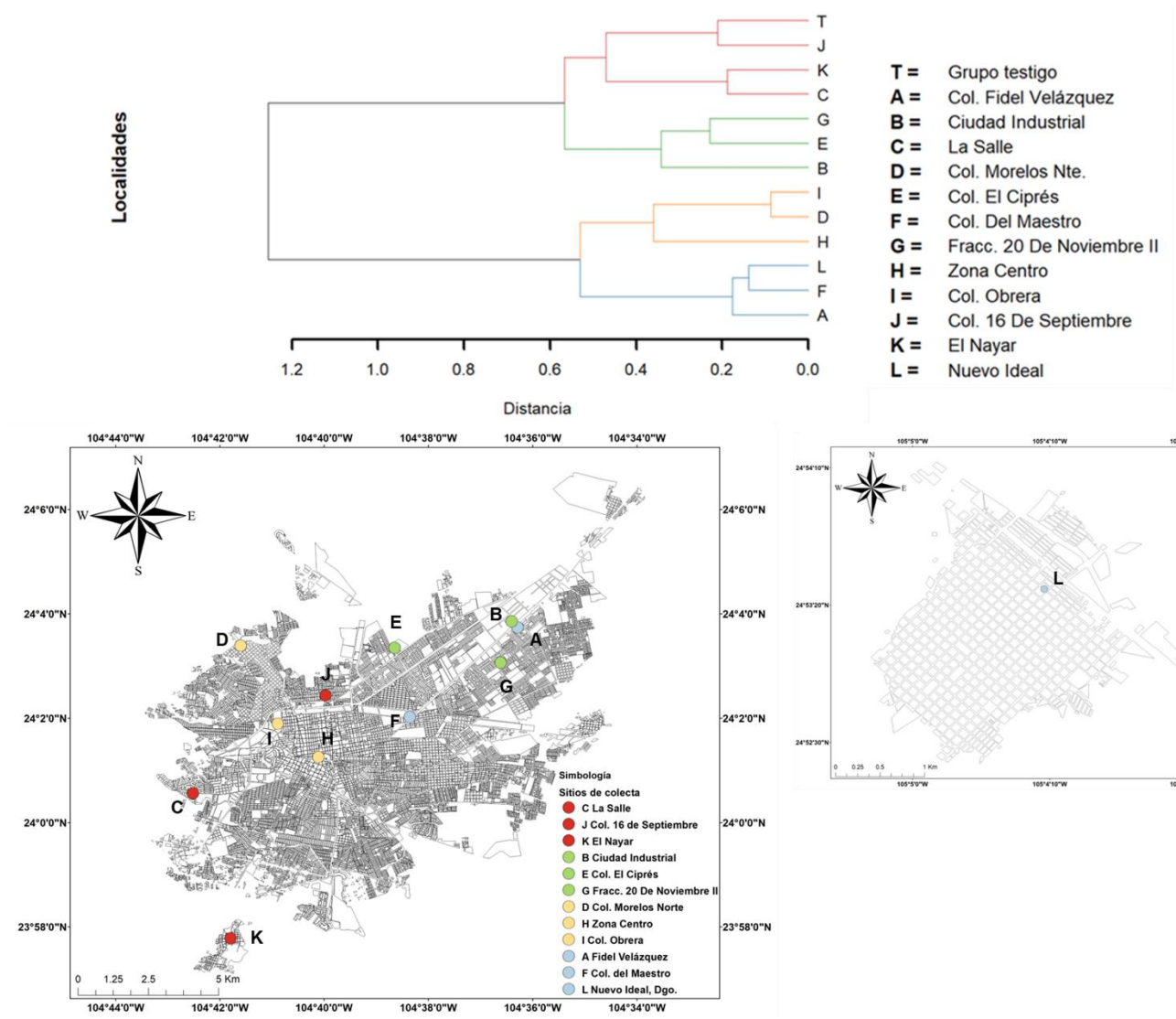


Figura 11. Dendrograma de machos por localidad con base en morfometría lineal por el método de Ward y localización geográfica de los grupos de Ward.

### 7.4 Análisis de componentes principales para datos de las hembras

En esta sección se muestra el acomodo de los datos y sus promedios en dos dimensiones. Los sitios más cercanos entre sí poseen mayores similitudes, mientras que los sitios más alejados poseen diferencias con el resto de los sitios. Las mayores similitudes se presentaron en los sitios del Fraccionamiento 20 de Noviembre II, en El Nayar, Fraccionamiento Fidel Velázquez y la cabecera municipal del Municipio de Nuevo Ideal, Colonia Morelos Norte y la Zona Centro. Estos resultados coinciden con los

supergrupos formados; mientras que los sitios con mayores diferencias fueron los del grupo testigo, la Ciudad industrial, la Colonia Del Maestro y la cabecera municipal de Nuevo Ideal (figura 12). Mientras que los datos al centro indican datos más típicos o promedio, en este caso el sitio de la Colonia 16 de Septiembre, que registró las características menos extremas.

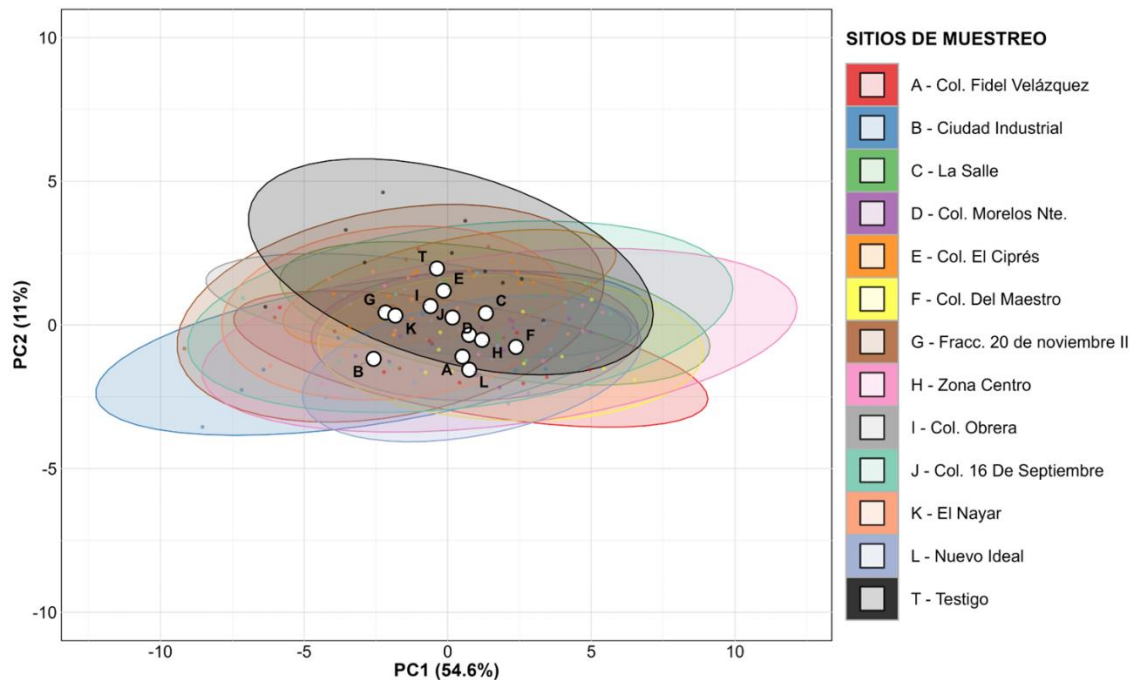


Figura 12. Análisis de componentes principales sobre las variables de morfometría lineal: nube de datos para hembras.

#### 7.4.1 Cálculo de contribución de las variables para hembras

En el cálculo de contribución de las variables, los caracteres: ancho de tegmina izquierda, ancho de tegmina derecha, largo de tegmina izquierda, largo de tegmina derecha y largo del pronoto fueron las variables que más contribuyeron a este tipo de análisis, lo que indica una mayor variación en estos caracteres morfológicos (figura 13).

En la figura 13 se observa el grado de relación de las variables, en donde los caracteres altamente relacionados fueron el largo de tegmina izquierda, el largo de tegmina derecha, el ancho de tegmina izquierda, el ancho de tegmina derecha y el largo del pronoto; mientras que los caracteres más débilmente relacionados con el resto de los caracteres morfológicos, fue la distancia entre ojos. Sin embargo, por la posición de los vectores en los cuadrantes 2 y 4 es posible observar que todas las variables tienen una relación moderada entre ellas.

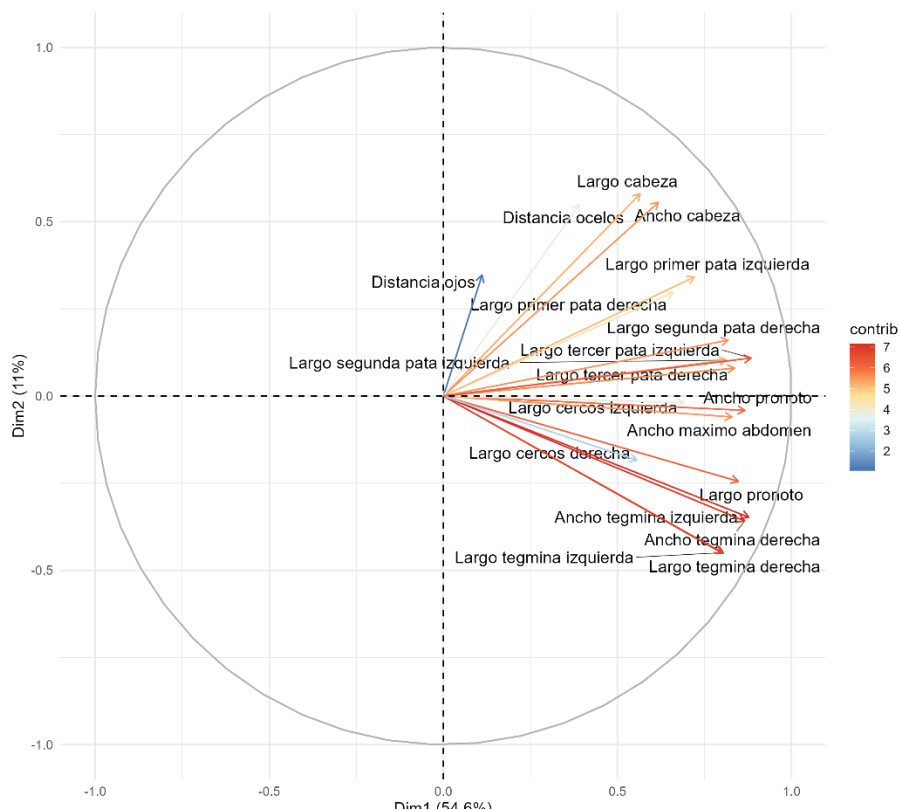


Figura 13. Contribución y relación de variables de morfometría lineal en el análisis de componentes principales de hembras de *Periplaneta americana*.

## 7.5 Análisis de componentes principales para datos de los machos

Las mayores similitudes se encontraron en los sitios de la Colonia Obrera, Colonia Morelos Norte y la Zona Centro. Otro grupo contiene a el Fraccionamiento Fidel Velázquez, la Colonia del Maestro; y el último grupo se compone de El Nayar, La Salle, Fraccionamiento 20 de Noviembre II y la Colonia El Ciprés (figura 14).

Mientras que los sitios con mayores diferencias fueron los del grupo testigo, El Nayar, Colonia El Ciprés, Zona Centro, Fraccionamiento Fidel Velázquez y la Colonia del Maestro.

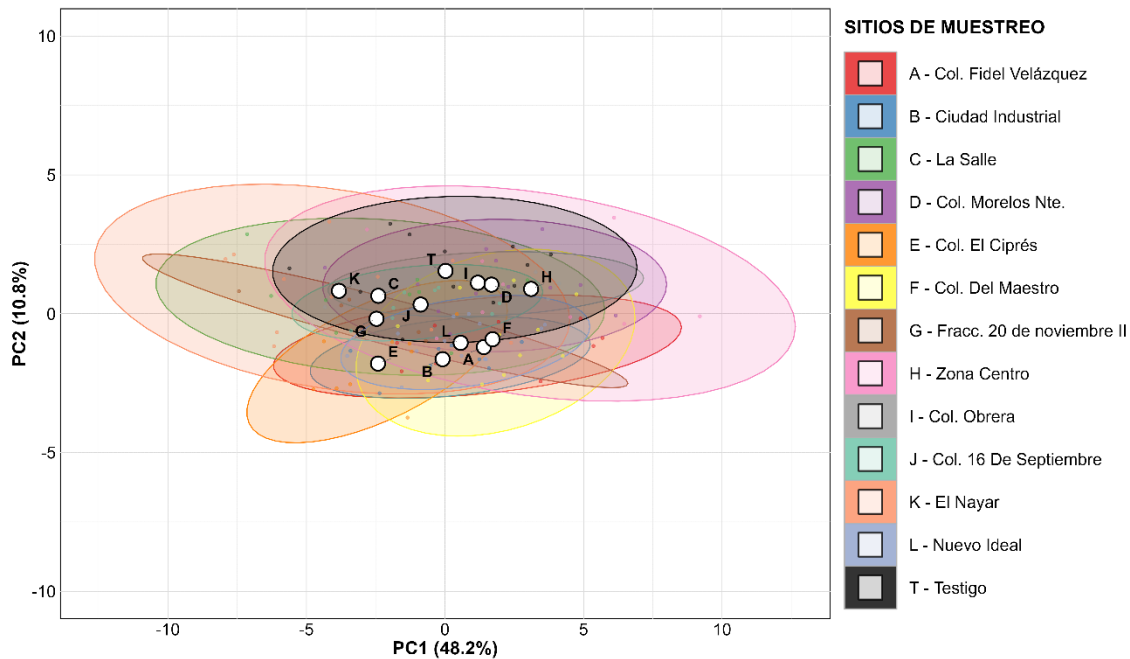


Figura 14. Análisis de componentes principales sobre las variables de morfometría lineal: nube de datos para machos.

### 7.5.1 Cálculo de contribución de las variables para machos

En este análisis los caracteres: ancho de tegmina izquierda, ancho de tegmina derecha, largo de tegmina izquierda, largo de tegmina derecha, ancho de pronoto, largo del pronoto y ancho máximo de abdomen fueron las variables que más contribuyeron al análisis, lo que indica que existe mayor variación en estos caracteres morfológicos, a diferencia de los caracteres de distancia entre ojos, largo de estiletes izquierdos y derechos, distancia entre ocelos, ancho y largo de cabeza que fueron las variables con menor contribución (figura 15).

La figura 15 muestra que los caracteres del largo de tegmina izquierda, el largo de tegmina derecha, el ancho de tegmina izquierda, el ancho de tegmina derecha y el largo del pronoto están altamente relacionados, mientras que, caracteres como la distancia entre ojos esta débilmente relacionada con el resto de los caracteres morfológicos. Sin embargo, por la posición de los vectores en los cuadrantes 2 y 4 es posible observar que todas las variables a excepción de la distancia entre ojos tienen una relación moderada entre ellas.

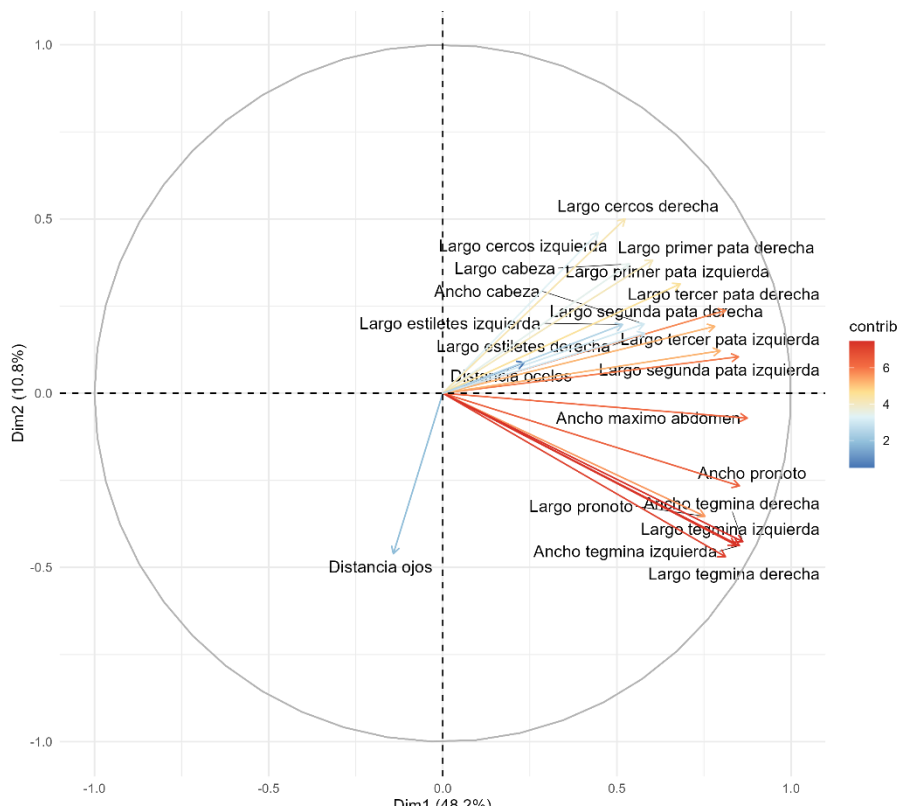


Figura 15. Contribución y relación de variables de morfometría lineal en el análisis de componentes principales de machos de *Periplaneta americana*.

## 7.6 ANOVA y Análisis de correspondencias por sexo y sitio

También de manera individual se analizaron las variables separadas por sexo y sitio, resaltando los sitios de Nuevo Ideal y el grupo testigo. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba *post-hoc* de Tukey para comparar la diferenciación entre grupos.

Del mismo modo, con los promedios de las variables lineales se realizó un análisis de correspondencias para representar gráficamente la relación de las variables lineales con los sitios de colecta.

### **7.6.1 Análisis de varianza para hembras**

Para la variable de largo de pronoto, ancho de pronoto, largo de tegmina derecha y largo de tegmina izquierda se encontró que el sitio El Nayar, posee la mayor longitud de estas variables. Mientras que el sitio de la Colonia del Maestro posee la menor longitud de pronoto y ancho de pronoto. Por otro lado, Las poblaciones de La Salle y Ciudad industrial fueron los sitios con menor longitud de tegminas (figura 16)

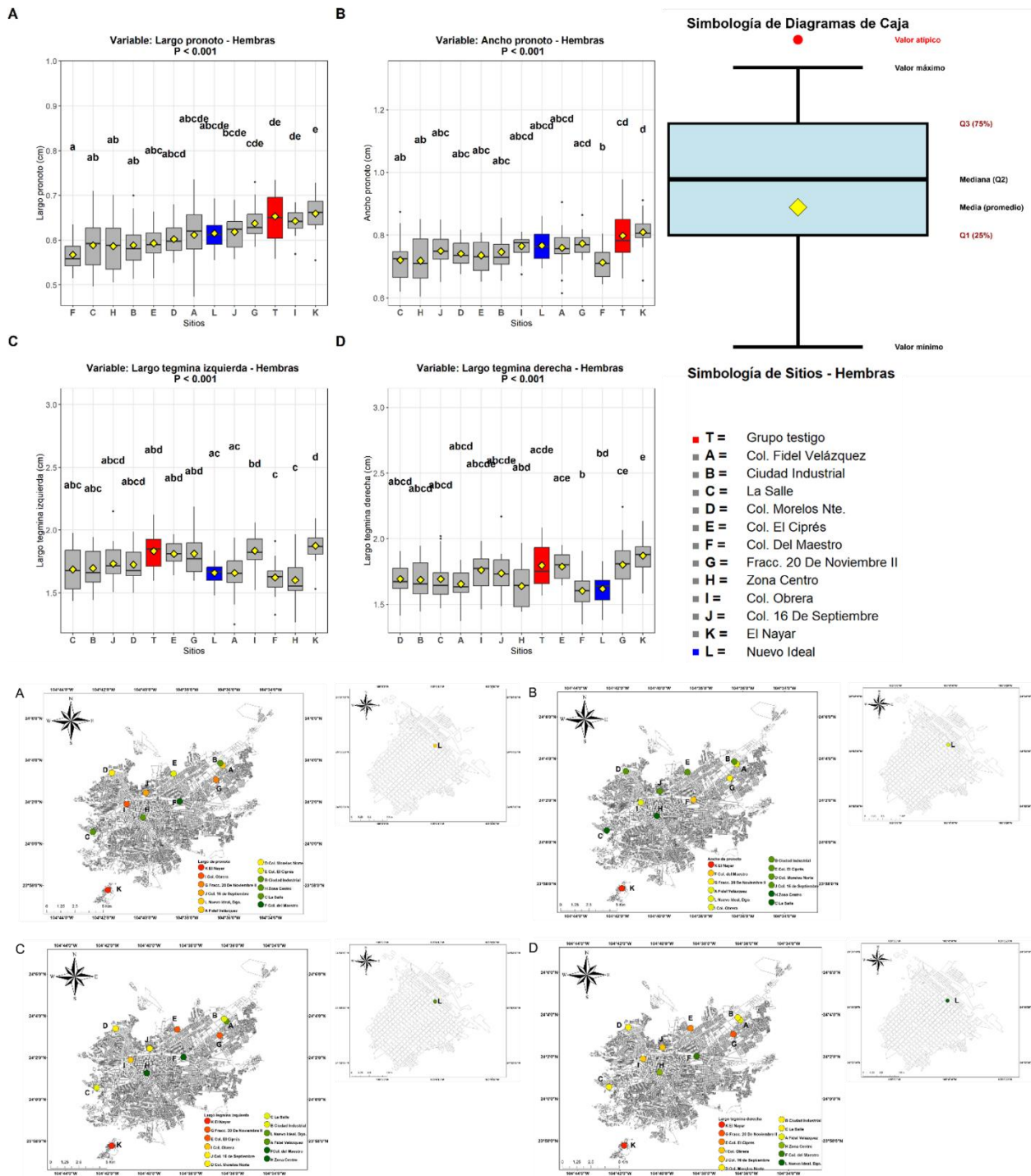


Figura 16. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de hembras: largo de pronoto, ancho de pronoto, largo de tegminas izquierda y largo de tegminas derechas y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.

Para las variables de ancho de tegminas nuevamente en el sitio de El Nayar se encontraron los insectos de mayor tamaño. De igual forma para ambas variables de ancho de tegmina en el sitio de la Colonia del Maestro se observó la menor longitud de esta variable. Cabe destacar la relación entre variables del análisis de componentes principales, el cual muestra una relación fuerte entre las variables de largo de tegmina izquierda y derecha, ancho de tegmina izquierda y derecha, largo de pronoto y ancho de pronoto.

De nuevo, en las variables de largo y ancho de cabeza, el sitio de Nuevo Ideal fue el lugar de colecta en donde las cucarachas tuvieron la mayor longitud. En el caso opuesto los sitios de colecta del 16 de Septiembre, la Colonia El Ciprés y el grupo testigo, fueron los sitios con menor longitud en ambas variables (figura 17).

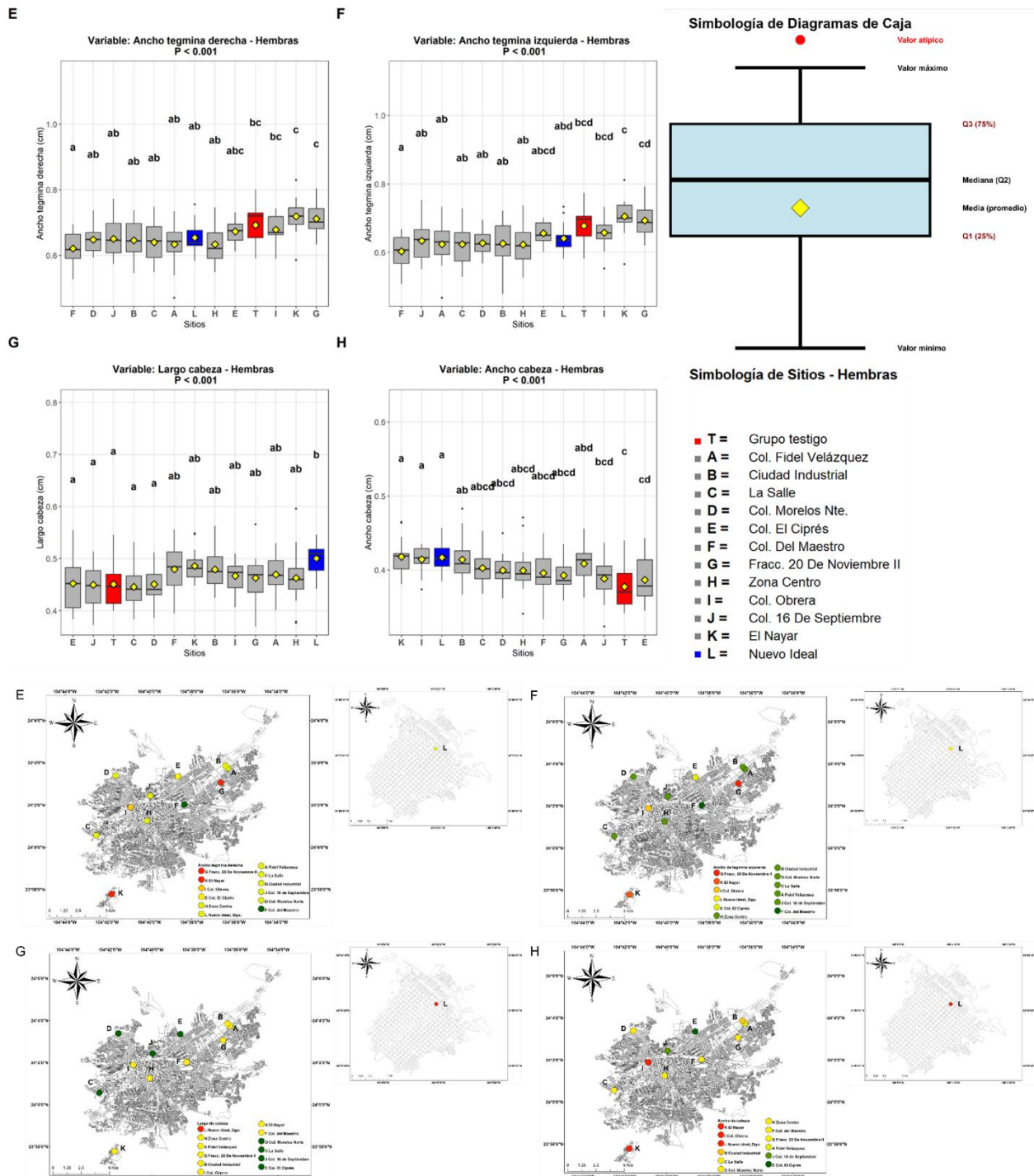


Figura 17. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de hembras: ancho de tegmina derecha, ancho de tegmina izquierda, largo de cabeza y ancho de cabeza y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.

Para la variable de distancia de ojos los sitios con mayor distancia fueron los sitios de Zona Centro y de la Colonia Obrera (cercaos a dos hospitales públicos), (figura 18).

Así mismo, para la variable de distancia entre ocelos la comparación por medio del análisis de varianza no mostró resultados significativos.

En el caso de la variable de ancho máximo de abdomen los sitios con mayor longitud fueron los sitios de Ciudad industrial, Fracc. 20 De Noviembre II y el grupo testigo.

Para las variables de largo cercos izquierda y largo de cercos derecha se puede observar un fenómeno de asimetría, donde los sitios con mayor longitud de largo de cercos izquierda fueron los sitios del Fracc. 20 De Noviembre II y del grupo testigo; mientras que el grupo de la Colonia Morelos Norte fue el sitio con menor longitud de esta variable y en la variable de largo de cercos derecha, el grupo con mayor longitud fue el de la Col. El Ciprés. También los sitios con menor longitud de esta variable fueron los sitios de Nuevo Ideal y de la Colonia del Maestro y Colonia 16 de Septiembre.

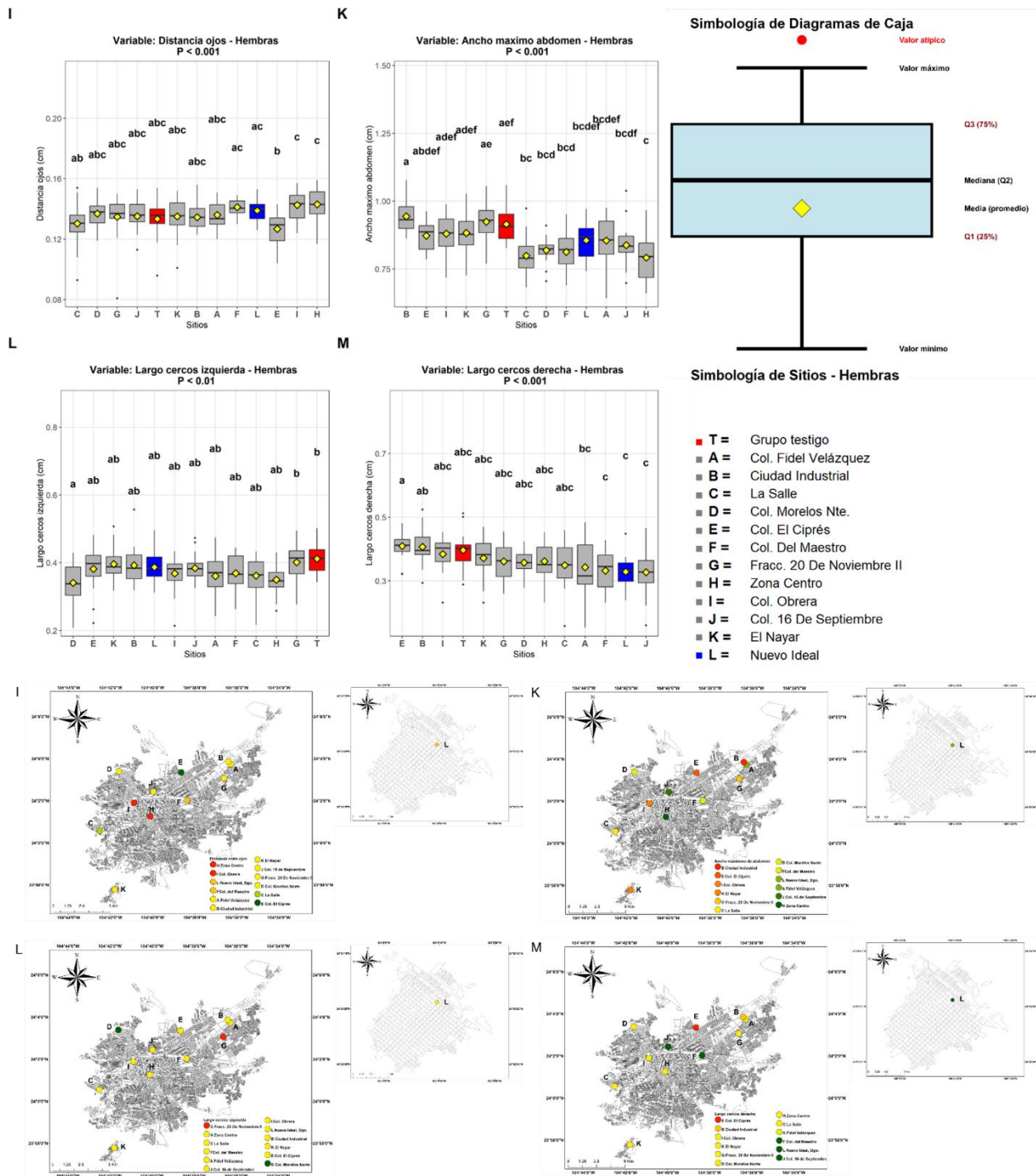


Figura 18. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de hembras: distancia entre ojos, ancho máximo de abdomen, largo de cercos izquierda y largo de cercos derecha y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.

En el caso de las variables de largo de primera pata derecha y largo de primera pata izquierda el sitio de Fracc. 20 De Noviembre II posee mayor longitud de estas variables. Sin embargo, en lo referente a las variables de largo de segunda pata derecha y largo de segunda pata izquierda el sitio con mayor longitud de ambas variables fue el sitio de Ciudad Industrial, Mientras que los sitios con menor longitud de ambas variables vuelven a ser los sitios de La Salle y Zona Centro, junto con el sitio de Col. del Maestro, (figura 19).

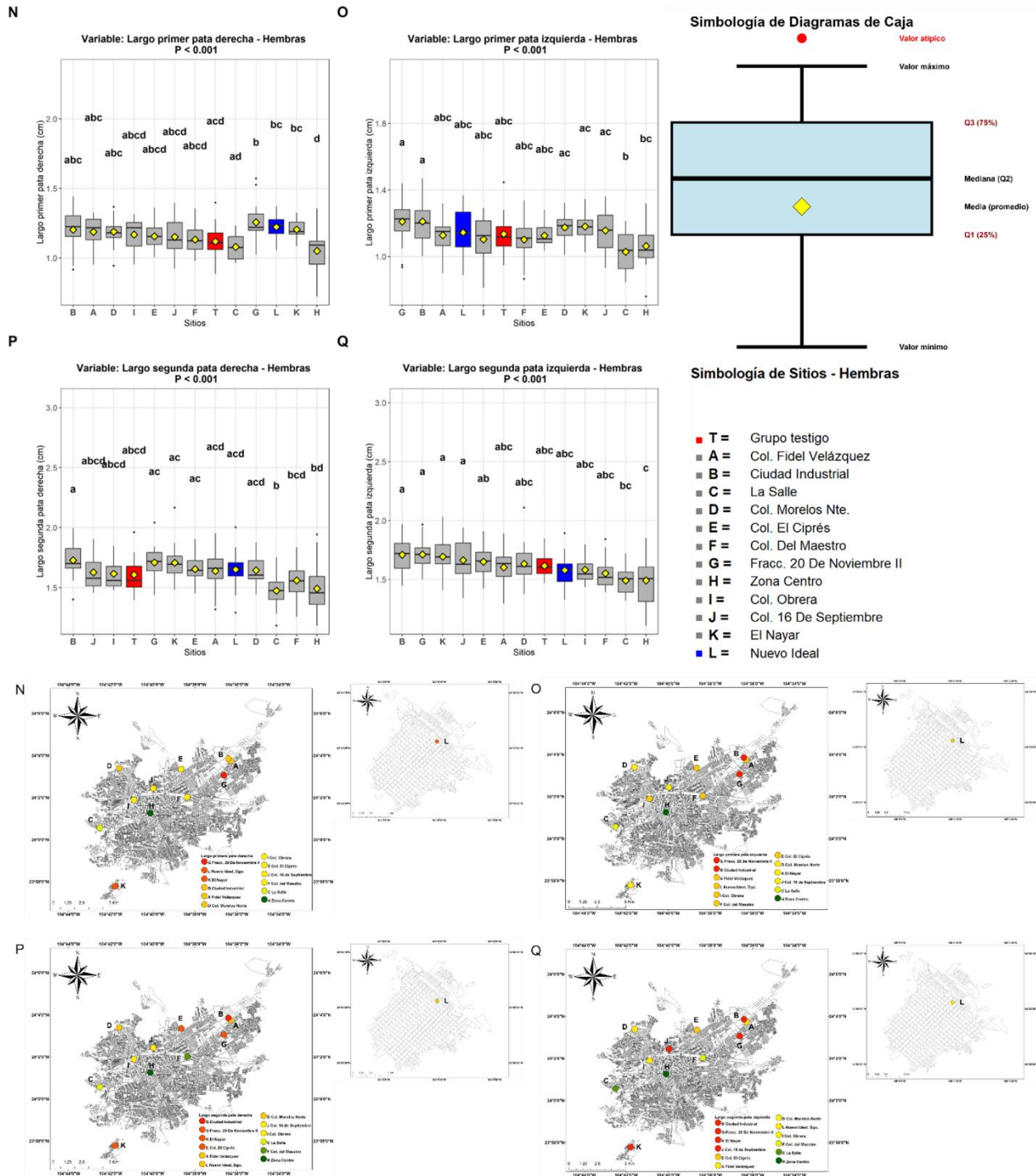


Figura 19. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de hembras: largo primera pata derecha, largo primera pata izquierda, largo segunda pata derecha y largo segunda pata izquierda y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.

Por último, en las variables de largo tercer pata derecha y largo tercer pata izquierda los sitios de mayor longitud de variable fueron los sitios de Ciudad Industrial, Fracc. 20 De Noviembre II Para el caso de los sitios de La Salle, Zona Centro y Colonia del Maestro vuelven a tener la menor longitud de variable (figura 20).

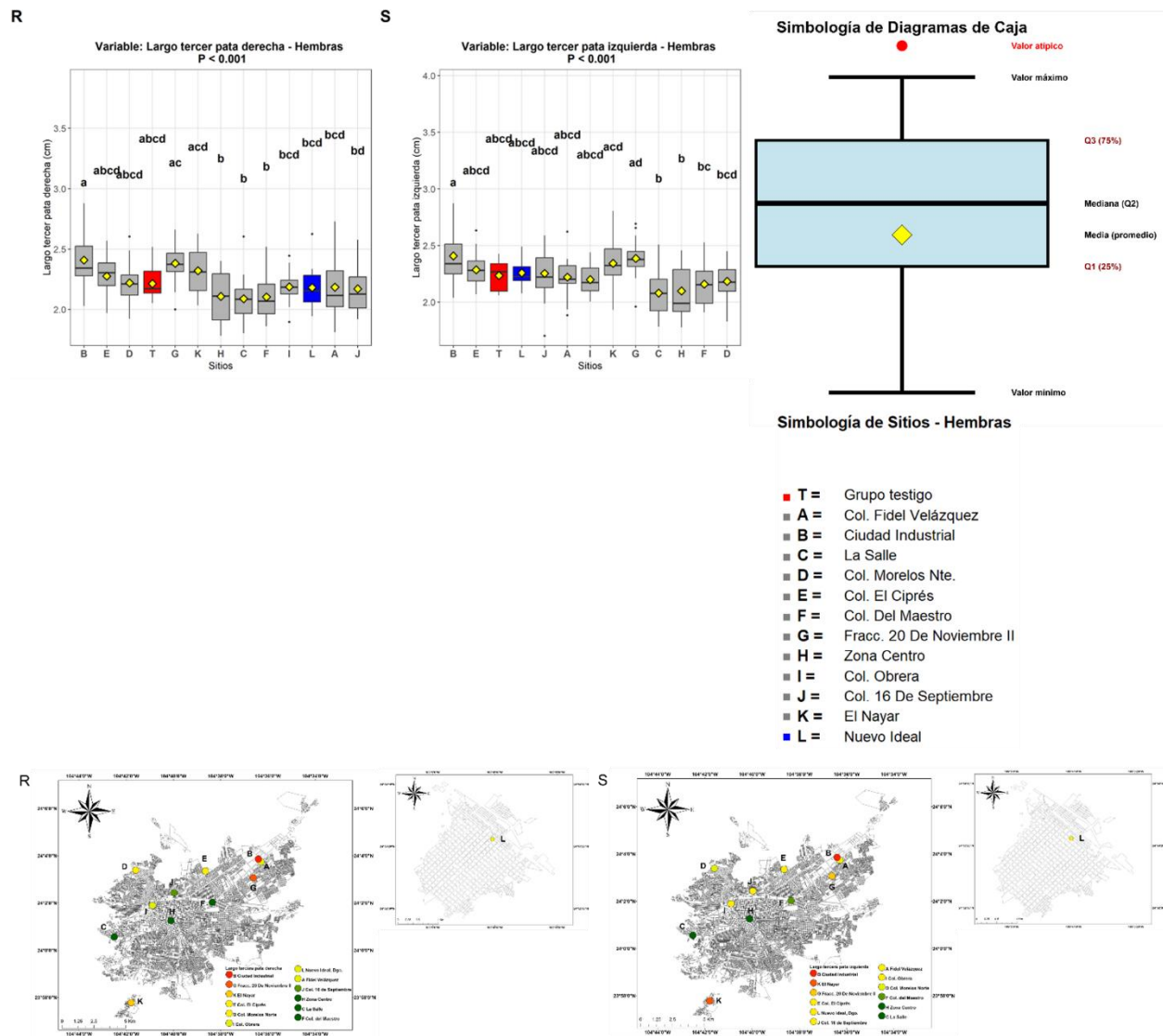


Figura 20. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de hembras: largo tercer pata derecha y largo tercer pata izquierda y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.

### 7.6.2 Análisis de correspondencia simple para hembras

Este análisis se realizó con los promedios de las variables morfométricas lineales significativas en hembras, lo que reveló una estructuración de los sitios de muestreo en un plano cartesiano (figura 21). Los dos primeros ejes explicaron un 66.3% de la varianza total, lo cual es suficiente para identificar y describir patrones y gradientes principales en las poblaciones de hembras de los sitios de colecta. El eje 1 fue el gradiente principal, explicando el 45.5% mientras que el eje 2 de menor peso, pero aún importante explicó un 20.8%. Estos ejes indican que en un plano cartesiano los patrones se representan de manera robusta.

La disposición de los sitios sugiere similitudes y diferencias entre ellos, los sitios más cercanos indican similitudes entre sus poblaciones de *P. americana* como lo son los sitios de Col. Fidel Velázquez y Col. Del Maestro, Col. Obrera y La Salle, Zona centro y El Nayar. Mientras que los sitios de Ciudad Industrial, Nuevo Ideal, Col. El Ciprés y el grupo testigo al ser los más alejados del origen, sus características son más diferentes del resto.

Además, la disposición de las variables indica relaciones entre ellas. La distancia entre ojos, el ancho de cabeza y el largo de cabeza tienen una relación positiva, al igual que el ancho de pronoto con el largo de pronoto, los anchos de tegminas y los largos de tegminas, y el largo de cercos izquierdo con largo de cercos derecho y los largos de patas.

### 7.6.3 Relación entre sitios y variables en el análisis de correspondencia simple

En el cuadrante 1 (figura 21), se muestran los sitios de Nuevo Ideal, Col. Fidel Velázquez, Col. Del Maestro, Col. Morelos Norte y Col. 16 De Septiembre los cuales poseen una relación estrecha con las variables de distancia entre ojos, ancho de cabeza, largo de cabeza y largo de primera pata derecha.

En el cuadrante 2 se muestran los sitios de Zona Centro, El Nayar, La Salle y Col. Obrera que poseen una relación estrecha con las variables de ancho de pronoto, largo de pronoto y ancho de tegmina derecha y ancho de tegmina izquierda.

En el cuadrante 3 se muestran los sitios de Fracc. 20 De Noviembre y Ciudad Industrial los cuales poseen una relación estrecha con las variables de largo de primera pata izquierda, largo de segunda pata derecha, largo de segunda pata izquierda, largo de tercera pata derecha, largo de tercer pata izquierda y ancho máximo de abdomen.

Y en el cuadrante 4 se muestran los sitios de Col. El Ciprés y el grupo testigo los cuales poseen una relación estrecha con las variables de largo de cercos izquierda, largo de cercos derecha, largo de tegmina derecha y largo de tegmina izquierda (figura 21).

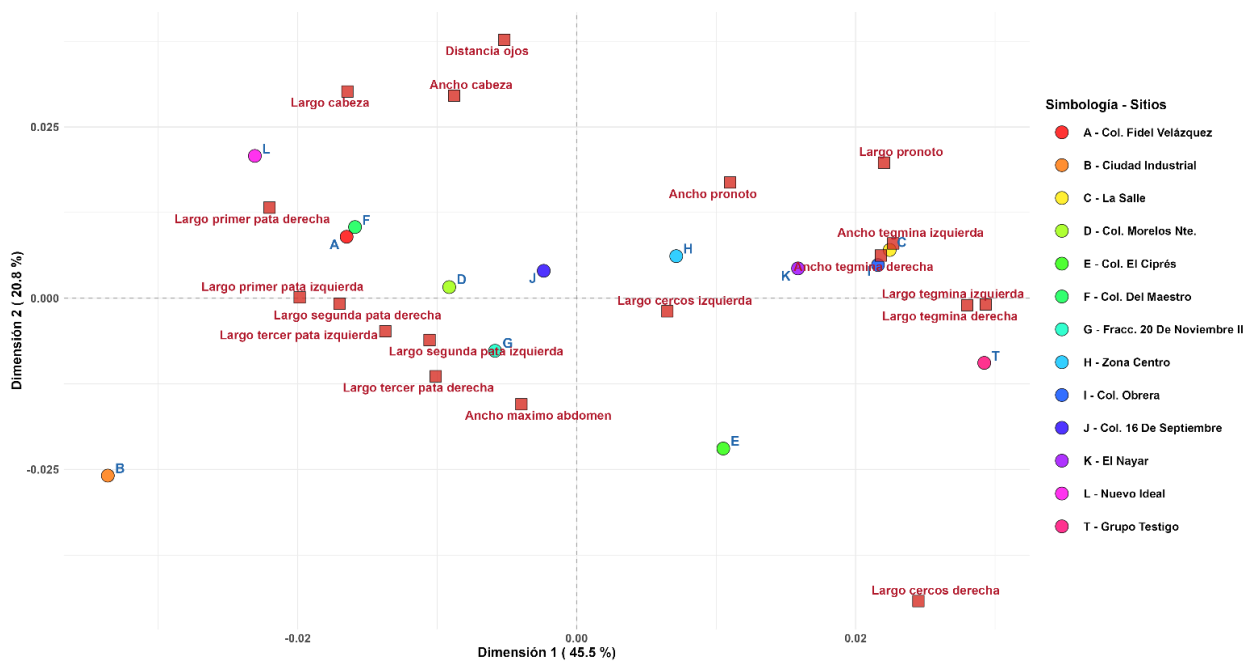


Figura 21. Análisis de correspondencias simple entre variables de morfometría lineal y sitios de colecta en hembras.

#### **7.6.4 Análisis de varianza para machos**

De igual manera las variables lineales para machos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a una prueba *post-hoc* de Tukey, agrupando a los sitios que tuvieron similitudes y generando una serie de figuras que muestran el comportamiento de las variables entre sitios (figuras 23, 24, 25, 26 y 27).

Para las variables de largo de pronoto, ancho de pronoto, largo de tegmina izquierda y largo de tegmina derecha el sitio con mayor longitud de variable fue el sitio de El Nayar A diferencia del sitio de Ciudad Industrial el cual tiene la menor longitud de largo de pronoto, De igual forma el sitio de Col. Del Maestro posee la menor longitud de ancho de pronoto, largo de tegmina izquierda y largo de tegmina derecha (figura 22).

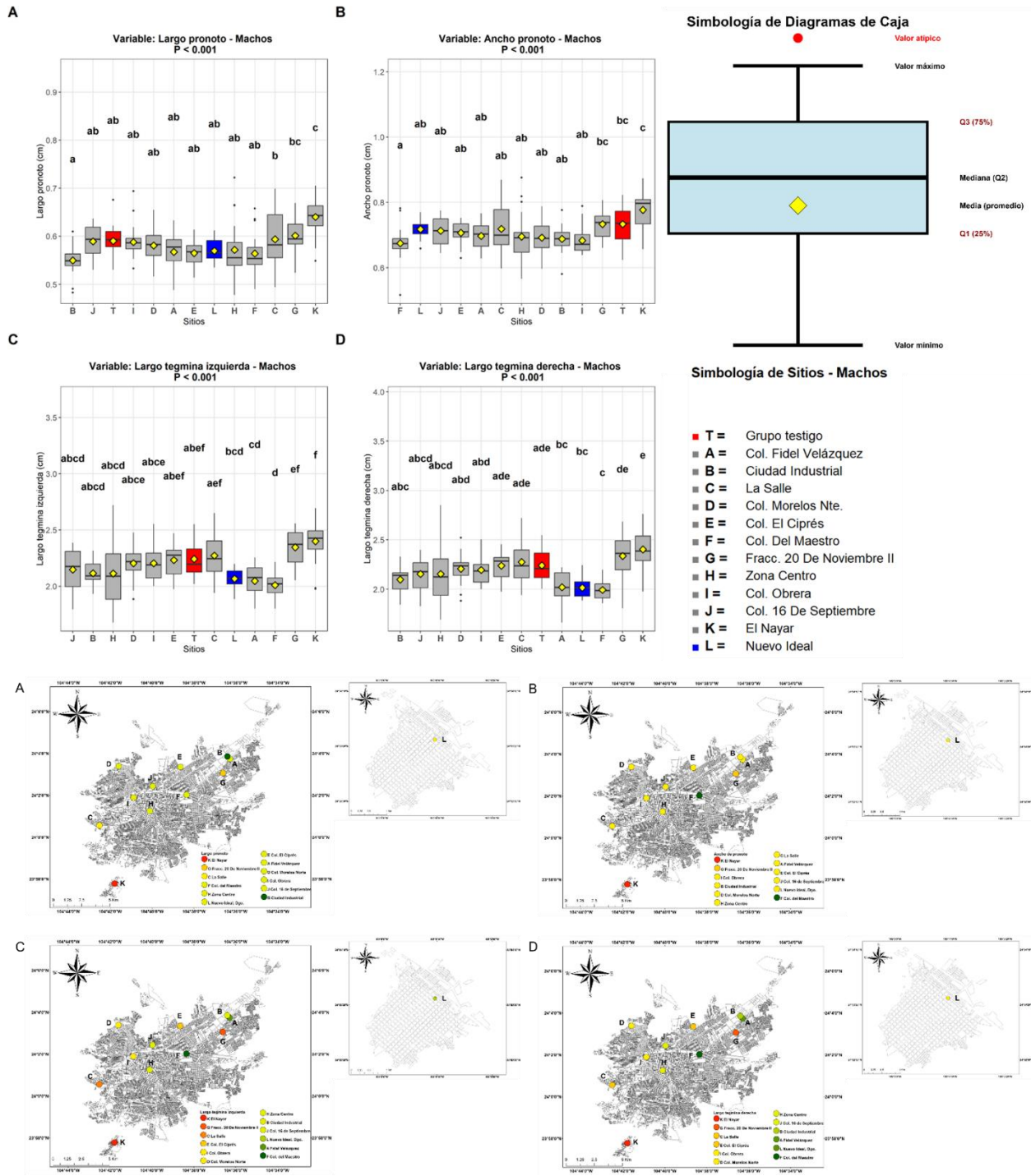


Figura 22. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de machos: largo de pronoto, ancho de pronoto, largo de tegminas izquierda y largo de tegminas derechas y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.

En el caso de las variables de ancho de tegmina derecha y ancho de tegmina izquierda el sitio de mayor longitud fue el sitio de El Nayar. Por otro lado, los sitios de Col. Fidel Velázquez y Col. Del Maestro poseen la menor longitud de ancho de tegmina izquierda y ancho de tegmina derecha. Se resalta el sitio de Col. Del Maestro ya que las hembras también son el sitio de menor longitud de ancho de ambas tegminas.

Para la variable de largo y ancho de cabeza los sitios con mayor longitud de variable son los sitios de Nuevo Ideal, La Salle y El Nayar Mientras que el grupo testigo y la Col. Morelos Norte son los sitios con menor longitud de esta variable (figura 23).

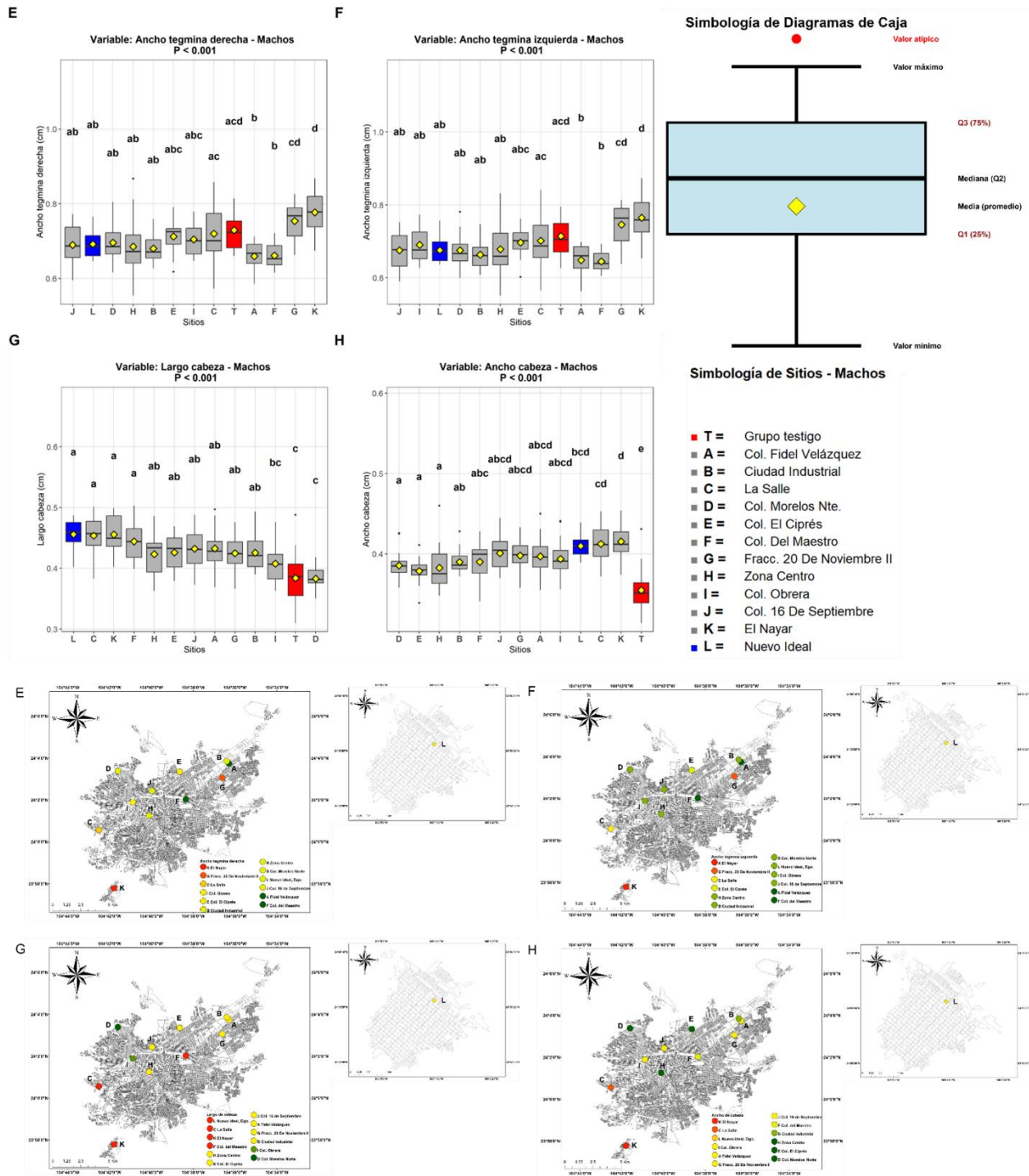


Figura 23. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de machos: ancho de tegmina derecha, ancho de tegmina izquierda, largo de cabeza y ancho de cabeza y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.

En el caso de la variable de distancia entre ojos los sitios de Col. Morelos Norte, Col. Obrera y Col. 16 De Septiembre obtuvieron la mayor longitud de variable. Mientras que los sitios de Nuevo Ideal y Col. El Ciprés obtuvieron la menor longitud de distancia de ojos.

Con respecto a la variable de distancia entre ocelos fue mayor en los sitios de Col. 16 De Septiembre, Fracc. 20 De Noviembre II y El Nayar Se destaca el sitio Col. 6 De Septiembre el cual posee la mayor longitud de ambas variables. Mientras que los sitios de Zona Centro, Nuevo Ideal y grupo testigo obtuvieron la menor longitud de distancia entre ocelos.

Para la variable de ancho máximo de abdomen los sitios de Fracc. 20 De Noviembre II, El Nayar y Col. El Ciprés obtuvieron la mayor longitud de variable Mientras que los sitios de Col. Del Maestro y Zona Centro obtuvieron la menor longitud de variable.

En lo que respecta a las variables de largo de cercos, solo el largo de cercos de la derecha fue significativo y produjo grupos de Tukey, mientras que el largo de cercos izquierdo solo fue significativo y no produjo grupos de Tukey. En este caso el sitio de mayor longitud de cerco derecho fue el sitio de Col. El Mientras tanto los sitios con menor longitud de largo de cercos derecha fueron los sitios de Zona Centro y Col. 16 De Septiembre (figura 24).

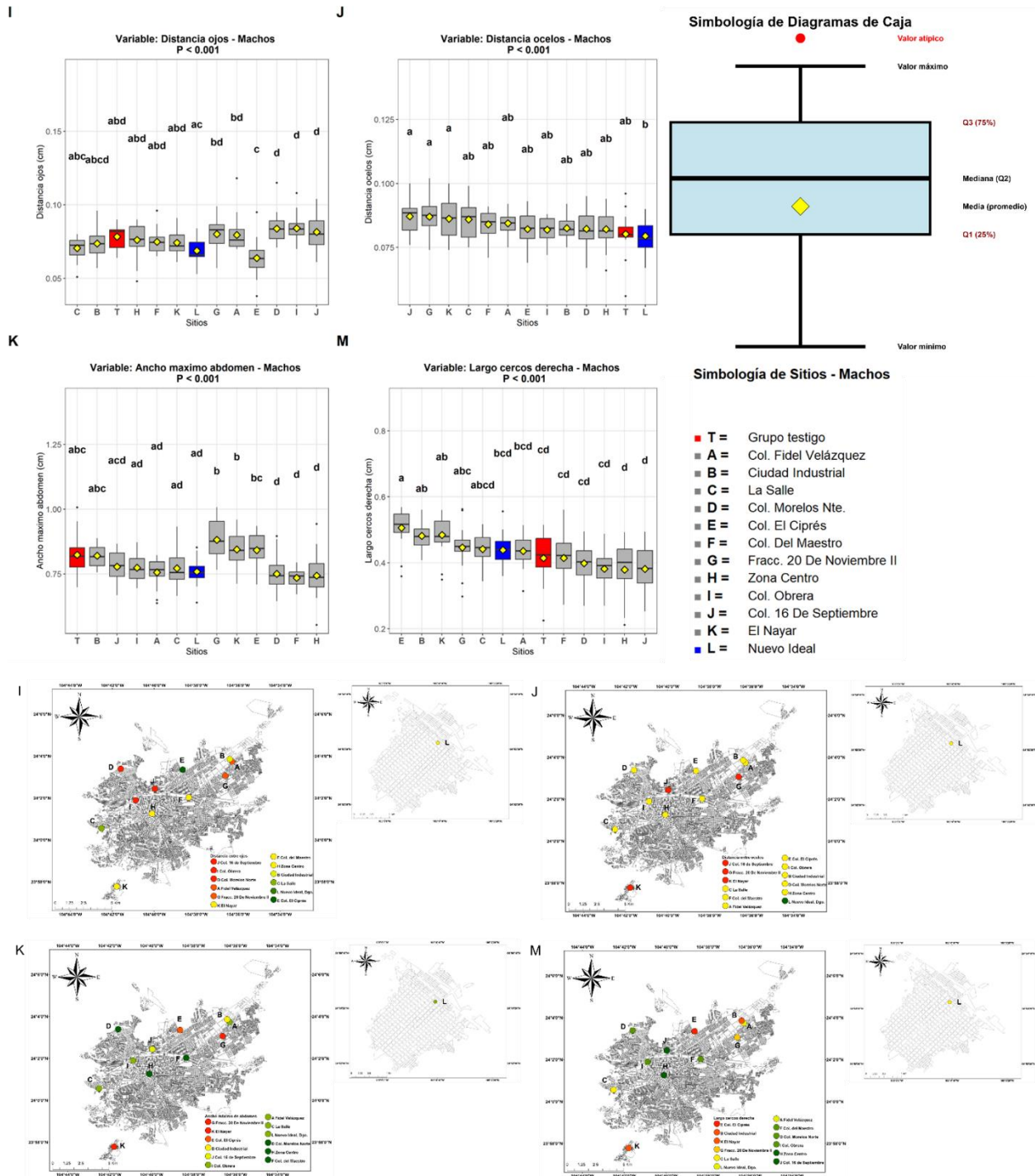


Figura 24. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de machos: distancia entre ojos, distancia entre ocelos, ancho máximo de abdomen y largo cercos derecha y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.

En el caso de las variables de largo de primera pata derecha y largo de primera pata izquierda los sitios de mayor longitud de variable fueron los sitios de Col. El Ciprés y Fracc. 20 De Noviembre II. Se destaca también el grupo del Nayar que, aunque posee una longitud de primera pata derecha considerable, no sucede lo mismo con la longitud de primera pata izquierda lo que indica una asimetría en el largo del primer par de patas. En el caso de los sitios con menor longitud de pata derecha fueron los sitios de la Colonia Obrera, Colonia Morelos Norte y el grupo testigo. Mientras que en el caso del largo de primera pata izquierda los sitios de menor longitud de variable son el grupo testigo, Nuevo Ideal y Zona Centro.

Por último, se destaca el grupo testigo que en ambas variables de largo de primera pata derecha e izquierda pertenece a los sitios con menor longitud de variable

Para el largo de segunda pata derecha e izquierda fueron los sitios de Col. El Ciprés y Fracc. 20 De Noviembre II. En el caso del sitio de El Nayar, también se agrupa con los sitios de mayor largo de pata derecha, En el caso de los sitios con la menor longitud de largo de segunda pata derecha y largo de segunda pata izquierda fue el sitio de Zona Centro. (figura 25).

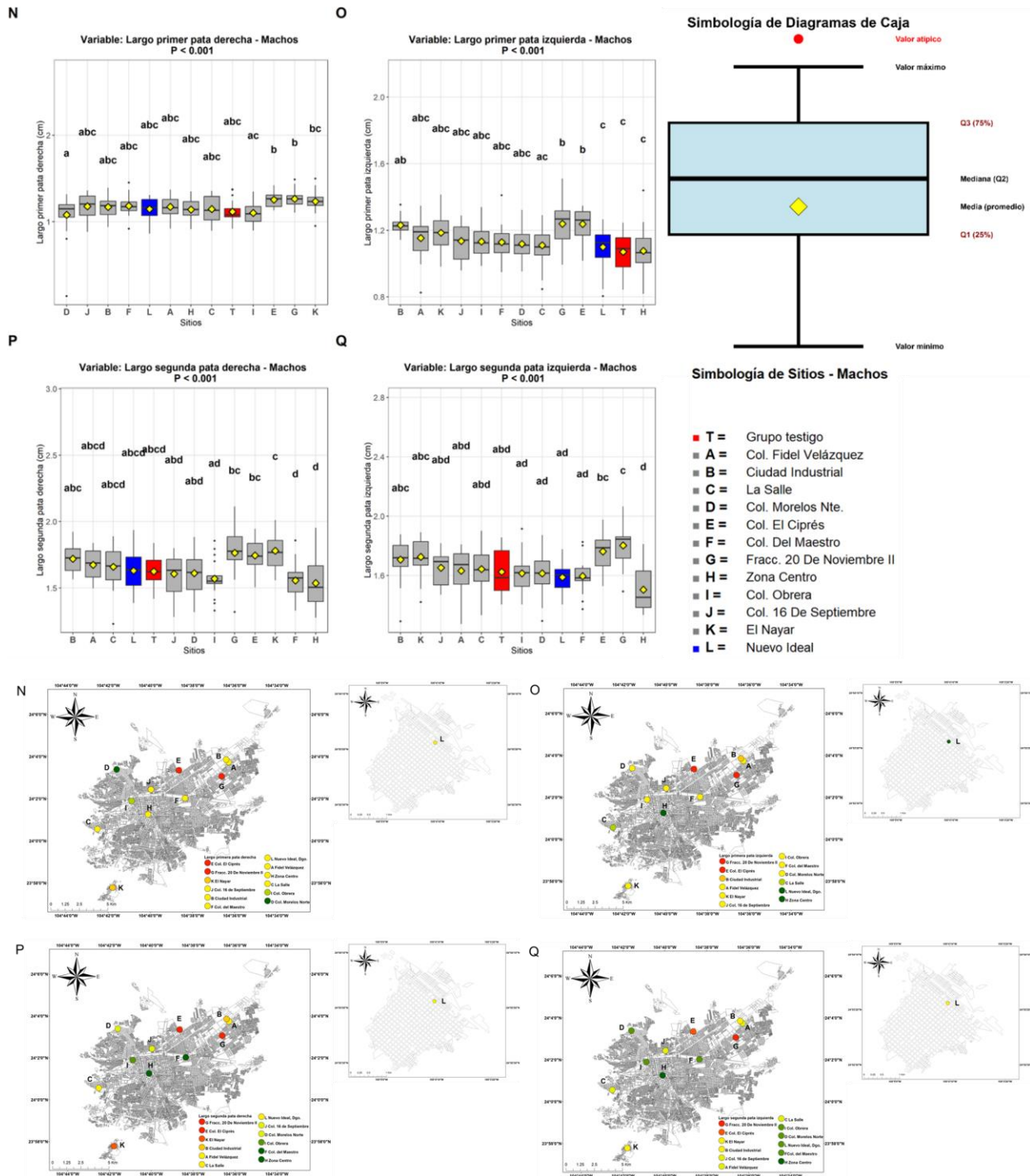


Figura 25. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de machos: largo primera pata derecha, largo primera pata izquierda, largo segunda pata derecha y largo segunda pata izquierda y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.

Para las variables de largo de tercer pata derecha e izquierda los sitios con mayor longitud de variable fueron los sitios de Fracc. 20 De Noviembre II, Col. El Ciprés, y El Nayar, En el caso opuesto los sitios de Col. Morelos Norte y Zona Centro obtuvieron la menor longitud de largo de tercer pata derecha y largo de tercera pata izquierda Se destaca el sitio de Col. Del Maestro el cual obtuvo el menor largo de tercera pata izquierda.

Por último, los sitios con mayor longitud de largo de estiletes derecha y largo de estiletes izquierda fueron los sitios de Col. El Ciprés, Fracc. 20 De Noviembre II y El Nayar lo que indica una mayor especialización orientada a la reproducción. El caso opuesto, es el sitio de la Zona Centro, en donde se obtuvo la menor longitud en ambas variables de largo de estiletes derecha y largo de estiletes izquierda (figura 26).

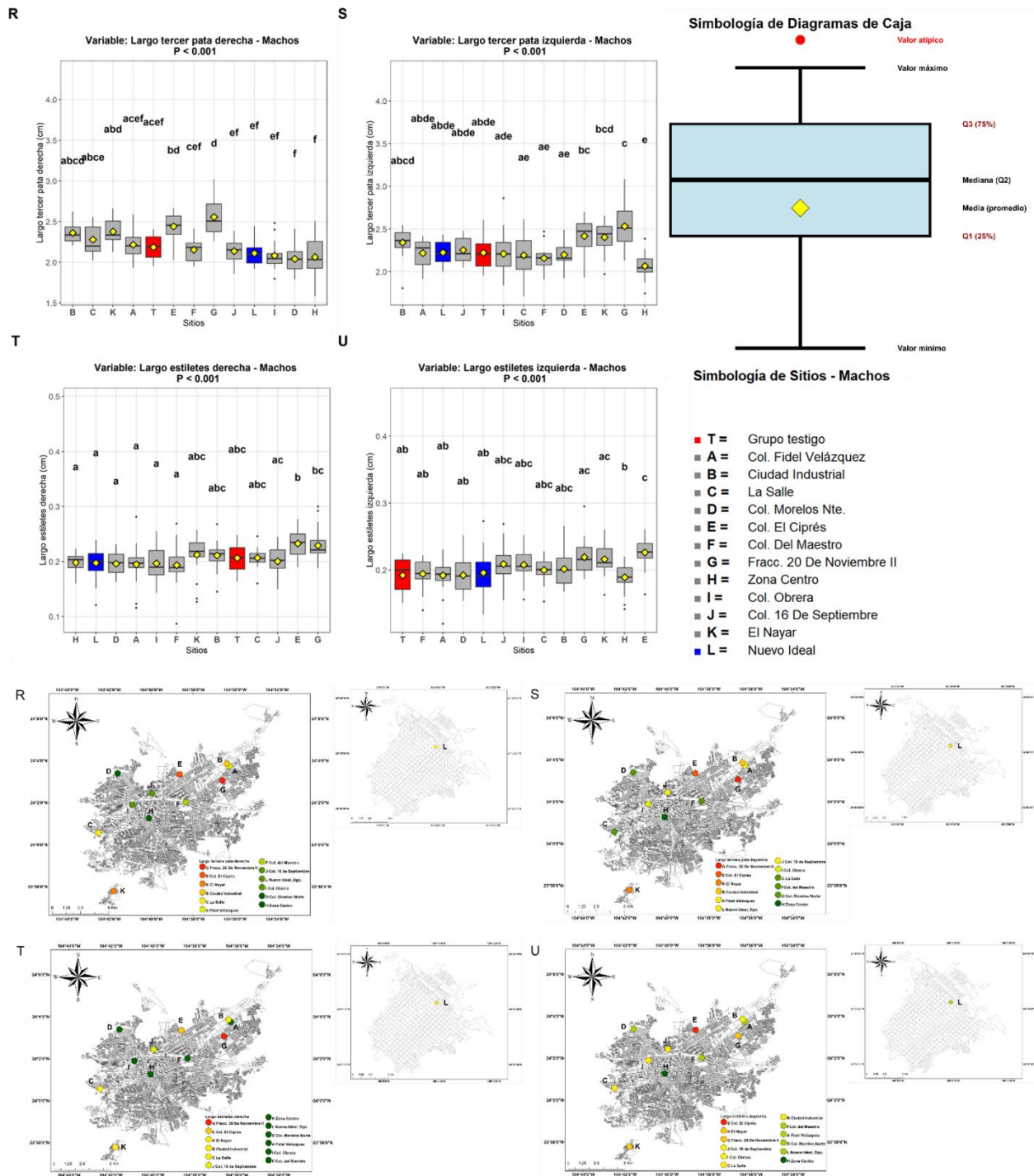


Figura 26. Comparación de variables de morfometría lineal mediante ANOVA con contraste entre las zonas urbanas de ciudad de Durango, Nuevo Ideal y el grupo testigo en poblaciones de machos: largo primera pata derecha, largo primera pata izquierda, largo segunda pata derecha y largo segunda pata izquierda y mapas asociados de las variables lineales ordenadas por tamaño.

### 7.6.5 Análisis de correspondencia simple para machos

Se realizó con los promedios de las variables morfométricas lineales significativas en machos, lo que reveló una estructuración de los sitios de muestreo en un plano cartesiano (figura 28). Los dos primeros ejes explicaron un 71.6% de la varianza total, lo cual es suficiente para identificar y describir patrones y gradientes principales en las poblaciones de machos de los sitios de colecta. El eje 1 fue el gradiente principal, explicando el 51.3% mientras que el eje 2 de menor peso, pero aun importante explicó un 20.3%. Estos ejes indican que en un plano cartesiano los patrones se representan de manera robusta.

La disposición de los sitios sugiere similitudes y diferencias entre ellos, los sitios más cercanos indican similitudes entre sus poblaciones de *P. americana* como lo son los sitios de Col. Fidel Velázquez, Col. Del Maestro y Nuevo Ideal, Col. 16 De Septiembre y Zona Centro, Ciudad industrial, Col. El Ciprés y Fracc. 20 De Noviembre II, El Nayar, La Salle, Col. Obrera y Col. Morelos Norte. Mientras que los sitios más alejados del origen como los sitios de Col. Fidel Velázquez, Zona Centro, Ciudad Industrial, y grupo testigo poseen características diferentes del resto de sitios de colecta.

Además, la disposición de las variables indica relaciones entre ellas. Variables como largo primera pata derecha, largo primera pata izquierda, largo de segunda pata derecha, largo de segunda pata izquierda, largo de tercera pata derecha, largo de tercera pata izquierda están estrechamente relacionadas. De igual forma las variables de ancho de cabeza, distancia entre ocelos, distancia entre ojos, ancho de pronoto y largo de pronoto comparten una relación estrecha. Otras variables que poseen una relación estrecha fueron las variables fueron el ancho de tegmina izquierda, ancho de tegmina derecha, largo de tegmina izquierda y largo de tegmina derecha.

### 7.6.6 Relación entre sitios y variables en el análisis de correspondencia simple

En el cuadrante 1 de la figura 27 los sitios de Col. Fidel Velázquez, Col. Del Maestro y Nuevo Ideal están más relacionados con las variables de largo de cabeza,

largo de tercera pata derecha, largo primera pata izquierda, largo segunda pata derecha, largo de cercos derecha y largo de estiletes izquierda. En el cuadrante 2, los sitios Col. 16 De Septiembre, Zona Centro, La Salle y Col. Obrera tienen relación con las variables de ancho de cabeza, distancia entre ocelos, ancho de pronoto, largo de pronoto y distancia entre ojos. En el cuadrante 3 los sitios de Ciudad Industrial, Col. El Ciprés, y Fracc. 20 De Noviembre II tienen relación con las variables de largo de segunda pata izquierda, largo de tercera pata izquierda, largo tercera pata derecha, largo cercos derecha, largo estiletes izquierda y ancho máximo de abdomen. Por último, en el cuadrante 4 los sitios de Col. Morelos Norte, El Nayar y el grupo testigo tienen relación con los variables de ancho de tegmina izquierda, ancho de tegmina derecha, largo de tegmina izquierda y largo de tegmina derecha (figura 27).

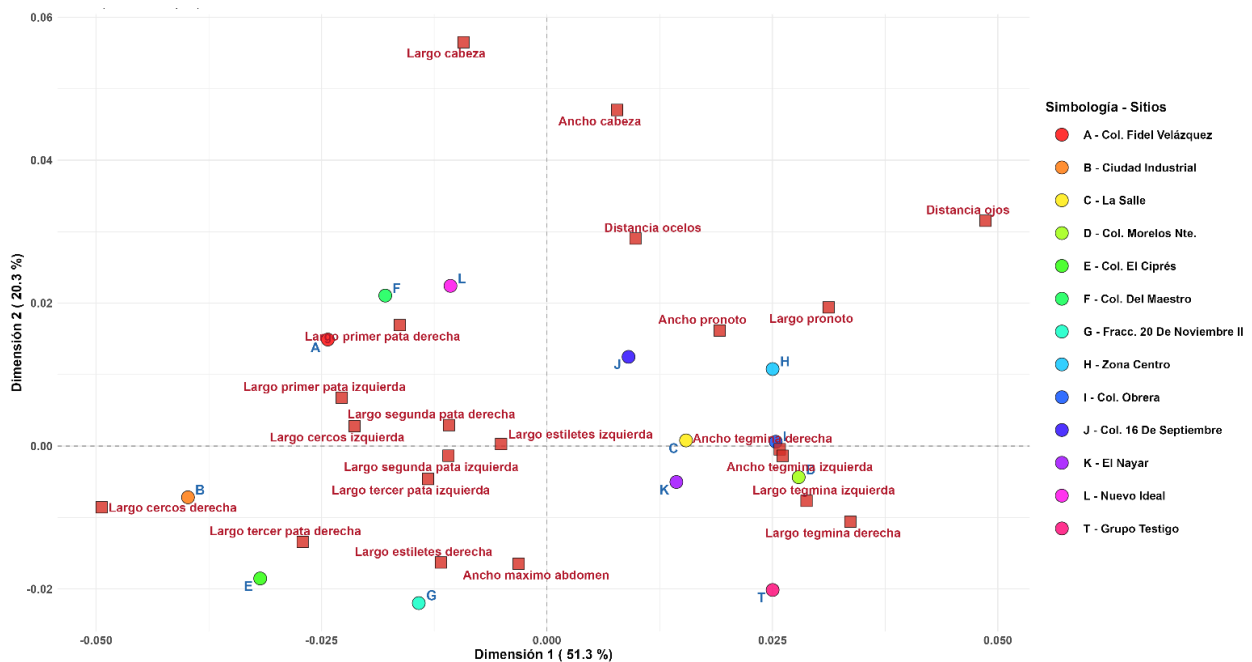


Figura 27. Análisis de correspondencia simple entre variables de morfometría lineal y sitios de colecta en machos

### 7.7 Análisis geométrico

Para atender el objetivo particular uno se realizó un análisis morfométrico geométrico. Para esto se utilizó el contorno del pronoto de los individuos colectados ya

que de todas las variables es la que menos fue canibalizada (figura 28). El análisis se realizó con los descriptores elípticos de Fourier, los cuales son utilizados con contornos cerrados como lo es el contorno del pronoto, y se utilizaron 15, 20, 25 y 30 armónicos para el cálculo de las funciones de Fourier. Posteriormente se realizó un análisis de componentes principales con las funciones de Fourier obtenidas.

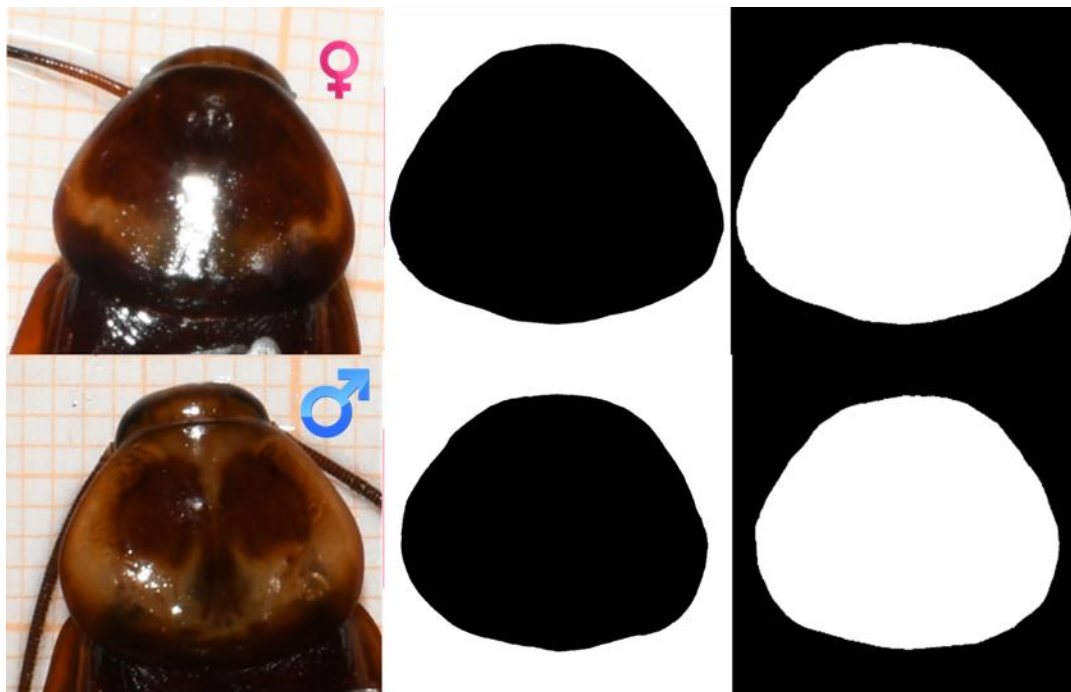


Figura 28. Extracción y binarización de contorno de pronoto de hembras y machos de *Periplaneta americana* mediante la evaluación de descriptores elípticos de Fourier.

Con los datos obtenidos del análisis de componentes principales se realizó un análisis discriminante (cuadro 4):

Cuadro 4. Matriz de confusión para datos de 15, 20, 25 y 30 armónicos.

*Matriz de confusión para datos de 15, 20, 25 y 30 armónicos.*

Armónicos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	T	Total
15	20	7.5	32.5	7.5	7.5	20	23.08	17.5	25	12.82	15	32.5	41.38	19.72
20	20	17.5	35	15	22.5	12.5	43.59	25	25	25.64	12.5	55	44.83	26.82
25	20	15	40	27.5	20	12.5	38.46	27.5	30	23.08	10	65	51.72	28.8
30	30	32.5	37.5	32.5	17.5	17.5	38.46	37.5	32.5	33.33	27.5	60	48.28	33.93

La capacidad de desempeño del modelo es moderada, sin embargo, indica que a mayor número de armónicos el modelo mejora.

También se calculó, la varianza explicada por los componentes principales para 15, 20, 25 y 30 armónicos, se obtuvo que para los armónicos 20, 25 y 30 el 99% de la varianza explicada se alcanza con 11 componentes principales, mientras que para 15 armónicos el 99% de la varianza explicada se alcanza con 10 componentes principales (figura 29).

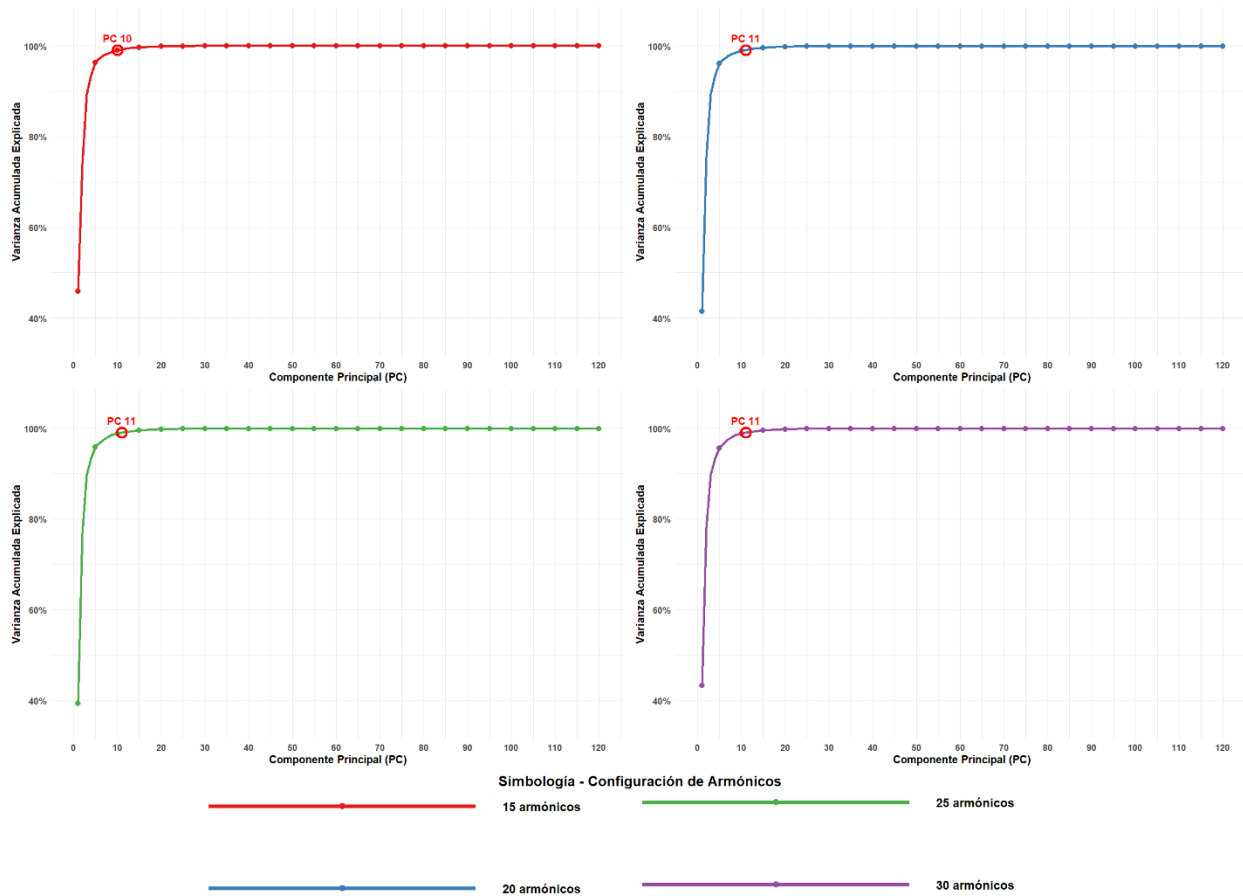


Figura 29. Varianza acumulativa explicada por componentes principales destacando el componente principal donde se alcanza el 99% de la varianza acumulada.

### 7.7.1 Comparación entre sexos

Según los resultados de morfometría geométrica, existe evidencia de dimorfismo sexual en tamaño de los pronotos entre machos y hembras, por lo cual se analizaron los individuos por sexo y sitio utilizando los componentes principales generados con 20 armónicos. Para esto se evaluaron las diferencias entre sexos con una prueba de Kruskal-Wallis, y una prueba *post hoc* de Dunn con el fin de comparar que grupos se diferencian entre sí después de un análisis significativo de Kruskal-Wallis.

Se realizó un escalamiento multidimensional no métrico sobre los datos obtenidos en el análisis de componentes principales de las funciones de Fourier, se generó la figura 30. Esta figura nos muestra que los datos de las hembras y de los machos se traslapan en su mayoría, pero los datos que no comparten espacio podrían indicar una diferencia moderada entre sexos.

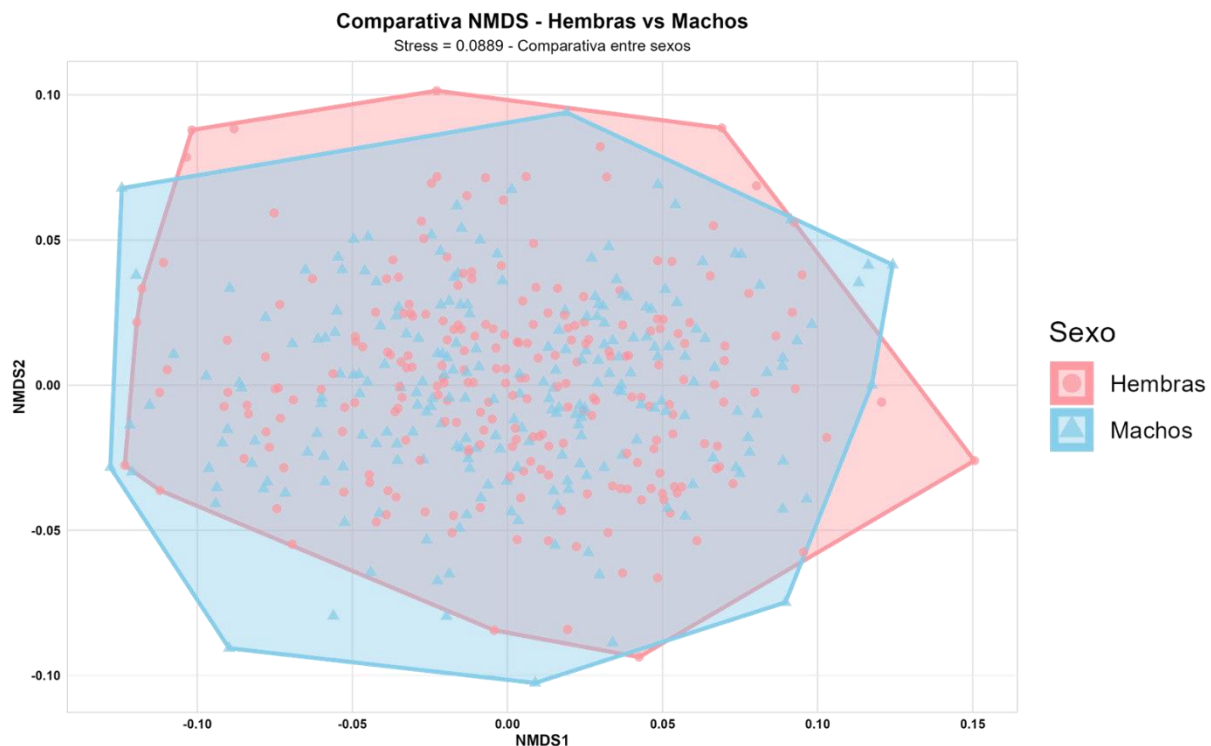


Figura 30. Escalado multidimensional no métrico de hembras y machos.

Con los datos antes mencionados se realizó una prueba de Kruskal-Wallis sobre 32 componentes principales y se obtuvo la figura 30. Esta figura nos muestra diferencias entre machos y hembras en el componente principal 1 y en el componente principal 8. Esto indica diferencias moderadas entre machos y hembras dado que el componente principal 1 explica el 41.45% de la variación total y el componente 8 explica el 0.45% de la variación total de los datos.

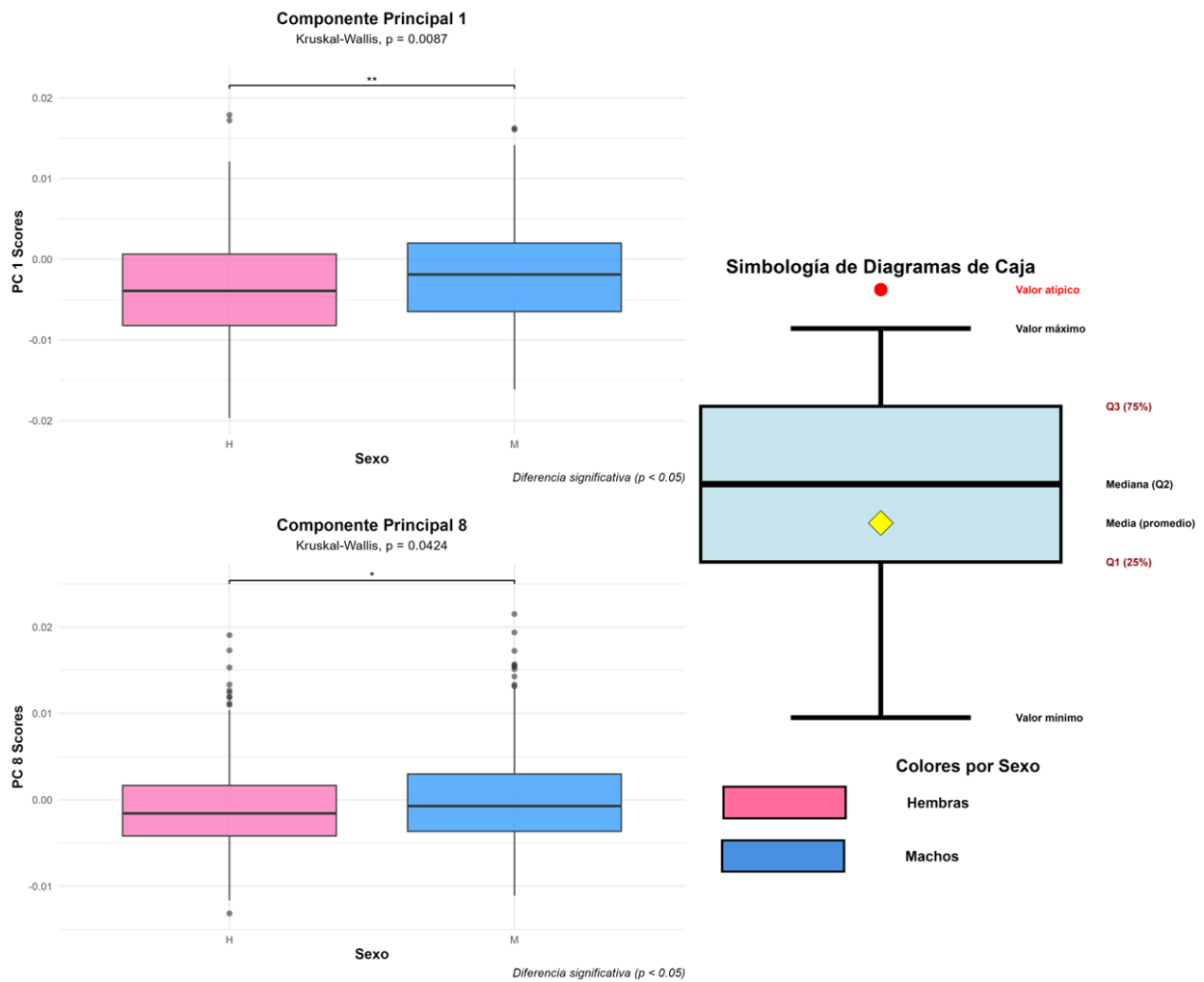


Figura 31. Comparación entre sexos con prueba de Kruskal-Wallis y prueba de Dunn para componente principal 1 y 8.

### 7.7.2 Escalado multidimensional no métrico, prueba de Kruskal-Wallis y prueba *post hoc* de Dunn para hembras entre sitios

En el acomodo de los datos en dos dimensiones se observó que en la mayoría de los sitios poseen características comunes (figura 32). En el cuadrante 1 los sitios de Col. Fidel Velázquez, Nuevo Ideal, y Col. 16 de Septiembre poseen una mayor similitud entre ellos. Mientras que en el cuadrante 2 los sitios de Col. Morelos Norte, Col. El Ciprés y Col. Obrera poseen similitudes. En el caso del cuadrante 3 los sitios más similares entre ellos fueron los sitios de Ciudad industrial y el grupo testigo. Y por último en el cuadrante 4 los sitios con similitudes fueron los sitios de Zona Centro, El Nayar, La Salle y Fracc. 20 De Noviembre II. Se destaca al sitio de La Salle, ya que es el sitio con mayor distancia de los demás sitios de colecta, lo que indicaría diferencias en forma.

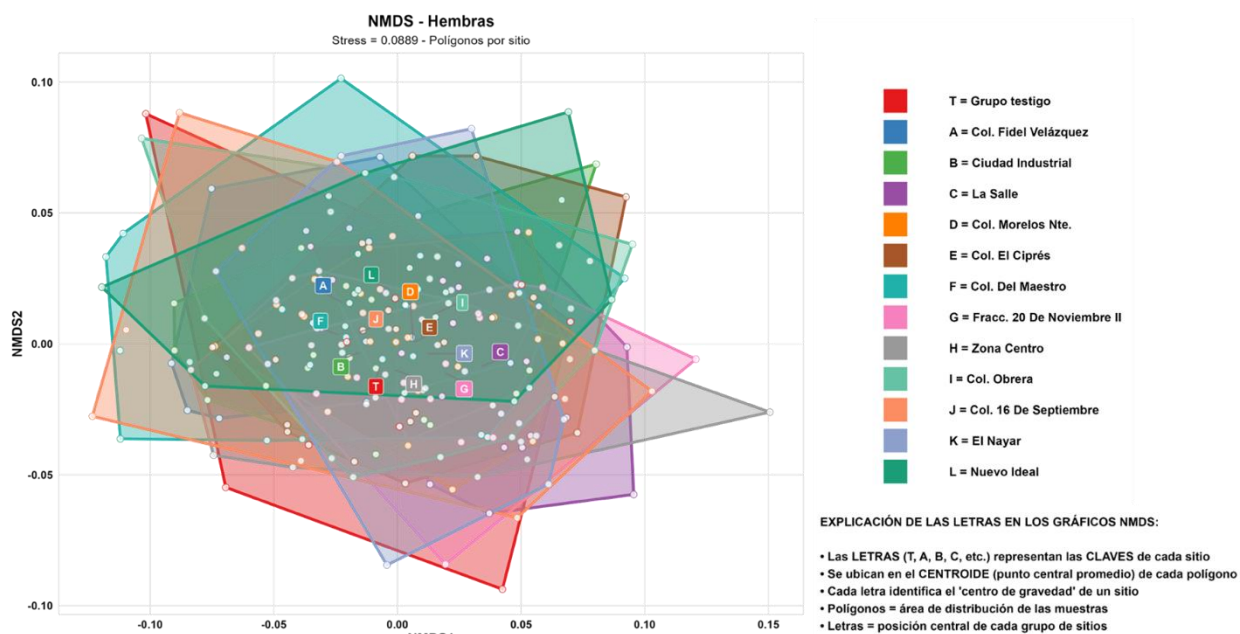
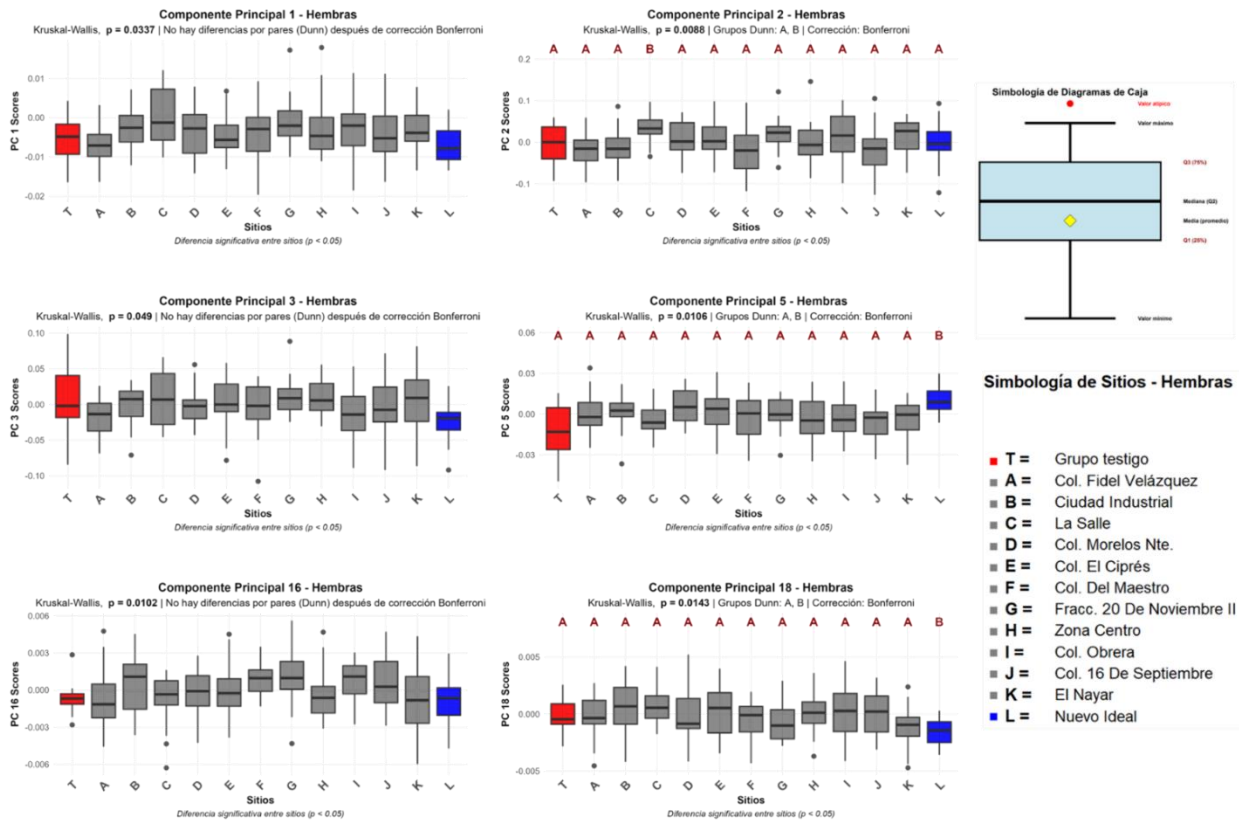


Figura 32. Escalado multidimensional no métrico con las poblaciones de hembras de los sitios de colecta.

Para detectar diferencias significativas entre las poblaciones de hembras en los sitios de colecta se realizaron comparaciones en los componentes principales con diferencias significativas (figura 33). Se destaca el componente principal 2 con un 34.02% de varianza explicada, el cual además de ser significativo, generó grupos de Dunn,

siendo el sitio de La Salle el grupo con mayores diferencias con el resto de los sitios de colecta. Se destacan de igual forma los componentes principales 5 con una varianza explicada de 2.67% y el componente principal 18 con 0.05% de varianza explicada, los cuales además de ser significativos generaron grupos de Dunn, siendo el sitio de Nuevo Ideal el sitio con mayores diferencias en ambos componentes principales.



### Componente principal 2

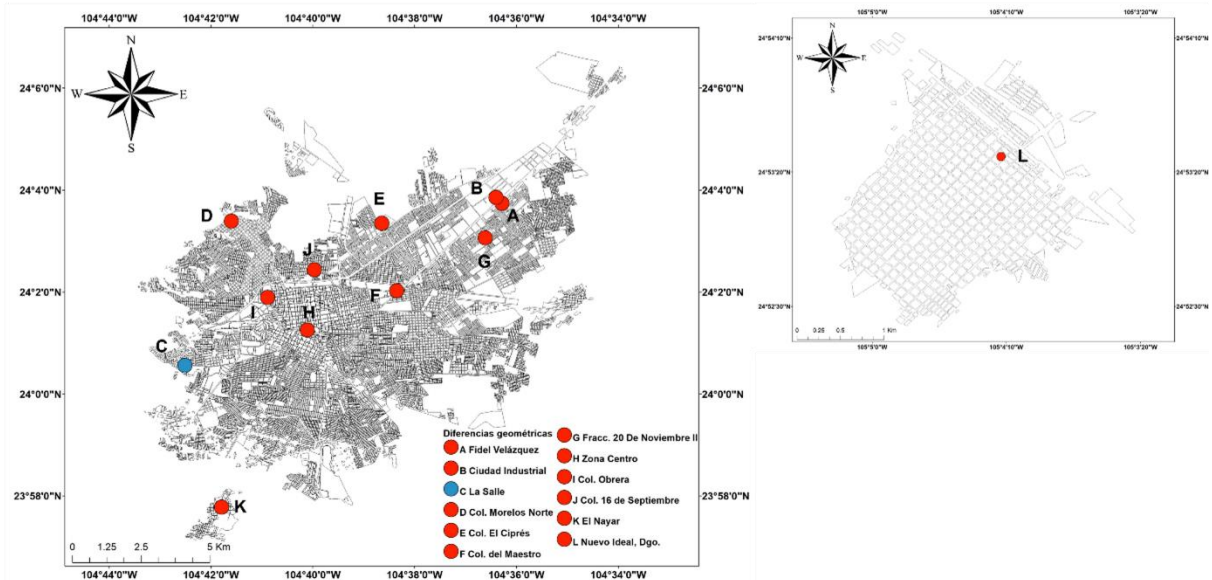


Figura 33. Comparación de componentes principales significativos por medio de una prueba de Kruskal-Wallis derivados del análisis multidimensional no métrico en hembras por sitio de colecta y mapa asociado al componente principal 2

### 7.7.3 Escalado multidimensional no métrico, prueba de Kruskal-Wallis y una prueba *post hoc* de Dunn para machos

En el escalado multidimensional no métrico con las poblaciones de machos de los sitios de colecta (figura 34) se muestra el acomodo de los datos en dos dimensiones. Se observa que la mayoría de los sitios poseen características en común. En el cuadrante 1 los sitios de grupo testigo y Col. El Ciprés poseen una mayor similitud entre ellos. Mientras que en el cuadrante 2 los sitios de Nuevo Ideal, Ciudad Industrial, Col. Obrera y Col. Morelos Norte poseen similitudes. En el caso del cuadrante 3 los sitios más similares entre ellos fueron los sitios de Col. 16 De Septiembre, Col. Del Maestro, Col. Fidel Velázquez, y Zona centro. Y por último en el cuadrante 4 los sitios con similitudes fueron los sitios de Fracc. 20 De Noviembre II, La Salle y El Nayar. Se destaca al sitio de Col. 16 De Septiembre, ya que es el sitio con mayor distancia de los demás sitios de colecta, lo que indicaría diferencias en forma.

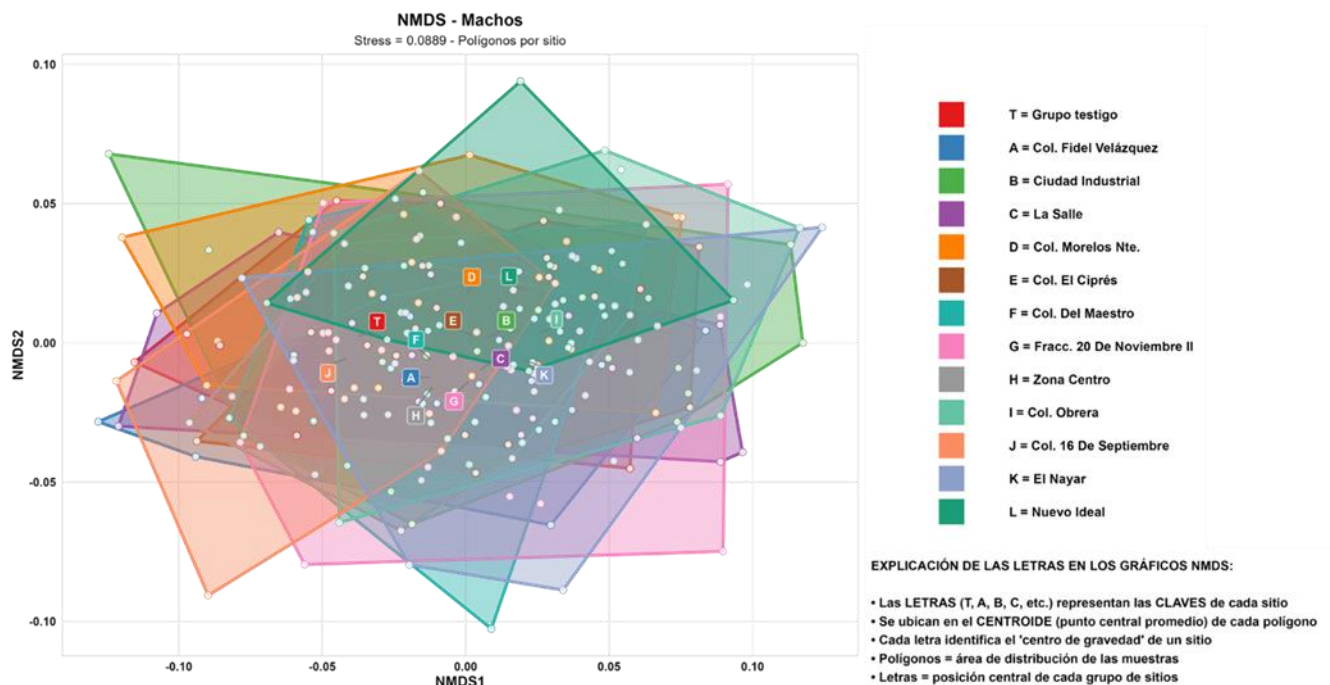
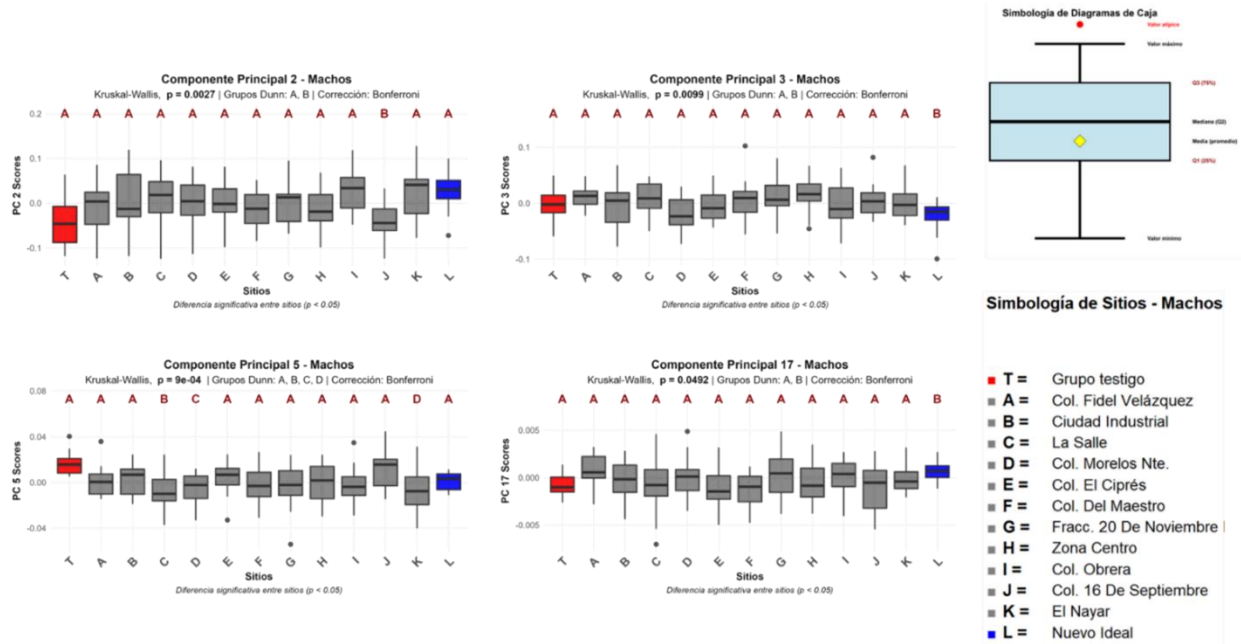


Figura 34. Escalado multidimensional no métrico con las poblaciones de machos de los sitios de colecta.

En la figura 35, se muestran las comparaciones en los componentes principales con diferencias significativas. Se destaca el componente principal 2 con un 34.02% de varianza explicada, el cual obtuvo significancia y generó grupos de Dunn, siendo el sitio de Col. 16 De Septiembre el grupo con mayores diferencias con el resto de los sitios de colecta. Se destacan de igual forma los componentes principales 3 con una varianza explicada de 13.93% y el componente principal 17 con una varianza explicada de 0.06%, los cuales obtuvieron significancia y se separaron en grupos de Dunn los cuales indican que el sitio de Nuevo Ideal fue el sitio con mayores diferencias en estos componentes principales. Además, el componente principal 5 con 2.67% de varianza explicada, los cuales además de ser significativo, generó grupos de Dunn, siendo los sitios La Salle, Col. Morelos Norte Y El Nayar los sitios con mayores diferencias en este componente principal.



### Componente principal 2

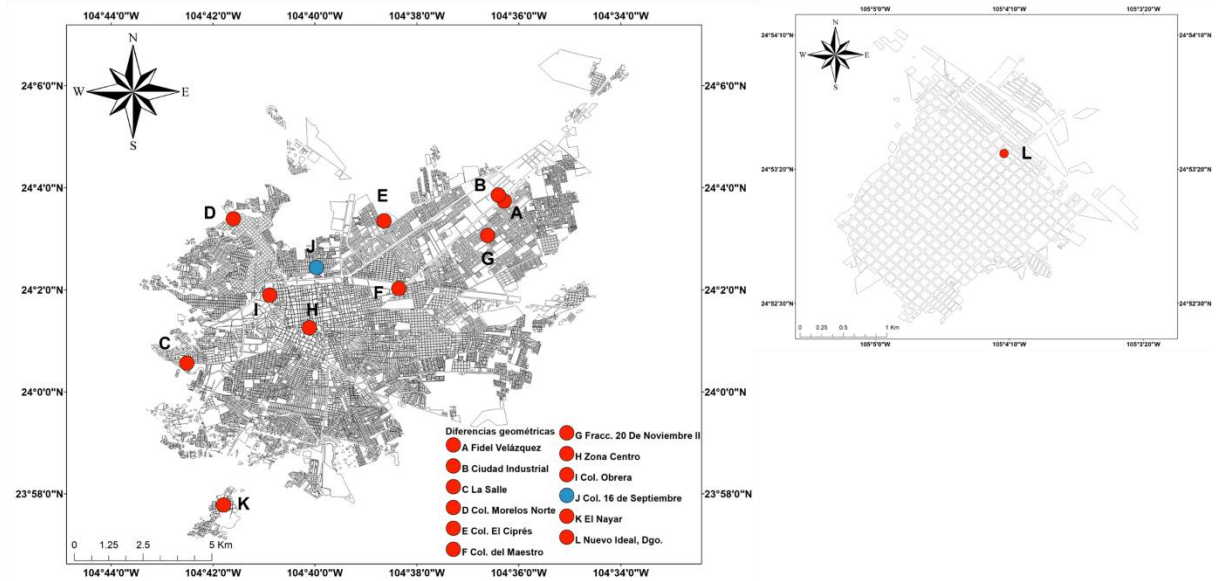


Figura 35. Comparación de componentes principales significativos por medio de una prueba de Kruskal-Wallis derivados del análisis multidimensional no métrico en machos por sitio de colecta.

## VIII. DISCUSIÓN

### 8.1 Morfometría lineal

De acuerdo con Wipfler *et al.* (2016), Núñez-Bazán y Dennis (2017) y Borah y Hazarika (2019), *P. americana* posee estructuras diferenciadas entre ambos sexos, lo cual, se pudo comprobar mediante los resultados de los ANOVAS realizados para las variables de largo y ancho de pronoto, largo y ancho de tegminas, largo y ancho de cabeza, distancia entre ojos, distancia entre ocelos y ancho máximo de abdomen. Esto sugiere que *P. americana* posee roles ecológicos diferentes entre sexos, lo que se ve reflejado en estas diferencias de tamaño.

El análisis de agrupamiento presentó cuatro subgrupos en ambos sexos, los cuales indican similitudes en tamaño, lo que muestra similitudes en condiciones ambientales o en el alimento disponible.

El sitio de El Nayar se agrupó dentro del mismo subgrupo que el sitio testigo en machos y en hembras, lo que podría indicar condiciones similares las cuales son favorables para el desarrollo morfológico de poblaciones de *P. americana*. En hembras, otros sitios que se agruparon junto al grupo testigo fueron la Col. Obrera y Col. El Ciprés, los cuales podrían tener condiciones similares debido a la presencia de hospitales, farmacias y negocios de comida. Mientras que con los machos otros sitios que se agruparon junto al grupo testigo fueron la Col. 16 De Septiembre y La Salle, los cuales podrían tener condiciones similares debido a que son sitios con presencia de negocios de comida. Además, el sitio de La Salle se encuentra ubicado en una zona residencial lo que podría indicar una probable necesidad de control de plagas. En este caso los machos de *P. americana* podrían tener una respuesta diferente al uso de insecticidas, o bien una estrategia de dispersión diferente a las hembras.

El análisis de componentes principales realizado sobre las variables morfológicas lineales refuerza lo expuesto en el análisis de agrupamiento, mostrando similitudes entre

sitios, los cuales se muestran en los supergrupos del análisis de agrupamiento. En ambos sexos las variables con mayor contribución fueron las variables dorsales, mientras que en ambos la variable de distancia entre ojos fue la variable de menos contribución. En machos las variables de largo y ancho de cabeza, largo de estiletes y largo de cercos izquierda fueron las que tuvieron menor contribución en el análisis de componentes principales. Además, en ambos sexos se aprecia que todas las variables, a excepción de la variable de distancia entre ojos, tienen alguna relación, aunque algunas de ellas en forma moderada.

El sitio de El Nayar presentó la mayor longitud, en casi todas las variables lineales evaluadas en ambos sexos, lo que indicaría que es una localidad urbana con un ambiente propicio para el desarrollo morfológico de *P. americana*.

El caso opuesto se encuentra en los sitios de la Zona Centro y la Col. Del Maestro, los cuales presentaron la menor longitud en la mayoría de las variables medidas, lo cual indica un ambiente hostil para el desarrollo morfológico de *P. americana*

## 8.2 Morfometría geométrica

Los resultados obtenidos dentro del análisis geométrico de los pronotos mediante una prueba de Kruskal-Wallis de los individuos colectados previamente analizados con morfometría geométrica fueron significativos en los componentes 1 y 8 al evaluar ambos sexos. Lo cual indica que la principal diferencia en forma entre todos los individuos está asociada al sexo, lo que implica una clara evidencia de presencia de dimorfismo sexual en esta estructura morfológica, sin embargo, estas diferencias son más sutiles debido a que solo estos componentes principales tuvieron significancia. También, Núñez-Bazán y Dennis (2017) encontraron diferencias significativas en la forma del pronoto entre sexos de *P. americana* mediante descriptores elípticos de Fourier, lo cual coincide con lo evaluado en este apartado.

Con los datos obtenidos del análisis geométrico de los pronotos se realizó un análisis de componentes principales con los cuales se realizó una comparación por medio de una prueba de Kruskal-Wallis de los sitios de colecta, separados por sexo. En hembras este análisis obtuvo significancia para los componentes principales 1, 2, 3, 5, 16 y 18 pero solo en los componentes 2, 5 y 18 hubo separación en grupos de Dunn, lo que indica diferencias sutiles, donde el sitio de La Salle es el más diferente en cuanto a la forma.

En machos las comparaciones en el componente principal 2, 3, 5 y 17 también fueron significativos y formaron grupos de Dunn. Ya que el componente principal 2 presentó el mayor porcentaje de la variación total (34.02%), en comparación al resto de los componentes con diferencias significativas, el sitio de Col. 16 de Septiembre posee la forma de pronoto con mayores diferencias.

En un trabajo de variabilidad genética para poblaciones de *P. americana* de cinco ciudades, Jaramillo *et al.* (2010) encontraron que la variabilidad intrapoblacional más marcada que la interpoblacional. La explicación de la hipótesis que los autores plantean es que se debe a limitantes geográficas que evitan el intercambio de genes entre

ciudades. En el caso de este trabajo pasa algo similar, porque se encontraron más diferencias morfológicas dentro de la ciudad de Durango, que entre la ciudad de Durango y la de Nuevo Ideal.

Así mismo, Bao *et al.* (2020) reportaron que el uso de insecticidas de tipo neonicotinoide, podrían estimular la producción de gas metano en el intestino de *P. americana* lo que podría ser la causa de una elongación en su abdomen. Esto podría explicar las causas de las diferencias en la variable de ancho máximo de abdomen del sitio de Fracc. 20 De Noviembre II donde se realizan fumigaciones mensuales con una mezcla de piretroides y neonicotinoides.

## XI. CONCLUSIONES

Se comprueba la presencia de dimorfismo sexual en tamaño en la especie en las variables especificadas en la literatura, siendo así que las hembras poseen una mayor longitud y anchura de pronoto, largo y ancho de cabeza, mayor distancia entre ojos y entre ocelos y mayor ancho máximo de abdomen. En el caso de los machos las variables de largo y ancho de tegminas resultaron ser los caracteres con mayor longitud. Estas diferencias indican diferencias no solo morfológicas sino también ecológicas. No obstante, en lo que respecta a los resultados de los análisis de morfometría geométrica, se encontraron diferencias poco significativas entre ambos sexos, pues solamente dos de los componentes principales fueron significativos, las diferencias son muy sutiles entre sexos, lo que indica la necesidad de utilizar más armónicos para describir la forma del pronoto de manera más detallada, incluir otra estructura morfológica que persista a los hábitos caníbales de *P. americana*, o bien aplicar pruebas estadísticas con mayor poder para detectar efectos de menor magnitud.

En los resultados obtenidos de los análisis de morfometría lineal y geométrica se logró observar diferencias con significancia estadística en los sitios de colecta. Lo cual fue más evidente en las variables de morfometría lineal, donde se analizaron 21 variables, mientras que en las variables de morfometría geométrica, solo se analizó una variable. Esto habla de una diferencia morfológica potencial entre poblaciones de *P. americana* en la zona urbana de la ciudad de Durango y en la zona urbana de la ciudad de Nuevo Ideal.

Los resultados de la evaluación morfológica obtenidos en esta investigación indican que, sí existen diferencias morfológicas inter e intra poblacionales de *Periplaneta americana* en varias localidades urbanas de la ciudad de Durango como se planteó en la hipótesis y que mucho de esos cambios pudieran deberse a adaptaciones de *P. americana* a condiciones ambientales específicas de las zonas correspondientes. Como podría ser el caso de la aplicación constante de insecticidas químicos y de la intensidad

de actividad antropogénica, lo cual, en consecuencia, pudiera tener podrían tener un impacto sustancial en las poblaciones de *Periplaneta americana*.

## X. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos se recomienda someter a análisis geométrico otras estructuras morfológicas, estudiar patrones de movimiento de las poblaciones de *P. americana* en la ciudad, realizar una caracterización de los elementos urbanos de manera más puntual. Además de realizar investigaciones complementarias en más centros urbanos de distinta población y condiciones ecológicas como son los municipios de Nombre de Dios, Lerdo, Gómez Palacio, Pueblo Nuevo, y Vicente Guerrero, y comparar con algunos municipios de menor perturbación, como lo son en zonas rurales alejadas. Así mismo, es importante complementar con estudios genéticos y moleculares ya que al existir diferencias de morfología indicaría también diferencias en su genoma, lo que agregaría una capa de complejidad en el desarrollo y diferenciación de diversas poblaciones de este insecto. Se recomienda de igual forma realizar estudios que incluyan condiciones ambientales, abundancia y disponibilidad de los alimentos que *P. americana* tendría disponibles según la localidad o experimentos que analicen el efecto concreto de las presiones ambientales urbanas.

Otros estudios podrían enfocarse a la dinámica poblacional, tiempo de vida media y la capacidad de reproducción de *P. americana* bajo las condiciones actuales y realizar una correlación entre los sitios más fumigados comparados con los menos contaminados a la par de conocer el tipo de productos químicos y las dosis aplicadas de cada una de las áreas en donde se encontraron las mayores y menores diferencias morfológicas, lo cual permitiría tener un mejor control de la plaga y tener más alternativas de control con productos biodegradables y menos tóxicos para la salud de personas y animales.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, D. C., F. J. Rohlf, & D. E. Slice. (2004). Geometric Morphometrics: Ten years of progress following the 'Revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 71(1), 5-16.
- Alberti, M., J. Marzluff, & V.M. Hunt. (2017). Urban driven phenotypic changes: Empirical observations and theoretical implications for eco-evolutionary feedback. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372 (1712), 20160029. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0029>
- Bao, H., H. Gao, J. Zhang, H. Lu, N. Yu, X. Shao, Y. Zhang, W. Jin, S. Li, X. Xu, J. Tian, Z. Xu, Z. Li, & Z. Liu. (2020). Neonicotinoids stimulate H<sub>2</sub>-limited methane emission in *Periplaneta americana* through the regulation of gut bacterium community. *Environmental Pollution*, 285, 117237. <https://doi.org/10.1101/2020.09.21.307298>
- Barbara, K. A. (2014). American cockroach, *Periplaneta americana* (Linnaeus) (Insecta: Blattodea: blattidae). University of Florida. IFAS Extension, 1-4
- Bazán, R.N., & D. Denis. (2017). Evaluación del grado de dimorfismo sexual en una población natural cubana de *Periplaneta americana* (Blattaria: Blattidae). *Poeyana*, 505, 25–30.
- Beccaloni, G., & P., Eggleton. (2013). Order Blattodea. In: Zhang, Z.-Q. (Ed.) Animal Biodiversity: An Outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3703(1), 46-48 <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3703.1.10>
- Bell, W.J., & K.G. Adiyodi. (1981). *The American cockroach*. Chapman and Hall.
- Benítez, H.A., & T.A. Püschel. (2014). Modelando la varianza de la forma: morfometría geométrica aplicaciones en biología evolutiva. *International Journal of Morphology*, 32 (3), 998–1008. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000300041>
- Bignon, B., & J. Berger. (2025). In good form: Morphological adaptations to burrowing lifestyles in cockroaches (Dictyoptera: Blattodea). *Functional Ecology*, 39 (8), 1500–1515. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.70140>
- Bookstein, F.L. (1991). *Morphometric tools for landmark data: Geometry and biology*. Cambridge University Press.
- Borah, N., & Hazarika, L. K. (2019). Biology and morphometrics of *Periplaneta americana*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(1), 1206-1210.
- Brygadyrenko, V.V., & V.O. Slynko. (2015). Morphological variability of *Bembidion articulatum* (Coleoptera, Carabidae) populations: Linear dimensions depend on sex, while morphological indices depend on ecosystems. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 10 (1), 163–187.
- Buczowski, G. (2014). Urban pest management: the need for a correct mixture of knowledge and practice. In P. Dhang (Ed.), *Urban insect pests: sustainable management strategies* (pp. 195-204). CABI.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (s.f.). *Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvias*. Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado el 24 de Junio de 2025, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2024). *Sistemas de información geográfica*. Recuperado el 31 de octubre de 2024, de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (s. f.). *Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad [17,245] - CONABIO*. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2014). *Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía 2014 para la ciudad de: Victoria De Durango, Durango*.
- Cueto-Medina, S.M., A. Castillo-Martínez, L. Hernández-Rodríguez, F.J. Méndez Sánchez-Ramos, & A.I. Ortega-Morales. (2015). Atlas fotográfico de las cucarachas del semidesierto coahuilense, México. *Entomología Mexicana*, 2, 767–775.
- Dinno, A. (2015). Nonparametric pairwise multiple comparisons in independent groups using Dunn's test. *The Stata Journal*, 15(1), 292–300.
- Du, S., E. Tihelka, D. Yu, W. Chen, Y. Bu, C. Cai, M.S. Engel, Y. Luan, & F. Zhang. (2024). Revisiting the four Hexapoda classes: Protura as the sister group to all other hexapods. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(39), e2408775121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2408775121>
- Ejimadu, L.C., O.N. Goselle, Y.M. Ahmadu, & N.N. James-Rugu. (2015). Specialization of *Periplaneta americana* (American cockroach) and *Blattella germanica* (German cockroach) towards intestinal parasites: a public health concern. *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 6, 23-32.
- Elsayed A.H. Elamir. (2015). Kruskal-Wallis test: A graphical way. *International Journal of Statistics and Applications*, 5(3), 113–119. <https://doi.org/10.5923/j.statistics.20150503.03>
- Estrada-Álvarez, J.C. (2013). Primera lista de las cucarachas de México (Dyctyotera: Blattodea). *Boletín de la SEA*, 53, 267–284.
- Galante, E. (2023). Insectos, biodiversidad amenazada en un mundo cambiante. *Ecología Política*, 66, 43–50.
- Gobierno del Estado de Durango. (s. f.). *Nuevo Ideal*. Recuperado el 15 de junio de 2025, de [https://eclipsesolar.durango.gob.mx/Nuevo\\_Ideal.html](https://eclipsesolar.durango.gob.mx/Nuevo_Ideal.html)
- Grimaldi, D., & M.S. Engel. (2005). *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press.
- Hagenbuch, B.E., P.G. Koehler, R.S. Patterson, & R.J. Brenner. (1988). Peridomestic cockroaches (Orthoptera: Blattidae) of Florida: their species composition and suppression. *Journal of Medical Entomology*, 25(5), 377–380.
- Hernández-Rodríguez, S., M. T Valdés-Perezgasga, J. López-Hernández, F. García-Espinoza, A. Castillo-Martínez, & S. M. Cueto-Medina, (2015). Cucarachas (Hexapoda: Blattodea) del municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México. *Entomología Mexicana*, 2, 695-700.
- Hsu, H., S., Salamatian & F.P., Calmon. (2019). Correspondence Analysis Using Neural Networks. *Proceedings of the Twenty-Second International Conference on Artificial Intelligence and Statistics*, in *Proceedings of Machine Learning Research*, 89, 2671–2680.
- INEGI, (2019). 'Manzanas por localidad, 2019', escala: 1:250000. edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Extraído de <https://www.inegi.org.mx> Aguascalientes, México.
- INEGI, (2024). 'AGEE Área Geoestadística Estatal', escala: 1:250000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, Ciudad de México.
- INEGI, (2024). 'AGEM Área Geoestadística Municipal', escala: 1:250000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, Ciudad de México.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Aspectos geográficos Durango 2021*. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen\\_10.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_10.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Ita-Rubio de, L., Escamilla-Herrera, I., García-de León, C. y Soto-Núñez, Ma. C. (1990). 'División Política Estatal 1:4000000', I.1.2. Atlas Nacional de México. Vol. I. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Jaramillo-Ramirez, G.I., H. Cárdenas-Henao, R. González-Obando, & C.Y. Rosero-Galindo. (2010). Genetic variability of five *Periplaneta americana* L. (Dyctioptera: Blattidae) populations in southwestern Colombia using the AFLP molecular marker technique. *Neotropical Entomology*, 39, 371–378.
- Kaya, M., & T. Baran. (2015). Description of a new surface morphology for chitin extracted from wings of cockroach (*Periplaneta americana*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 75, 7–12.
- Kim, T.K. (2017). Understanding one-way ANOVA using conceptual figures. *Korean Journal of Anesthesiology*, 70(1), 22–26. <https://doi.org/10.4097/kjae.2017.70.1.22>
- Komlyk, V.O., & V.V. Brygadyrenko. (2019). Morphological variability of *Bembidion aspericolle* (Coleoptera, Carabidae) populations in conditions of anthropogenic impact. *Biosystems Diversity*, 27(1), 21–25. <https://doi.org/10.15421/011903>
- Kuhl, F.P., & C.R. Giardina. (1982). Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing*, 18(3), 236–258.
- Legendre, F., A., Nel, G.J, Svenson, T. Robillard, R. Pellens, & P. Grandcolas, (2015). Phylogeny of Dictyoptera: Dating the origin of cockroaches, praying mantises and termites with molecular data and controlled fossil evidence. *PLOS ONE*, 10(7), e0130127. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130127>
- Li, D., W. Li, Y. Chen, L. Liu, D. Ma, H. Wang, L. Zhang, S. Zhao, & Q. Peng. (2018). Anti-fibrotic role and mechanism of *Periplaneta americana* extracts in CCl<sub>4</sub>-induced hepatic fibrosis in rats. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 50(5), 491–498. <https://doi.org/10.1093/abbs/gmy024>
- Li, S., S. Zhu, Q. Jia, D. Yuan, C. Ren, K. Li, S. Liu, Y. Cui, H. Zhao, Y. Cao, G. Fang, D. Li, X. Zhao, J. Zhang, Q. Yue, Y. Fan, X. Yu, Q. Feng, . . . S. Zhan. (2018). The genomic and functional landscapes of developmental plasticity in the American cockroach. *Nature Communications*, 9(1), 1008.
- López-Galán, A. (2016). Morfometría geométrica: el estudio de la forma y su aplicación en biología. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 19(55), 53–59.
- López-Sampson, A., & T. Page. (2018). Elliptical Fourier descriptors of leaf outlines: A tool to discriminate among *Aquilaria* species (Thymelaeaceae). *Silvae Genetica*, 67(1), 89–92. <https://doi.org/10.2478/SG-2018-0012>
- Lucañas, C. (2023). Revisions on the genus *Periplaneta* Burmeister, 1838 (Blattodea: Blattidae: Blattinae) part 1: two new genera from the Philippines and Borneo. *Oriental Insects*, 57(3), 951–966. DOI: 10.1080/00305316.2022.2164804
- Lucañas, C.C., I.L. Lit Jr, M.N.R.M. Quibod, P.R.D. Bicaldo, & A.R. Larona. (2022). New records of cockroaches from caves in Samal Island, Philippines, with notes on the invasive *Periplaneta americana* (L.) (Blattodea: Blattidae). *Philippine Entomologist*, 36, 15–24.

- Marramà, G., & J. Kriwet. (2017). Principal component and discriminant analyses as powerful tools to support taxonomic identification and their use for functional and phylogenetic signal detection of isolated fossil shark teeth. *PloS one*, 12(11), e0188806.
- Moskalev, A., S. Zhikrivetskaya, G. Krasnov, M. Shaposhnikov, E. Proshkina, D. Borisoglebsky, & A. Kudryavtseva. (2015). A comparison of the transcriptome of *Drosophila melanogaster* in response to entomopathogenic fungus, ionizing radiation, starvation and cold shock. *BMC Genomics*, 16(Suppl 13), S8. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-16-S13-S8>
- Nanda, A., B.B. Mohapatra, A.P.K. Mahapatra, A.P.K. Mahapatra, & A.P.K. Mahapatra. (2021). Multiple comparison test by Tukey's honestly significant difference (HSD): Do the confident level control type I error. *International Journal of Statistics and Applied Mathematics*, 6(1), 59-65.
- Nasirian, H., & A. Saghafipour, (2021). Efficacy of several insecticide formulations against *Periplaneta americana* (Linnaeus, 1758) (Blattaria: Blattidae) in sewers. *Bangladesh Journal of Medical Science*, 20(3), 569-585.
- Nasirian, H., & A. Salehzadeh. (2019). Control of cockroaches (Blattaria) in sewers: A practical approach systematic review. *Journal of Medical Entomology*, 56(1), 181–191. <https://doi.org/10.1093/jme/tjy157>
- Pandit, P., K.N. Krishnamurthy, & K.B. Murthy. (2020). Algebraic and geometric basis of principal components: An overview. *Journal of Reliability and Statistical Studies*, 13(01), 73–86. <https://doi.org/10.13052/jrss0974-8024.1314>
- Pascual Torres, F. (2015). Clase Insecta, Orden Blattodea. *Revista IDE@-SEA*, 48, 1-13.
- Rohlf, F.J., & L.F. Marcus. (1993). A revolution in morphometrics. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(4), 129–132. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90024-J](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90024-J)
- Rust, M.K., D.A. Reiersen, & K.H. Hansgen. (1991). Control of American cockroaches (Dictyoptera: Blattidae) in sewers. *Journal of Medical Entomology*, 28(2), 210–213.
- Santana, Ó.F. (1991). El análisis de cluster: aplicación, interpretación y validación. *Papers: Revista de Sociología*, (37), 65–76.
- Schaphmeer, C., G. Sandoval, & C.A. Villagra. (2018). Pest cockroaches may overcome environmental restriction due to anthropization. *Journal of Medical Entomology*, 55(5), 1357–1364. <https://doi.org/10.1093/jme/tjy106>
- Suiter, D.R., R.S. Patterson, & P.G. Koehler. (1998). Seasonal incidence and biological control potential of *Aprostocetus hagenowii* (Hymenoptera: Eulophidae) in treehole microhabitats. *Environmental entomology*, 27(2), 434–442.
- Trebuña, P., & J. Halčínová. (2013). Mathematical tools of cluster analysis. *Applied Mathematics*, 4(5), 814–816.
- Wang, Z., Y. Shi, Z. Qiu, Y. Che, & N. Lo. (2017). Reconstructing the phylogeny of Blattodea: robust support for interfamilial relationships and major clades. *Scientific Reports*, 7(1), 1–8.
- Wanninger, A. (2015). Morphology is dead – long live morphology! Integrating MorphoEvoDevo into molecular EvoDevo and phylogenomics. *Frontiers In Ecology and Evolution*, 3, 54. <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00054>
- Zahn, C.T., & R. Roskies. (1972). Fourier Descriptors for Plane Closed Curves. *IEEE Transactions on Computers*, 21(3), 269–281. <https://doi.org/10.1109/TC.1972.5008949>

Zhu, F., Lavine, L., O'Neal, S., Lavine, M., Foss, C., & Walsh, D. (2016). Insecticide Resistance and Management Strategies in Urban Ecosystems. *Insects*, 7(1), 2. <https://doi.org/10.3390/insects7010002>