Análisis de la variación ecomorfológica de dos especies de abejas sin aguijón *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta* (Apidae; Apinae; Meliponini) en Colombia

Rodrigo Esteban García-León[1]- ro.garcia@javeriana.edu.co

[1]Estudiante de pregrado en Biología, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia.

1. Resumen:

La variación morfológica de abejas sin aguijón en su gradiente de distribución es un fenómeno ampliamente documentado. En Colombia *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta* son dos especies muy similares morfológicamente, variando ligeramente en tamaño y color. Están reportadas en al menos 10 departamentos de Colombia, en un rango altitudinal que va de los 0msnm a los 2640msnm. Esto supone que, según el lugar, estas especies estarían sometidas a diferentes presiones, que pueden ser asociadas a diferencias en su morfología. El objetivo de este trabajo consistió analizar la variación morfológica de estas dos especies, empleando morfometría geométrica, herramienta que permite capturar con gran éxito la variabilidad morfológica de estructuras biológicas mediante la delimitación de puntos específicos en estas; en este caso, y mediante revisión de literatura, se definieron las siguientes estructuras: ala anterior, ala posterior, basitarso y tibia de la pata posterior, mesosoma y cabeza para ambas especies. Una vez obtenida la variabilidad del espacio tangente de la forma de estas estructuras, mediante un análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés), se procedió a enfrentar estas diferencias entre los lugares de registro de los individuos mediante de un análisis de variantes canónicas (CVA, por sus siglas en inglés). Posteriormente, se analizó las asociaciones entre variables geográficas y climatológicas (altitud, año, temperatura anual promedio, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación) propias de cada lugar y la variación morfológica de las estructuras mediante el método de cuadrados mínimos parciales de dos bloques de datos (2B-PLS) para correlacionar la covarianza entre la información morfológica y las variables de los lugares. Finalmente, se comparó la respuesta de *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta* a estas variables mediante correlaciones del tamaño de las estructuras y las variables ambientales. Se encontró diferenciación morfológica entre las abejas de los diferentes lugares, asociación entre la variación morfológica y la variación de las condiciones ambientales de los lugares y tanto similitudes como diferencias en la correlación del tamaño de las estructuras con las condiciones de los lugares, destacando que se presentó evidencia tanto para la regla de Bergman como para la de Allen. Como conclusiones, tanto *T. amalthea* como *T. truculenta* presentan morfotipos propios de áreas de su distribución geográfica cuya variación morfológica estaría asociada a las variables evaluadas. Por tanto, es importante centrarse en la conservación local de estos diferentes morfotipos, ya que pueden representar servicios ecosistémicos específicos a las zonas en las que se encuentran.

Palabras Clave: Variación morfológica, morfometría, abejas sin aguijón, Regla de Bergman, Regla de Allen, morfometría geométrica.

2. Introducción:

Trigona amalthea y *Trigona truculenta* son especies de abejas sin aguijón (Meliponini), que hacen parte del grupo *Amalthea*, uno de los 9 grupos dentro del género *Trigona* Jurine, 1807 (Rasmussen & Camargo, 2008), un género de amplia distribución en el neotrópico (Camargo y Pedro, 2003, 2013 y Nogueira et al., 2020). En Colombia, *T. amalthea* y *T. truculenta* son de distribución simpátrica con presencia en al menos 10 departamentos entre los 0 msnm y 2640 msnm (Nates-Parra, 2001 y Hernández, 2004). Entre las características morfológicas más relevantes de estas abejas están que las obreras de las dos especies son insectos con tegumento predominantemente negro;

la mandíbula tiene 5 dientes a lo largo del borde apical; el labro es simple y el escapo con cerdas negras erectas, es de aproximadamente 0,5 veces el diámetro del escapo. La metatibia es agrandada y aplanada, con la superficie exterior cóncava y la corbícula desarrollada. Alas y venación oscurecidas o pardas con ápice gradualmente más claro; Metasoma subtriangular. La longitud total aproximada del cuerpo entre 7,9 y 9,6 mm (Ribeiro et al., 2023). Generalmente, los caracteres que ayudan a diferenciar a las obreras de *T. amalthea* de las de *T. truculenta* son el color tanto de las alas, de la venación y del tegumento, más negro que pardo para *T. amalthea*; y el tamaño corporal; siendo *T. truculenta* más grande (Hernández, 2004 y Ribeiro et al., 2023). Sin embargo, en cuestiones prácticas, durante la identificación de especímenes de estas especies, se encuentra la variabilidad en los individuos colectados en diferentes zonas del país, bien sea en tamaño y/o en coloración.

La evidencia de variación morfológica en abejas es un fenómeno común en múltiples estudios. Sin embargo, determinar estas diferencias morfológicas no siempre es una labor sencilla, por lo que recientemente se hace uso de la morfometría geométrica y/o lineal, una herramienta altamente efectiva (Francoy & Imperatriz-Fonseca, 2010). Con esta ha sido posible diferenciar subespecies o razas de *Apis mellifera* (Francoy et al., 2006, 2008; Oleksa & Tofilski, 2015), distinguir especies de *Euglossa* (Francoy et al., 2012) e incluso describir especies de *Bombus* a partir de registros fósiles (Wappler et al., 2012). Con respecto al grupo de las abejas sin aguijón, la morfometría geometría y/o lineal ha permitido caracterizar o diferenciar especies (dos Santos et al., 2019; Trianto & Purwanto, 2020 y Li et al., 2021), discernir entre machos y hembras en cinco especies diferentes (Francoy et al., 2009), observar variación en el tamaño de las reinas (Ribeiro & Alves, 2001) e incluso evidenciar variaciones morfológicas a nivel poblacional ya sea a nivel local (Mendes et al., 2007; Francisco et al., 2008 y May-Itzá et al., 2019), en diferentes grupos a lo largo de diferentes distribuciones (Quezada-Euán et al., 2007 ; Hernández et al. 2007 ; Bonatti et al., 2014 y Nates-Parra et al., 2021) o tanto a nivel local como en grupos dentro de una distribución (Lima Júnior et al., 2014).

Con respecto a la variación morfológica de insectos asociada a variables ambientales, es posible encontrar estudios donde se observa relación con la humedad relativa en variaciones en la forma y área transversal dendrítica del gusano de la seda (*Bombyx mori*) (Steinbrecht y Miller, 1991); también donde, simulando temporadas de menor o mayor precipitación, se observa la respuesta de mosquitos (*Anopheles arabiensis, A. gambiae* y *A. coluzzi*) a la desecación, encontrando diferencias en la forma y la cobertura de los espiráculos entre las temporadas en Burkina Faso (Mawai et al., 2016). También se registran trabajos como el de Lemic et al (2016), donde, además de reportar cambios en la forma del cuerpo de un curculiónido según su ubicación geográfica en Croacia (*Bothynoderes punctiventris*), esta variación se asocia a variables como la temperatura y la precipitación, además de la composición física y química del suelo. Un estudio muy similar con esta misma especie encontró a grandes rasgos los mismos resultados, pero en estado larval respecto de la forma de la capsula (Benitez et al., 2014). Por otra parte, Escobar-Suarez et al (2023) lograron encontrar diferencias significativas en la forma de ala anterior y posterior de la mariposa *Vanessa carye* en un gradiente altitudinal en Chile o el caso de las diferencias en la forma del ala anterior para poblaciones de la especie invasora *Cydalima perspectalis* en dos ambientes diferentes: terrestres de interior y de la costa de Croacia (Lemic et al., 2023).

En cuanto a abejas, la variación morfológica relacionada con variables ecológicas se ha centrado en el estudio del tamaño. Por mencionar algunos ejemplos, se tiene el estudio del impacto antrópico y la temporada en el tamaño de especies de Euglossinas como *Eulaema nigrita* y *Eulaema pleosticta*, donde no hay diferencias en el tamaño con respecto a zonas de diferente nivel de impacto antrópico, pero si diferencias en el tamaño del cuerpo según la temperatura y la humedad relativa para *E. pleosticta* (Silva et al., 2009). Otros estudios muestran cambios en el tiempo en especies que comparten caracteres ecológicos, donde hay una tendencia de cambio del tamaño corporal en el tiempo para tres especies de abejas en el noreste de Estados Unidos (Bartomeus et al., 2012); así como la variación tanto del tamaño corporal como de las alas en especies de abejas silvestres y *Apis mellifera* con respecto a la temperatura y la altitud en Alemania (Peters et al., 2016). Algunos de los ejemplos anteriormente

mencionados, son evidencia de patrones en abejas, asociados a reglas como la de Bergman, que indica una variación en el tamaño corporal influenciada por la variación de la temperatura ambiental (Bergmann 1847) o la de Allen donde los apéndices corporales disminuyen con respecto al incremento en la altitud (Allen, 1877).

Siendo Colombia un país con una geografía tan compleja, que permite tener gradientes ambientales extremos en muy poco terreno, es un área propicia para explorar la relación entre variaciones morfológicas asociables a condiciones ambientales. Por lo anterior, el siguiente trabajo propone analizar la variación morfológica de dos especies neotropicales, *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta,* asociada a variables geográficas y climáticas de algunos lugares dentro de su distribución en Colombia. De esta manera, se podrían identificar factores limitantes para el sostenimiento de sus poblaciones, información potencialmente aplicable para definir estrategias de conservación de los servicios ambientales de estos polinizadores. En consecuencia, se desea conocer si ¿Varían las estructuras morfológicas de la cabeza, mesosoma, alas y patas posteriores de *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta* en relación a diferentes variables geográficas y climáticas de su distribución en Colombia?

3. Materiales y Métodos

3.1. Especímenes utilizados:

Se utilizaron los especímenes de *Trigona amalthea* (n= 57) y *Trigona truculenta* (n=41) depositados tanto en seco como en liquido del Museo Javeriano de Historia Natural (MPUJ), identificados previamente mediante las claves de Hernández & Nates-Parra 2004 y Ribeiro et al., 2023. Los especímenes fueron colectados en 21 lugares diferentes de Colombia en un periodo de 30 años (Tabla 1). Fueron diseccionados los 98 individuos de ambas especies con el fin de trabajar individualmente con ala anterior, ala posterior, pata posterior, mesosoma y cabeza; estructuras seleccionadas por que además de representar la cantidad de información física que permite obtener la mayor variabilidad incluso a nivel interespecífico para el género *Trigona* (Schwarz, 1948 ; Almeida 1992 y Hernández et al., 2007), también han sido utilizadas como estructuras para la detección de diferencias morfológicas en otros estudios (Quezada-Euán et al., 2007; Francoy et al., 2009; Lima-Junior et al., 2014; Peters et al., 2016 y May-Itza et al., 2019). Las partes diseccionadas fueron depositadas en microtubos de centrifuga (2 mL) con alcohol etílico al 75%, para conservar a la vez que rehidratar aquellas estructuras que anteriormente estaban en colección seca.

3.2. Material fotográfico:

Se tomaron fotografías de los especímenes y sus estructuras utilizando una cámara Nikon D3500 acoplada a un estereoscopio de disección. Para la cabeza y el mesosoma fue empleado un aumento total de 3.6x ; para la pata y ala posterior fue empleado un aumento total de 1.8x; para el ala anterior fue utilizado un aumento de 2.4x. A las fotografías se les agrego una escala de papel milimétrico, bien en la fotografía o como referencia digital bajo la misma distancia focal. Para las alas se usó luz transmitida con el fin de resaltar la venación; a diferencia de la pata, el mesosoma y la cabeza donde se usó luz reflejada.

3.3. Variables geográficas y climatológicas:

Se utilizaron variables tanto geográficas como climatológicas además del año de colecta. Altitud y ubicación geográfica (latitud y longitud), proporcionadas por los datos de colecta registrados en la base de datos del MPUJ. Las variables de temperatura anual promedio (TanAvg) Humedad relativa (HR), Velocidad del viento (WS) y Precipitación (Prec) fueron obtenidas mediante la plataforma Prediction Of WorldWide Energy Resources de la NASA (POWER) ajustando la descarga de la información a la zona y año de colecta asociados a cada individuo con la mejor resolución posible otorgada por la plataforma de 0.5 x 0.625 grados.

3.4. Análisis morfológico:

Se realizaron medidas de morfometría geométrica mediante el material fotográfico obtenido de la cabeza, el ala anterior, el ala posterior, la pata anterior y el mesosoma. Sobre las fotografías digitalizadas se definieron puntos de referencia (landmarks) con el fin de representar la mayor información morfológica de cada estructura con la siguiente cantidad y distribución: Ala anterior 15 landmarks (Figura 1A), ala posterior 9 landmarks (Figura 1B), basitarso de la pata posterior 4 landmarks (Figura 1C),tibia de la pata posterior 4 landmarks (Figura 1D), mesosoma 11 landmarks (Figura 1E) y cabeza 18 landmarks (Figura 1F). Para esto se usó el software TPSDig2 versión 2.32 (Rohlf, 2015).

Tabla 1. Sitios de muestreo con ubicación geográfica y año mostrando la cantidad de individuos colectados de las especies *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta*. A cada lugar se le asignó una abreviatura que se usará en texto.

Departamento	Ciudad		Año	Lat	Lon	*Trigona amalthea*	*Trigona truculenta*
Amazonas			1993	-3.810	-70.273	1	-
			2002			1	-
			2003			4	-
	Leticia	Am_Le	2004	-4.130	-69.941	4	21
			2005			2	3
			2008			1	-
Antioquia	Rio Claro	An_RC	1994	5.5897	-75.867	3	-
Boyacá	Santa María	Bo_SM	2017	4.8830	-73.241	5	1
			2015	4.8746	-73.255	1	1
Caldas	Samaná	Ca_Sa	2021	5.5036	-75.000	2	-
Casanare	Tauramena	Cs_Ta	2014	5.0038	-72.773	1	-
Cundinamarca	Melgar	Cu_Me	1991	4.1966	-74.635	1	-
	Venecia	Cu_Ve	2019	4.0909	-74.458	6	2
Meta	Cumaral	Me_Cu	2001	4.0848	-73.403	1	-
	Restrepo	Me_Re	2003	4.2287	-73.526	1	-
	San Martin	Me_SM	2006	3.6688	-73.659	-	1
			2019	3.5317	-73.401	1	-
	Villavicencio	Me_Vi	2006	4.1787	-73.651	6	1
Quindío	Finlandia	Qu_Fi	2016	4.6809	-75.616	1	5
			1998	4.6699	-75.645	4	3
Risaralda	Pereira	Ri_Pe	1997	4.7247	-75.582	2	2
Tolima	Cambao	To_Ca	2000	4.9107	-74.748	-	1
	Cunday	To_Cu	2000	4.0612	-74.685	1	-
Valle del Cauca	Buga	Va_bu	2017	3.8834	-76.349	4	-
	Yotoco	Va_Yo	2017	3.8758	-76.435	4	-

Con el propósito de determinar que los landmarks fueron digitalizados correctamente y que la variación de los datos corresponde a la variación de la forma de cada estructura y no a errores en el proceso de digitalización, los landmarks fueron digitalizados nuevamente y se ejecutó un análisis de varianza (ANOVA) de Procrustes en el Software MorphoJ v.1.07a (Klingenberg, 2011) que permite calcular la medida del error comparando el valor de cuadrados medios; un valor de cuadrados medios del error menor a un valor de cuadrados medios del individuo indica que no hay error (Fruciano 2016, Angulo-Bedoya et al., 2019, Espinoza-Donoso et al., 2020). Tras obtener las coordenadas cartesianas de los respectivos landmarks de cada estructura se extrajo la información de la forma correspondiente mediante un análisis de Procrustes con el software MorphoJ v.1.07a (Klingenberg, 2011). El análisis de Procrustes es un método matemático que permite eliminar el sesgo generado por rotación, tamaño y traslación del objeto para obtener tan solo la información de su forma (Dryden and Mardia, 1998, Rohlf and Slice, 1990). El análisis de la variación de la forma de cada estructura se realizó mediante un PCA utilizando la matriz de covarianza de los individuos para cada estructura, diferenciados por especie de abeja. Posteriormente, fue ejecutado un CVA con el propósito de visualizar la diferenciación o similitud entre grupos, basado en la forma de la estructura según los grupos geográficos. Para evaluar la significancia de las diferencias de las formas de las estructuras entre los lugares se ejecutó un ANOVA de Procrustes. Para encontrar pares de grupos similares o diferentes, se utiliza la Distancia de Mahalanobis (DM, valor alto, indica diferencias y un valor bajo indica similitudes) y su significancia, la cual fue asegurada mediante test de permutación con 10,000 repeticiones aleatorias.

El análisis discriminante CVA se basa en datos de PCA para distinguir, de manera efectiva, grupos morfológicos maximizando la variación entre ellos (Escobar-Suárez et al., 2023). Tanto el PCA como el CVA y la prueba de permutación con distancias de Mahalanobis, fueron ejecutados en el software MorphoJ v.1.07a (Klingenberg, 2011) mientras que el ANOVA de Procrustes para la diferenciación entre grupos se ejecutó en el Software RStudio (RStudio Team, 2023) con el paquete geomorph v 4.0 (Baken et al., 2021 y Adams et al., 2023).

3.5. Forma y ambiente.

Con el propósito de determinar asociación entre las estructuras morfológicas y las variables geográficas y climatológicas, se realizaron análisis de mínimos cuadrados medios de dos bloques (2B-PLS), método escogido principalmente por el hecho de que las variables climatológicas suelen ser altamente colineales (Rohlf & Corti, 2000). Es un método ampliamente utilizado en estudios morfométricos basado en la descomposición de valores singulares de la matriz de covarianza mutua entre los conjuntos de variables (forma y variables geográficas y climatológicas), estimando pares correlacionados de combinaciones lineales (vectores singulares) entre los conjuntos de variables, generando variables latentes que explican en mayor medida la covarianza, maximizando la covariación entre los dos sets de variables (Rohlf & Corti, 2000). Para determinar la significancia de la asociación entre los conjuntos de variables, bajo una hipótesis nula de no asociación, fue empleada una prueba de permutación con 10000 repeticiones aleatorias. Este análisis junto con la prueba de permutación, fueron ejecutados en el software MorphoJ v.1.07a (Klingenberg, 2011).

3.6. Similitudes entre *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta*

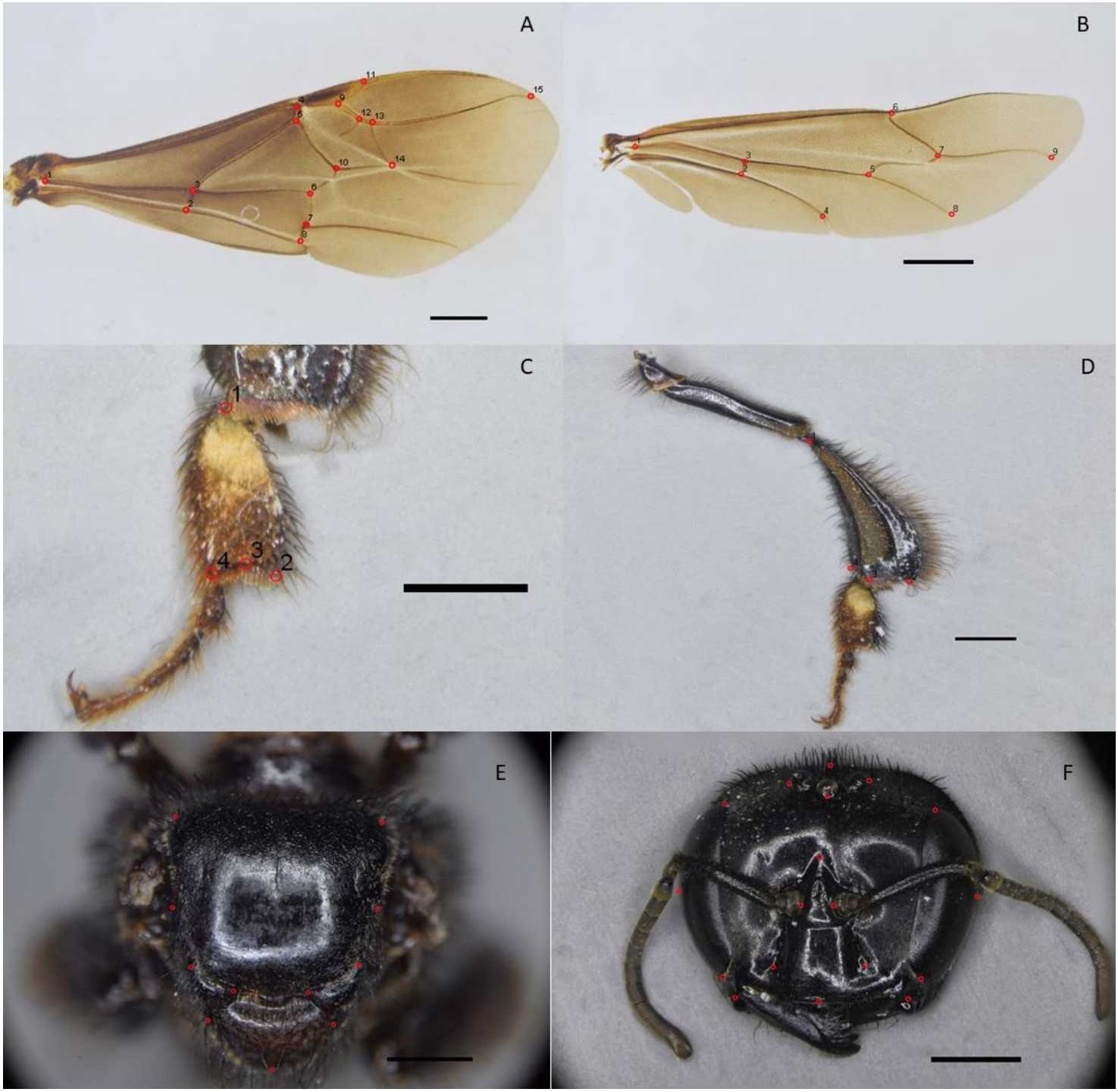


Figura 1 Digitalización de landmarks para el análisis de morfometría geométrica del (A) a la anterior *Trigona truculenta* señalando los 15 landmarks digitalizados; (B) ala posterior *Trigona amalthea* señalando los 7 landmarks digitalizados; (C) pata posterior de *Trigona truculenta* señalando los 4 landmarks digitalizados en el basitarso; (D) Pata posterior de *Trigona amalthea* señalando los 4 landmarks digitalizados en la tibia; (E) mesosoma de *Trigona truculenta* señalando los 11 landmarks digitalizados; (F) cabeza de *Trigona amalthea* señalando los 18 landmarks digitalizados. Escala corresponde a 1mm.

Para comparar la variación de cada estructura de *T. amalthea* y *T. truculenta* con respecto a las diferentes variables geográficas y climatológicas, se realizaron modelos de regresiones lineales usando el tamaño del centroide de cada estructura, una medida no directa del tamaño de la estructura calculada a partir de la suma de cuadrados de

la distancia entre los landmarks (Pacheco et al., 2017), con cada una de las diferentes variables geográficas y climatológicas.

De esta manera, también es posible observar si *T. amalthea* y *T. truculenta* se ajustan o no a diferentes reglas ecológicas, principalmente, la regla de Allen que siguiere que los apéndices corporales se vuelven relativamente más cortos a mayor altitud (Ray, 1960 y Ruttner et al., 2014) y la regla de Bergman, que sugiere una variación de tamaño corporal influenciado por variación de la temperatura ambiental, la latitud o la altitud (Bergman 1847; Blackburn et al., 1999 y Olalla-Tarranga 2011) Para determinar la significancia de los resultados, se realizaron pruebas de permutaciones con 10000 repeticiones aleatorias. Tanto las pruebas de regresiones lineales, como las pruebas de permutaciones, fueron ejecutadas en el software MorphoJ v.1.07a (Klingenberg, 2011).

4. Resultados

4.1. Error de medida

El ANOVA de Procrustes para la medida del error de cada una de las estructuras para ambas especies mostró que el valor del cuadrado medio del error fue menor al valor del cuadrado medio del individuo, tanto para la forma de la estructura como para el tamaño del centroide de cada estructura (Tabla S1). Por lo tanto, la variación obtenida en los datos es producto de la variación de la forma de cada estructura de cada individuo y no producto del error en la digitalización.

4.2. Forma según el lugar

Para el PCA del ala anterior de *T. amalthea* (AATA) los tres primeros componentes principales explicaron un 71,6% de la variación de la forma (PC1+PC2+PC3; 51,7%; 10,6%, 9,3%). Es decir, en cuanto a la forma, el eje representado por el PC1 cambia a través de la posición relativa en la altura de la intersección de la vena Rs con el borde distal del Ala representado por el Landmark (LM) 15; la posición relativa del largo de la intersección entre las venas Cu2 y Cu1 representado por el LM 7 y con respecto a la posición relativa en la altura de la inserción de la vena M+Cu en la base del ala representado por el LM 1 mientras que el eje representado por el PC2 varía con respecto a la posición relativa del largo de la intersección de la vena Rs con el borde del ala (LM15) y la posición relativa del largo de la intersección entre las venas Rs + M y 1m-cu (LM10), esto quiere decir que en aspectos generales la relación entre la posición de estos puntos en AATA representan la mayor variabilidad de su forma.

Para el PCA del ala posterior de *T. amalthea* (APTA) los tres primeros componentes principales explicaron un 63,6% de la variación de la forma (PC1+PC2+PC3; 30,5%; 21,5%; 11,6%). El eje representado por el PC1 varía a través de la posición relativa en la altura de la intersección de la vena Rs con el borde superior del ala (LM6); la posición relativa en el largo del final de la vena Cu (LM8) y con la posición relativa del largo de la intersección entre las venas M+Cu y cu-v (LM3), mientras que el eje representado por el PC2 varía a través de la posición relativa en el largo de la inserción de la vena M+Cu en la base del ala (LM1); la posición relativa en el largo del final de la vena Rs (LM9) esto quiere decir que en aspectos generales la relación entre la posición de estos puntos en APTA representan la mayor variabilidad de su forma.

Para el PCA del basitarso de la pata posterior (PBTA), los tres primeros componentes principales explican un 90,5% de la variación de la forma (PC1+PC2+PC3; 37,8%; 29,2%; 23,5%). El eje representado por el PC1 varía en la posición relativa en la altura de la esquina, donde se encuentran los pelos del penicillus (LM2) y la posición relativa en la altura del arco máximo en el borde inferior del basitarso (LM4); mientras que el eje representado por el PC2 varía en la posición relativa del ancho del punto de inserción de los tarsómeros en el basitarso (LM3) y la posición relativa del ancho de la esquina donde se encuentran los pelos del penicillus (LM2), esto quiere decir

que en aspectos generales la relación entre la posición de estos puntos en PBTA representan la mayor variabilidad de su forma.

Para el PCA de la tibia de la pata posterior (PTTA), los tres primeros componentes principales explican un 92,2% de la variación de la forma (PC1+PC2+PC3 ; 48%; 30,6%; 13,5%). El eje representado por el PC1 varía en la posición relativa en el alto de la esquina proximal de la base de la inserción de la espuela tibial (LM4) y en la posición relativa del alto en la espina tibial (LM2), mientras que el eje representado por el PC2 varía en la posición relativa en el ancho de la esquina proximal de la base de la inserción de la espuela tibial (LM4) y en la posición relativa del ancho de la esquina distal de la tibia (LM3), esto quiere decir que en aspectos generales la relación entre la posición de estos puntos en PTTA representan la mayor variabilidad de su forma.

Para el PCA del mesosoma (MTA), los tres primeros componentes principales explican un 65,6% de la variación de la forma (PC1+PC2+PC3; 37,6%; 16%; 11,9%). El eje representado por el PC1 varía en la posición relativa del largo de la base del ala anterior izquierda (LM3); la posición relativa del largo de la base del ala anterior derecha 4 (LM4) y la posición relativa del largo del borde anterior derecho del escutum (LM2); mientras que el eje del PC2 varía en la posición relativa del largo de borde anterior derecho del scutum (LM2); la posición relativa del largo de la esquina anterior derecha de la axila (LM9) y la posición relativa del ancho de la base del ala anterior izquierda (LM3), esto quiere decir que en aspectos generales la relación entre la posición de estos puntos en MTA representan la mayor variabilidad de su forma. Finalmente, para el PCA de la cabeza (CTA), los tres primeros componentes principales explican un 52,7% de la variación (PC1+PC2+PC3; 24%; 20,1%; 8,6%). El eje representado por el PC1 varía en la posición relativa del punto de mayor curvatura en el lado izquierdo de la cabeza sobre el eje y (LM1), la posición relativa del punto de mayor curvatura en el lado derecho de la cabeza sobre el eje y (LM8) y la posición relativa del alto del punto frontal (LM10), mientras que el eje representado por el PC2 varía en la posición relativa del punto de mayor curvatura del lado derecho de la cabeza en el eje y (LM8); la posición relativa del alto del punto medio entre los ocelos al borde de la cabeza (LM4) y la posición relativa del alto del punto frontal (LM10), esto quiere decir que en aspectos generales la relación entre la posición de estos puntos en AATA representan la mayor variabilidad de su forma.

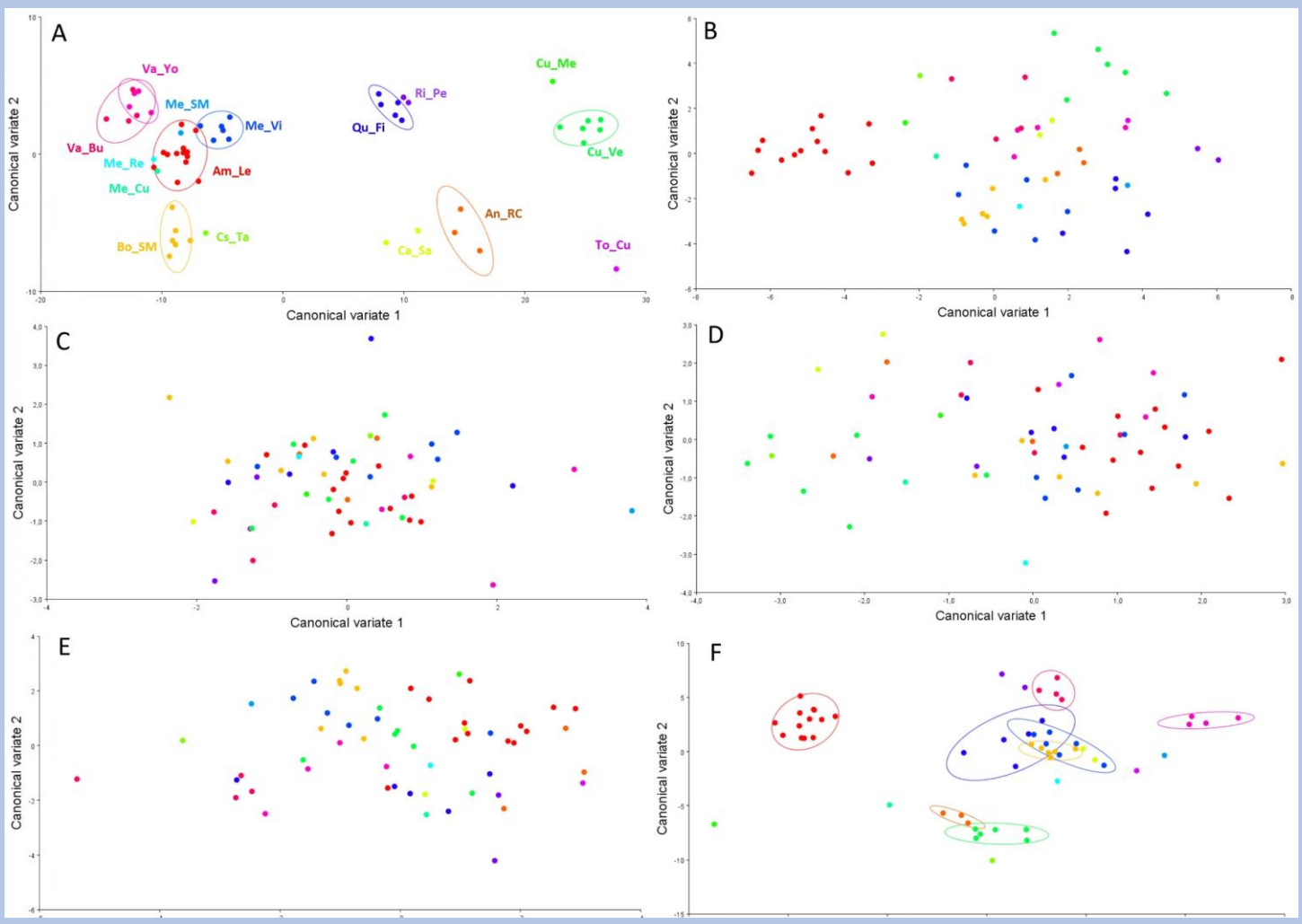


Figura 2. Análisis de varianza canónico de las diferentes estructuras analizadas en *Trigona amalthea;* Ala anterior (AATA)(A); Ala posterior (APTA) (B); Basitarso de la pata posterior (PBTA) (C); Tibia de la pata posterior (PTTA) (D); mesosoma (MTA) (E); y cabeza (CTA) (F); comparándolas entre lugares de registro Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

Para el PCA del ala anterior de *T. truculenta* (AATT), los tres primeros componentes principales explican un 69,7% de la variación de la forma (PC1+PC2+PC3;39,8%; 19,8%; 10%). El eje representado por el PC1 varía en la posición relativa del alto en la intersección de la vena Rs con el borde distal del ala (LM15); la posición relativa tanto del largo como el alto de la intersección de las venas r y el vestigio de la segunda abscisa de Rs (LM12), mientras que el eje representado por el PC2 varía en la posición relativa del largo en la intersección de la ven Rs con el borde distal del ala (LM15); la posición relativa del largo del inicio del stigma (LM4) y la posición relativa del largo de la intersección entre las venas M+Cu, cu-v, M y Cu (LM3), esto implica que en aspectos generales la relación entre la posición de estos puntos en AATT representan la mayor variabilidad de su forma.

Para el PCA del ala posterior de *T. truculenta* (APTT) los tres primeros componentes principales explican un 60,3% de la variación de la forma (PC1+PC2+PC3; 30,8%; 15,3%; 14,2%). El eje representado por el PC1 varía en la posición relativa del largo del punto final de la vena Rs (LM9); la posición relativa en el largo de la intersección de las venas M, y Rs (LM7) y la posición relativa del largo en el final de la vena V que separa el lóbulo vanal con el lóbulo distal del ala posterior (LM4), mientras que el eje representado por el PC2 varía en la posición relativa del alto de la intersección de la vena Rs con el borde superior del ala (LM6); la posición relativa del alto del punto final de la vena Rs (LM9) y la posición relativa del largo de la intersección de las venas M, M+Cu y Cu (LM5), es decir aspectos generales la relación entre la posición de estos puntos en APTT representan la mayor variabilidad de su forma.

Para el PCA del basitarso de la pata posterior (PBTT), los tres primeros componentes principales explican un 92,6% de la variación de la forma (PC1+PC2+PC3; 42,3%; 31,2% 19,1%). El eje representado por el PC1 varía en la posición relativa de la altura y el ancho de la esquina donde se encuentran los penicillus (LM2); mientras que el eje representado por el PC2 varía según la posición relativa del alto y punto sobre el eje x del punto máximo del arco del basitarso (LM3) por lo que la relación entre la posición de esquina de los penicillus y el punto de máximo arco PBTT representan la mayor variabilidad de su forma.

Para el PCA de la tibia de la pata posterior (PTTT), los tres primeros componentes principales explican un 91,1% de la variación de la forma (PC1+PC2+PC3 ; 52,3%; 23,3%; 15,5%). El eje representado por el PC1 varía en la posición relativa del alto de la esquina proximal de la base de inserción de la espuela tibial (LM4) y de la posición relativa del alto de la espina tibial (LM2), mientras que el eje representado por el PC2 varía en la posición relativa del ancho de la esquina proximal de la base de inserción de la espuela tibial (LM4) y en la posición relativa del ancho de la esquina distal de la tibia (LM3), esto quiere decir que en aspectos generales la relación entre la posición de estos puntos en PTTT representan la mayor variabilidad de su forma.

Para el PCA del mesosoma (MTT), los tres primeros componentes principales explican un 58,7% de la variación de la forma (PC1+PC2+PC3; 27,5%; 19,5%; 11,7%). El eje representado por el PC1 varía en la posición relativa del largo en la base del ala anterior derecha (LM4); la posición relativa del largo en la base del ala anterior izquierda (LM3) y la posición relativa del ancho en la base del ala anterior izquierda (LM3), mientras que el eje representado por el PC2 varía en la posición relativa del largo en la base del ala anterior derecha (LM4), la posición relativa del largo en la base del ala anterior izquierda (LM3) y la posición relativa en el ancho del borde anterior derecho del escutum (LM2), esto quiere decir que en aspectos generales la relación entre la posición de estos puntos en MTT representan la mayor variabilidad de su forma.

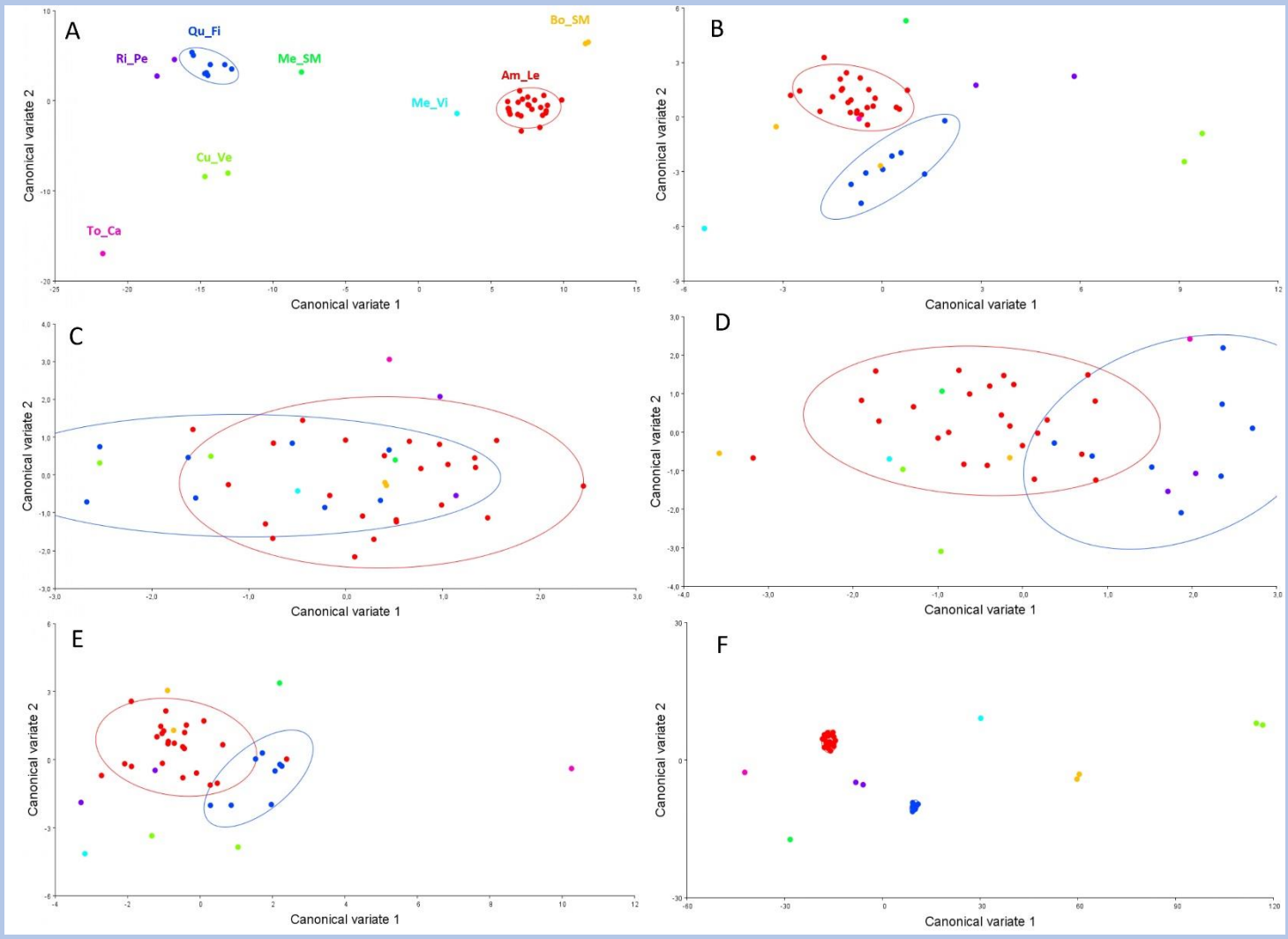


Figura 3. Análisis de varíables canónicas de la forma de las diferentes estructuras analizadas en *Trigona truculenta;* Ala anterior (AATT) (A); Ala posterior (APTT) (B); Basitarso de la pata posterior (PBTT) (C); Tibia de la pata posterior (PTTT) (D); mesosoma (MTT) (E); y cabeza (CTT) (F); comparándolas entre lugares de registro Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

Finalmente, para el PCA de la cabeza (CTT), los tres primeros componentes principales explican un 52,5% de la variación (PC1+PC2+PC3; 26,3%; 14,3% ; 11,9%). El eje representado por el PC1 varía en la posición relativa del punto de mayor curvatura en el lado izquierdo de la cabeza sobre el eje y (LM1); el punto de máxima curvatura en el lado derecho de la cabeza sobre el eje y (LM8) y el punto de mayor curvatura de la sutura epistomal en el lado derecho (LM16), mientras que el eje representado por el PC2 varía en la posición relativa del largo en la máxima altura del ojo izquierdo (LM2); la posición relativa en la altura de la máxima altura del ojo derecho (LM7) y la posición relativa del largo del punto frontal (LM10), es decir la relación entre el ancho de la cabeza y la altura máxima de los ojos representan la mayor variabilidad de la forma para CTT.

Los resultados de los CVAs de las estructuras de *T. amalthea* analizadas (Figura 2) agrupan o separan según similitudes o diferencias en la forma respectivamente, en ese sentido se aprecia que para AATA se separan a los grupos de Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve); Antioquia, Rio Claro (An_RC); Quindío, Finlandia (Qu_Fi) ; junto a los de Risaralda Pereira (Ri_Pe); Boyacá Santa María (Bo_SM); Caldas, Samaná (Ca_Sa); los lugares con único registro que se separan son los de Cundinamarca, Melgar (Cu_Me); Casanare, Tauramena (Cs_Ta) y Tolima, Cunday (To_Cu). Para los grupos de Amazonas, Leticia (Am_Le) y Meta, Villavicencio (Me_Vi) se puede apreciar un mínimo de solapamiento, mientras que, para Valle del Cauca, Buga (Va_bu) con Valle del Cauca, Yotocó (Va_Yo) el solapamiento es mayor. Finalmente, los registros únicos de Meta, Restrepo (Me_Re); Meta, Cumaral (Me_Cu) y Meta, San Martín (Me_SM), están altamente solapados con Am_Le (Figura 2A). El ANOVA de Procrustes confirma que existen diferencias significativas entre las formas del ala anterior para algunos de los grupos ($F= 6,72$; $p < 0,001$). Para las distancias de Mahalanobis entre los grupos, revisar la tabla S2.

Para APTA, se observa una separación del grupo formado por los individuos de Am_Le, y el grupo formado por los individuos de Ri_Pe y a los individuos tanto de Cs_Ta como Cu_Me mientras que los individuos de los grupos; Cu_Ve se solapan con los de Va_Yo, Va_bu y el individuo de To_Cu; los individuos del grupo, además de solaparse con los grupos ya mencionados, se solapa los individuos de los grupos Ca_Sa, Me_Vi, An_RC y Bo_SM; los individuos del grupo Me_Vi, también se solapa con los individuos del grupo Bo_SM, An_RC, Qu_Fi, y con los individuos de Me_Cu y Me_Re; los individuos del grupo de Qu_Fi, además de solaparse con los grupos ya mencionados, se solapa con los individuos del grupo Bo_SM y el individuo de Me_SM (Figura 2B). El ANOVA de Procrustes confirma que existen diferencias significativas entre las formas del ala posterior para algunos de los grupos ($F= 6,6312$; $p < ,0001$). Las distancias de Mahalanobis entre grupos pueden ser consultadas en la tabla S3.

Con respecto a PBTA Se observa un alto grado de solapamiento entre los grupos lo cual indica que, con respecto a esta estructura, no hay una diferenciación morfológica con respecto al lugar (Figura 2C). El ANOVA de Procrustes ejecutado para determinar las diferencias entre las formas del basitarso de la pata posterior de cada grupo, no mostro resultados significativos ($F= 1,225$; $p= 0,1819$). Las distancias de Mahalanobis, se encuentras en la tabla S4.

En el caso de la PTTA (Figura 2D) a pesar del alto grado de solapamiento que se percibe en el grafico del CVA, indicando una gran similitud para la forma de esta estructura entre los distintos grupos evaluados, el ANOVA de Procrustes muestra que hay diferencias significativas entre algunos de los grupos ($F= 2,0345$; $p= 0,0025$). Para un mejor análisis, las distancias de Mahalanobis pueden ser analizadas en la tabla S5.

Con respecto al MTA, se observa un alto grado de solapamiento entre Am_Le con los grupos An_RC, Bo_SM, Ca_Sa, Cu_Ve, Me_Vi, Qu_Fi, Va_Yo y con los individuos de Cu_Me y Me_Re; el grupo de An_RC se solapa, además de los grupos ya mencionados, con el grupo de Ri_Pe y el individuo de To_Cu; el grupo de Va_bu, se solapa con los grupos Qu_Fi, Cu_Ve y Va_Yo; el individuo de Me_Cu se solapa con el grupo Qu_Fi; el individuo de Me_SM se solapa con el grupo Me_Vi; finalmente, el individuo de Cs_Ta se separa de todos los grupos (Figura 2E). El ANOVA de Procrustes muestra que hay diferencias significativas entre las formas del mesosoma para algunos de los grupos ($F= 2,7994$; $p= 0,0025$). Las respectivas distancias de Mahalanobis entre los grupos, pueden ser analizadas en la tabla S6.

Finalmente, con respecto a la CTA se observan tanto solapamientos como separaciones entre los diferentes grupos. El grupo Am_Le se separa de todos los grupos; el grupo An_RC se solapa ligeramente con el grupo Cu_Ve; el grupo Bo_SM se solapa con los grupos Qu_Fi y Me_Vi el primero solapado además con Va_bu y el segundo solapado además con Ca_Sa; Ri_Pe no se solapa con ninguno de los grupos, pero aparece muy cerca de Va_bu; Va_Yo no se solapa con ninguno de los grupos; finalmente los individuos Cu_Me, Me_Cu, Cs_Ta, Me_Re, To_Cu y Me_SM no se solapan con ninguno de los grupos (Figura 2F). El ANOVA de Procrustes arroja diferencias significativas entre las formas de la cabeza para algunos de los grupos los grupos (F= 1,4442; p= 0,0039). Las distancias de Mahalanobis arrojaron resultados de distancias significativas para la mayoría de los grupos (Tabla S7).

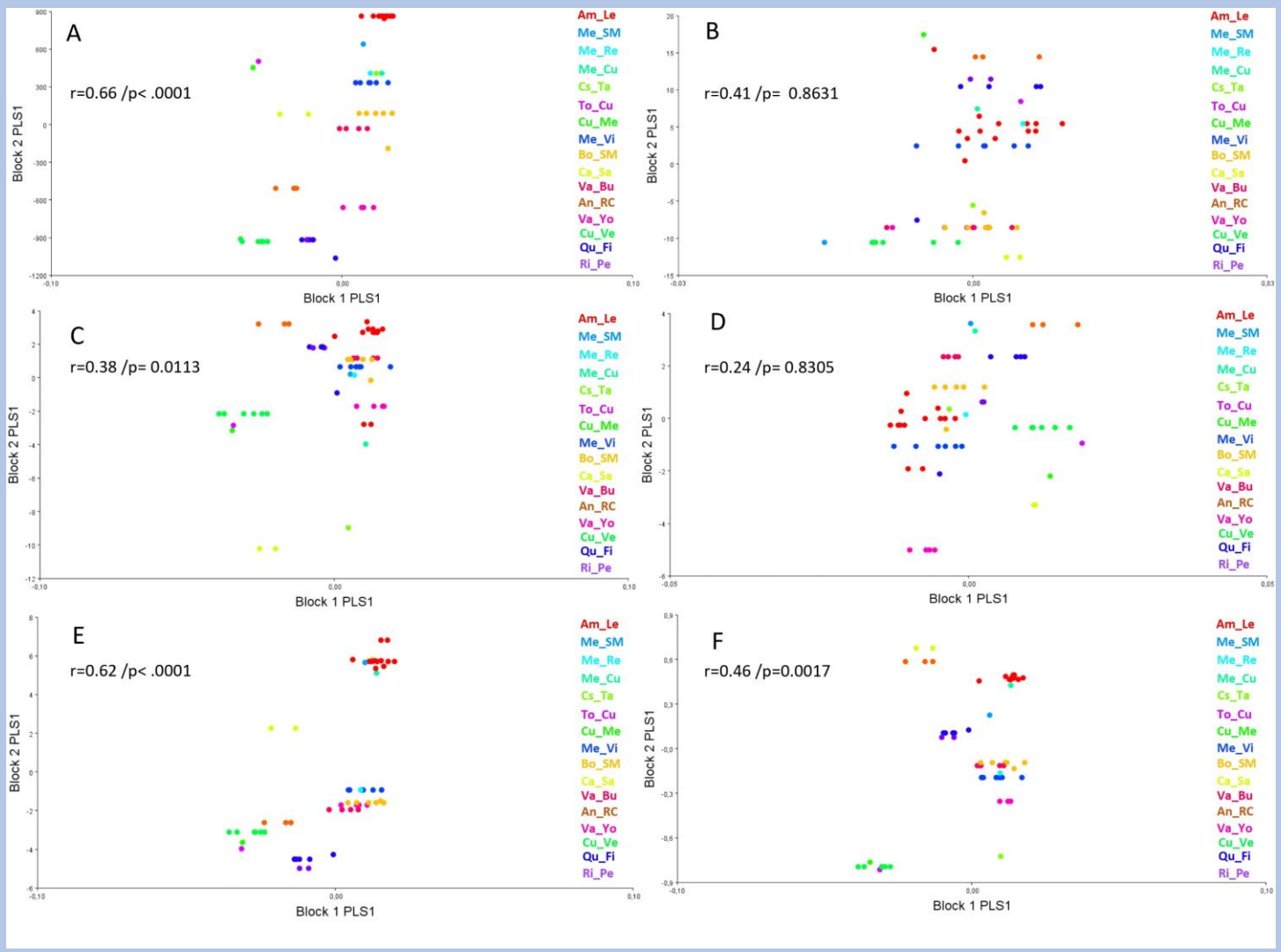


Figura 4. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma del ala anterior de *Trigona amalthea* (AATA) con varíables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro

Con respecto a los resultados de los CVAs para las estructuras de *T. truculenta* (Figura 3) , la separación entre grupos es más clara. Para AATT En este caso, se observa que todos los grupos están separados y no hay ningún solapamiento entre ellos lo cual indicaría que cada lugar presenta una forma particular para AATT (Figura 3A). El ANOVA de Procrustes arroja diferencias significativas entre las formas de ala anterior para los grupos (F= 5,2264; p < ,0001). Las distancias de Mahalanobis mostraron distancias significativas entre la mayoría de los grupos (Tabla S8).

Para APTT, aprecia una separación entre grupos con algunos solapamientos; el grupo Am_Le se solapa únicamente con el individuo de Tolima, Cambao (To_Ca); el grupo de Qu_Fi se solapa únicamente con Bo_SM; los grupos Ri_Pe y Cu_Ve y los individuos de Me_Vi, y Me_SM están separados los unos de los otros y no tienen solapamientos con algún otro grupo (Figura 3B). El ANOVA de Procrustes muestra que existen diferencias significativas entre las formas de ala posterior para los grupos (F= 3,7717; p < ,0001). Las distancias de Mahalanobis mostraron distancias significativas entre la mayoría de los grupos (Tabla S9).

Con respecto al PBTT se observa un solapamiento entre todos los grupos, a excepción del individuo de To_Ca el cual no se solapa con ninguno de los grupos (Figura 3C). El ANOVA de Procrustes no arroja diferencias significativas entre las formas del basitarso de la pata posterior para los grupos (F= 1,1557; p= 0,3125). Las distancias de Mahalanobis solo mostraron distancias significativas del grupo de Am_Le con Cu_Ve y Qu_Fi (Tabla S10).

Para la PTTT se observa que el grupo de Am_Le se solapa ligeramente con los grupos Qu_Fi, Bo_SM y Cu_Ve y se solapa en mayor medida con los individuos Me_SM y Me_Vi; además del solapamiento con Am_Le ya mencionado, el grupo Qu_Fi se solapa con el grupo Ri_Pe y el individuo To_Ca (Figura 3D). El ANOVA de Procrustes no arroja diferencias significativas en la forma de la tibia de la pata posterior para los grupos (F= 1,6097; p= 0,07399). Las distancias de Mahalanobis entre grupos pueden ser analizadas en la tabla S11.

En cuanto al MTT se observa un solapamiento entre los grupos Am_Le con Qu_Fi, Bo_SM y Ri_Pe; el grupo Cu_Ve no se solapa con ningún otro grupo, pero se sitúa cercano a los anteriormente mencionados, al igual que los individuos Me_Vi y Me_SM, finalmente el individuo de To_Ca no se solapa con ninguno de los grupos o individuos, situándose distante con respecto a los grupos e individuos (Figura 3E). El ANOVA de Procrustes no mostro diferencias significativas entre las formas de mesosoma para los grupos (F= 1,4182; p= 0,07039). Las distancias de Mahalanobis mostraron distancias significativas para algunos de los grupos (Tabla S12)

Finalmente, para la CTT se aprecia una separación total de los diferentes grupos, no hay solapamiento alguna apreciable (Figura 3F). El ANOVA de Procrustes arroja valores significativos para las diferencias entre las formas de cabeza para los grupos (F= 2,0423; p= 0,0005999). Las distancias de Mahalanobis mostraron distancias significativas para algunos de los grupos (Tabla S13).

4.3.Asociación entre forma y el clima mediante 2B-PLS

Los análisis de 2B-PLS de la forma del ala anterior de *T. amalthea* (AATA) con variables geográficas y climáticas (Figuras 4 y 6) indica las siguientes asociaciones; considerable y significativa con la altitud (RV= 0,3578; r = 0,66; p < ,0001) (Figura 4 A); considerable y significativa con TanAvg (RV= 0,3169; r= 0,62; p<,0001) (Figura 4E); baja y significativa con HR (RV= 0,1223; r= 0,38; p= 0,0113) (Figura 4 C); moderada y significativa con WS (RV= 0,1865; r = 0,46; p= 0,0017) (Figura 4 F); finalmente tanto el año cómo la precipitación no mostraron tener asociación con la forma del ala (año RV= 0,0139; r= 0,41; p =0,8631 ; Prec: RV= 0,0148; r= 0,24; p= 0,8305)) (Figuras 4 B y 4 D).

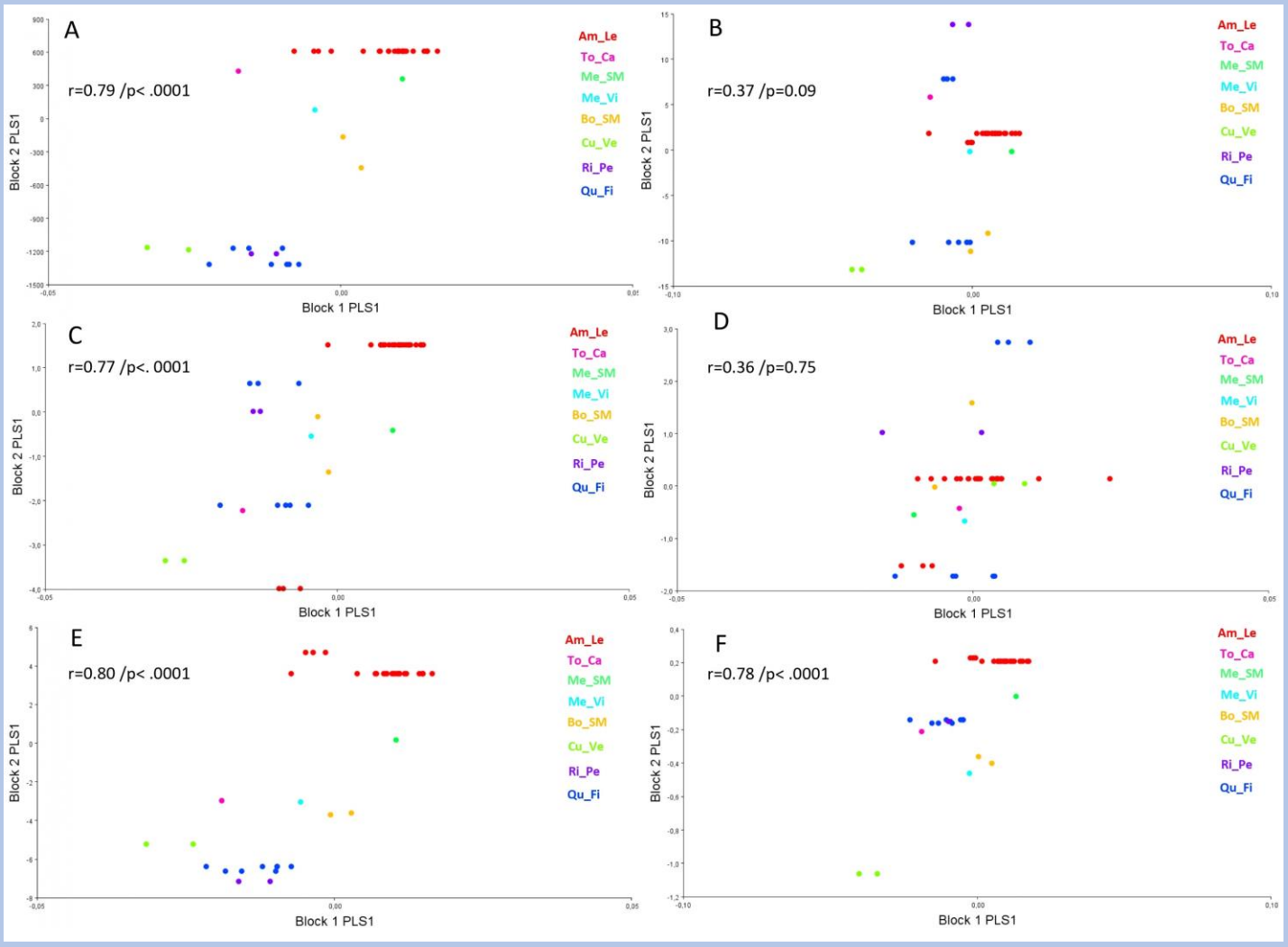
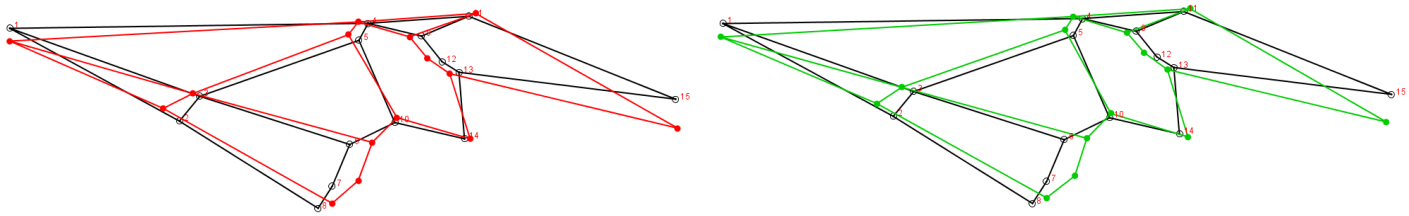


Figura 5. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma del ala anterior de *Trigona truculenta* (AATT) con varíables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila



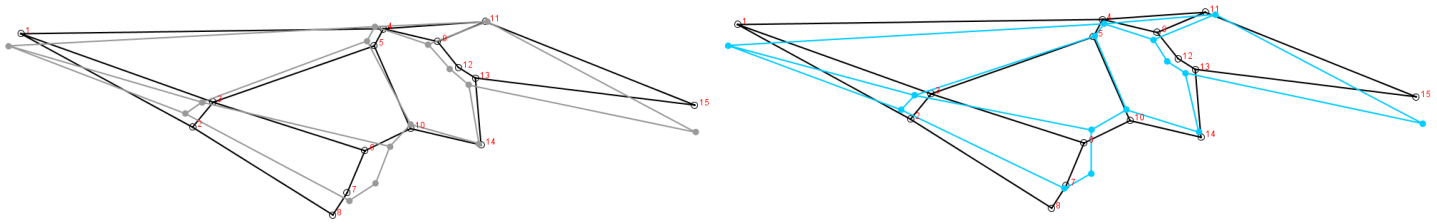


Figura 6. Wireframe de la covariación de la forma del ala anterior de *Trigona amalthea* extraída del PLS1 asociado a diferentes variables evaluadas. Negro: forma promedio; Rojo: Temperatura anual; Verde: Altitud; Gris: Velocidad del viento; Azul: Humedad relativa.

Con respecto a la forma del ala posterior de *T. amalthea* (APTA), los análisis de 2B-PLS (Figuras S1 y 7) indica asociaciones; alta y significativa con la altitud (RV= 0,3474; r= 0,75; p < ,0001) (Figura S1 A); al igual que con TanAvg (RV= 0,3018; r= 0,73; p< ,0001) (Figura S1 E); considerable y significativa con WS (RV= 0,1542; r= 0,54; p= 0,0015) (Figura S1 F). Las variables de año, HR y Prec no mostraron asociación con la forma (año: RV= 0,0664; r= 0,47; p= 0,1368; HR: RV= 0,0866; r= 0,40; p= 0,0538 y Prec: RV= 0,0649; r= 0,36; p= 0,15) (Figuras S1 B, C y D).

Para el basitarso pata posterior (PBTA), los 2B-PLS (Figura S3)no indican una asociación entre la forma y las variables evaluadas; altitud(RV= 0,0239; r; 0,18; p= 0,5689); año (RV= 0,0047; r= 0,14; p= 0,9620); TanAvg (RV= 0,0673; r= 0,32; p= 0,0868); HR (RV= 0,0247; r= 0,22; p= 0,5502); WS (RV= 0,0137; r=0,14; p=0,7786); y Prec (RV= 0,0576; r= 0,33; p= 0,1403).

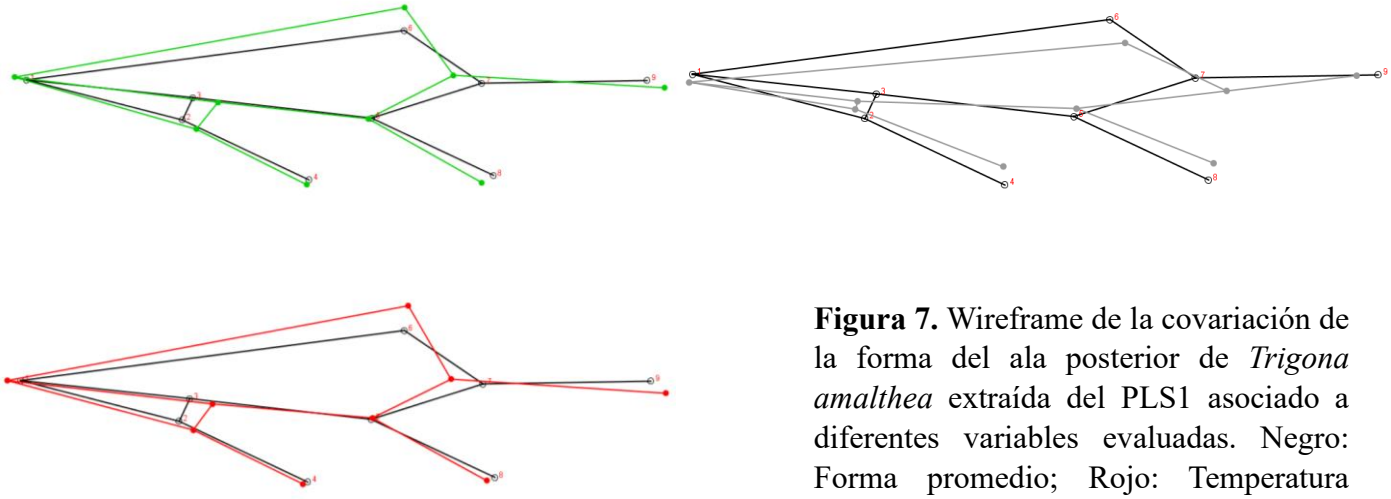


Figura 7. Wireframe de la covariación de la forma del ala posterior de *Trigona amalthea* extraída del PLS1 asociado a diferentes variables evaluadas. Negro: Forma promedio; Rojo: Temperatura anual; Verde: Altitud; Gris: Velocidad del viento.

Para la tibia de la pata posterior (PTTA) (Figuras S5 y 8), las asociaciones son moderada y significativa con la altitud (RV= 0,01067; r= 0,43; p= 0,0130)(Figura S5 A); moderada y significativa con HR (RV= 0,1280; r= 0,48; p= 0,0057) (Figura S5 C) al igual que con WS (RV= 0,1022; r= 0,37; p= 0,0176) (Figura S5 F), moderada y significativa año (RV= 0,1151; r = 0,41; p= 0,0102) (Figura S5 B); mientras que, con respecto a las demás variables, no fue apreciable una asociación, TanAvg (RV= 0,0420; r= 0,34; p= 0,2418) (Figura S5 E) y Prec (RV= 0,0182; r= 0,24; p= 0,6254) (Figura S5 E).

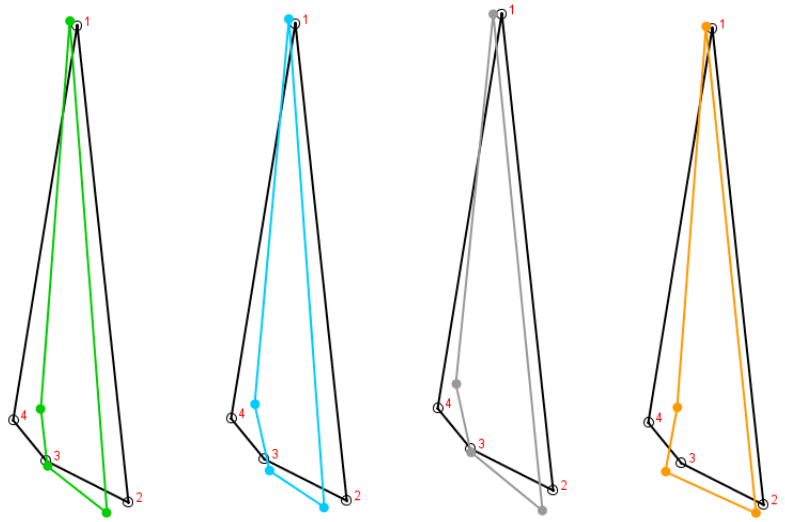


Figura 8. Wireframe de la covariación de la forma de la tibia de la posterior de *Trigona amalthea* extraída del PLS1 asociado a diferentes varíables evaluadas. Negro: Forma promedio; Azul: Humedad relativa; Verde: Altitud; Gris: Velocidad del viento; Naranja: Año

Con respecto al mesosoma (MTA) (Figuras S7 y 9), se puede observarse que únicamente existe una asociación moderada y significativa con el año (RV= 0,1241; r= 0,47757; p= 0,0088) (Figura S7 B); pues las demás variables no presentan asociación; altitud (RV= 0,0697; r= 0,39; p= 0,0972); TanAvg (RV= 0,0864; r= 0,39; p= 0,0517); HR (RV= 0,0382; r= 0,25; p= 0,4289); WS (RV= 0,0481; r= 0,33; p= 0,2766); Prec (RV= 0,0160; r= 0,23; p= 0,9274) (Figuras S7 A, C-F).

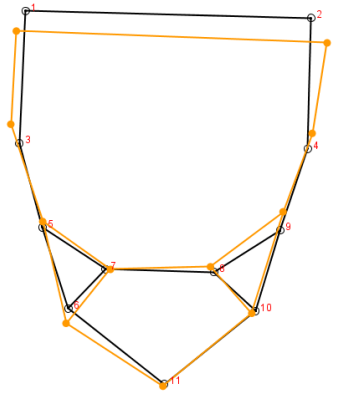


Figura 9. Wireframe de la covariación de la forma del mesosoma de *Trigona amalthea* extraída del PLS1 asociado a diferentes varíables evaluadas. Negro: Forma promedio; Naranja: Año.

Finalmente, para la asociación de la forma de la cabeza (CTA) (Figuras S9 y 10), se encontró una asociación alta y significativa con la altitud (RV= 0,1951; r= 0,78; p= 0,0002) (Figura S9 A); alta y muy significativa con TanAvg (RV= 0,2014; r= 0,81; p< ,0001); considerable y significativa con WS (RV= 0,1291; r= 0,61; p= 0,0087) (Figura S9 F); las demás variables no presentaron una asociación; año (RV= 0,0680; r= 0,42; p= 0,1898); HR(RV= 0,0906; r= 0,46; p= 0,0638); Prec (RV= 0,0487; r= 0,36; p= 0,4509) (Figuras S9 B-D).

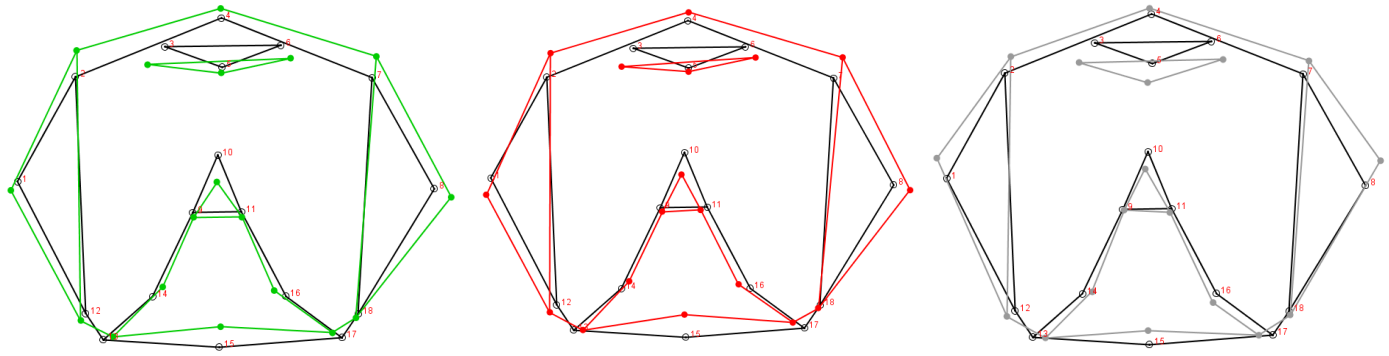


Figura 10. Wireframe de la covariación de la forma de la cabeza de *Trigona amalthea* extraída del PLS1 asociado a diferentes variables evaluadas. Negro: Forma promedio; Verde: Altitud; Rojo: temperatura; Gris: Velocidad del viento.

Con respecto a la asociación de la forma de las estructuras con variables geográficas y climáticas para *T. truculenta*, los resultados difieren con respecto a *T. amalthea*, con lo que respecto a la forma del ala anterior (AATT) (Figuras 5 y 11), se puede observar que hay una alta y significativa asociación con la Altitud (RV= 0,4786; r= 0,79675; p= <.0001) (Figura 5A); una alta y significativa asociación con TanAvg (RV= 0,4767; r= 0,80269; p< .0001) (Figura 5E), al igual que con HR (RV= 0,4055; r= 0,77033; p= <.0001)(Figura 5C); para WS la asociación también es alta y significativa (RV= 0,5047; r= 0,78706; p= <.0001) (Figura 5F) mientras que el año y la precipitación no presentaron asociación con la forma del ala anterior (año: RV= 0,0943; r= 0,37853; p= 0,0988 ; Prec: RV= 0,0306; r= 0,36238; p= 0,7521) (Figura 5 B y D).

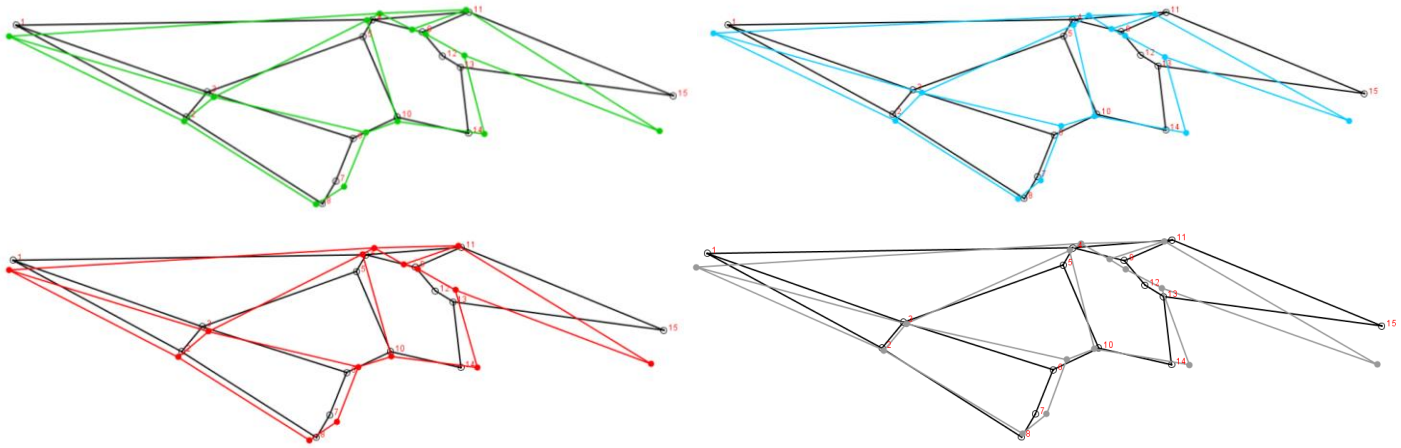


Figura 11. Wireframe de la covariación de la forma del ala anterior de *Trigona truculenta* extraída del PLS1 asociado a diferentes variables evaluadas. Negro: forma promedio; Rojo: Temperatura anual; Verde: Altitud; Gris: Velocidad del viento; Azul: Humedad relativa.

Con respecto al ala posterior (APTT) (Figuras S2 y 12), la asociación con la altitud es alta y muy significativa (RV= 0,4368 r= 0,80; p= <.0001) (Figura S2 A); al igual que la asociación con el año (RV= 0,1794; r= 0,74; p= 0,0057) (Figura S2 B), TanAvg (RV= 0,4455; r= 0,81; p< .0001) (Figura S2 E), HR (RV= 0,3148; r= 0,72; p= 0,0001) (Figura S2 C) y WS (RV= 0,3925; r= 0,78; p <.0001) (Figura S2 F), pero no para Prec con quien no hay asociación (RV= 0,0593; r= 0,40; p= 0,4267) (Figura S2 D).

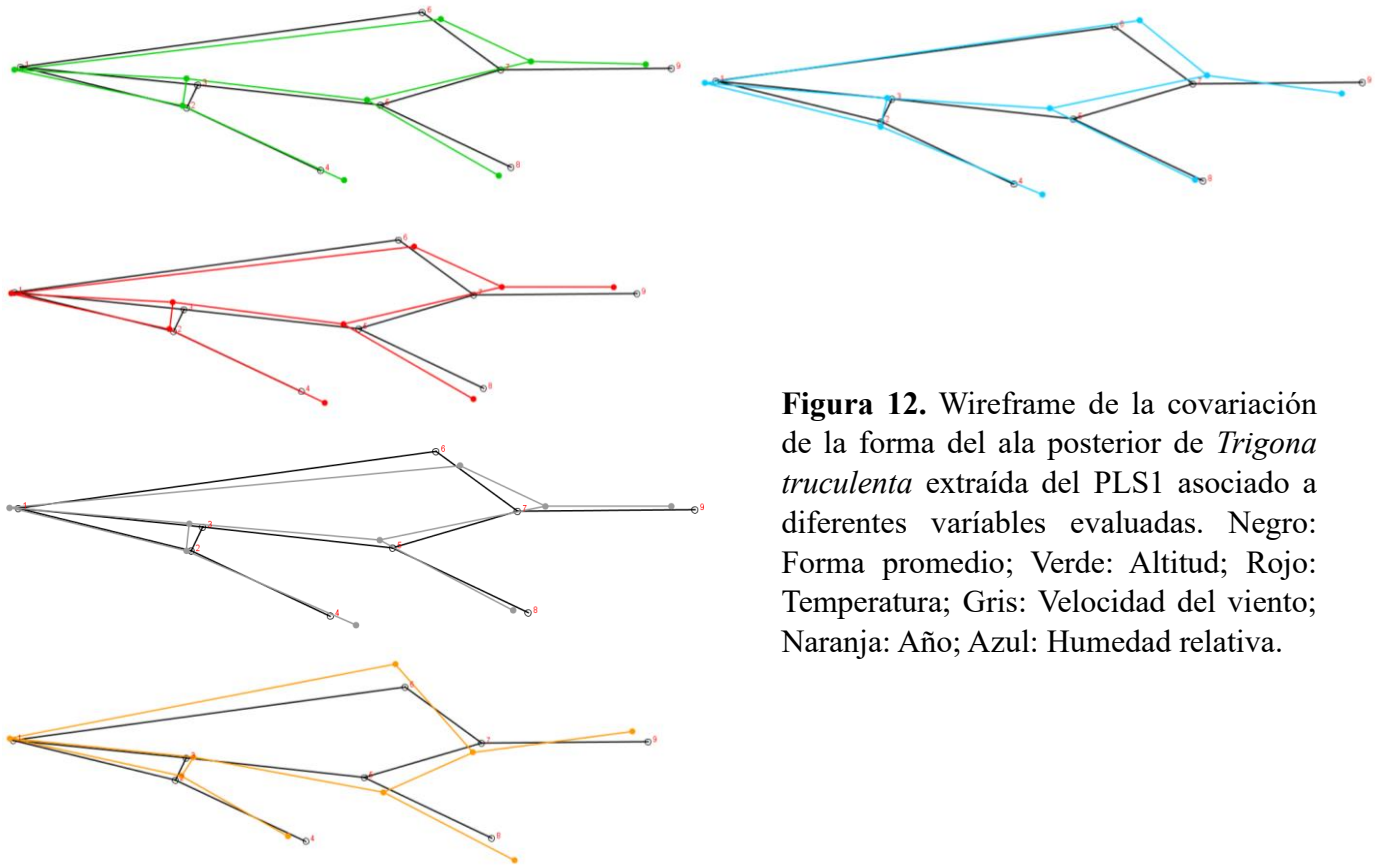


Figura 12. Wireframe de la covariación de la forma del ala posterior de *Trigona truculenta* extraída del PLS1 asociado a diferentes varíables evaluadas. Negro: Forma promedio; Verde: Altitud; Rojo: Temperatura; Gris: Velocidad del viento; Naranja: Año; Azul: Humedad relativa.

Para la forma del basitarso de la pata posterior (PBTT) (Figuras S4 y 13) solo se presenta una asociación moderada y significativa con WS (RV= 0,1152; r= 0,46; p= 0,0444) (Figura S4 F). Las demás variables no presentaron asociación; altitud (RV= 0,1065 r= 0,48; p= 0,0561); año (RV= 0,0311; r= 0,27; p= 0,5710); TanAvg (RV= 0,1068; r= 0,46; p= 0,0523) HR (RV= 0,0613; r= 0,35; p= 0,2335);), Prec (RV= 0,0581; r= 0,30; p= 0,2586). (Figuras A-E).

Figura 13. Wireframe de la covariación de la forma del basitarso de la pata posterior de *Trigona truculenta* extraída del PLS1 asociado a diferentes varíables evaluadas. Negro: Forma promedio; Gris: Velocidad del viento.

La forma de la tibia pata posterior (PTTT) (Figuras S6 y 14) se asocia de manera considerable y significativa con altitud la (RV= 0,1453 r= 0,55; p= 0,0158) (Figura S6 A), al igual que la asociación con TanAvg (RV= 0,1306; r= 0,50; p= 0,0273) (Figura S6 E) y WS (RV= 0,1264; r= 0,41; p= 0,0311) (Figura S6 F). Para las otras variables, no hay una asociación; año (RV= 0,0250; r= 0,25; p= 0,6239) (Figura S6 B); HR (RV= 0,0949; r= 0,35; p= 0,0703) (Figura S6 C); Prec (RV= 0,0240; r= 0,18; p= 0,6398) (Figura S6 D).

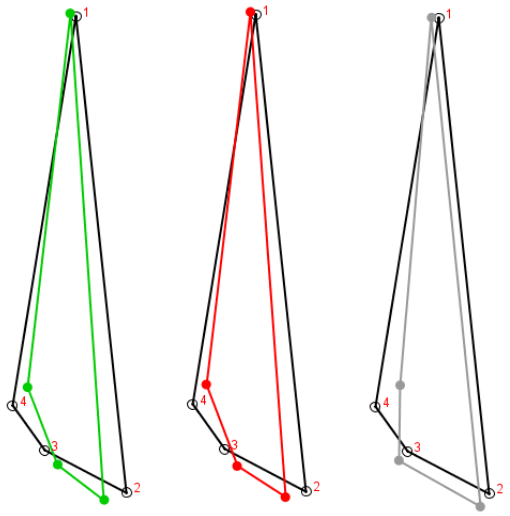


Figura 14. Wireframe de la covariación de la forma de la tibia de la pata posterior de *Trigona truculenta* extraída del PLS1 asociado a diferentes varíables evaluadas. Negro: Forma promedio; Verde: Altitud; Rojo: Temperatura; Gris: Velocidad del viento.

Para esta especie, la forma del mesosoma (MTT) (Figura S8) no presenta asociación alguna con las variables evaluadas; altitud (RV= 0,1061 r= 0,59; p= 0,0994); año (RV= 0,0808; r= 0,48; p= 0,2508); TanAvg (RV= 0,0963; r= 0,57; p= 0,1372); HR (RV= 0,0617; r= 0,45 ; p= 0,4580); WS (RV= 0,0580; r= 0,43; p= 0,4927); Prec (RV= 0,0636; r= 0,40; p= 0,4306).

Finalmente, con respecto a la forma de la cabeza (CTT) (Figuras S10 y 15), se presenta asociación alta y significativa con la altitud (RV= 0,2907 r= 0,87; p= 0,0001) (Figura S10 A), la TanAvg (RV= 0,3072; r= 0,88; p< ,0001) (Figura S10 E), HR (RV= 0,1659; r= 0,71 ; p= 0,0112) (Figura S10 C) y WS (RV= 0,2371; r= 0,83; p= 0,0012) (Figura S10 F) por lo que no hay asociación con Prec (RV= 0,1121; r= 0,48; p= 0,1050) (Figura S10 D), ni año (RV= 0,0665; r= 0,59; p= 0,4942) Figura S10 B).

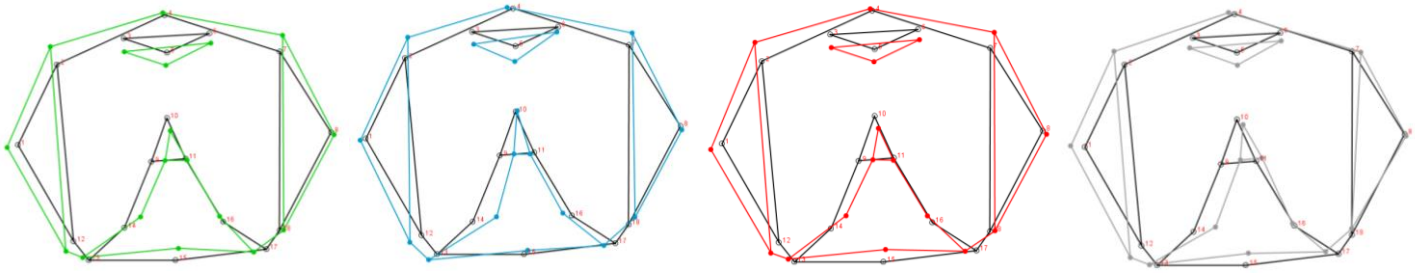


Figura 15. Wireframe de la covariación de la forma de la cabeza de *Trigona amalthea* extraída del PLS1 asociado a diferentes variables evaluadas. Negro: Forma promedio; Verde: Altitud; Azul: Humedad relativa; Rojo: temperatura; Gris: Velocidad del viento.

4.4.Regresiones

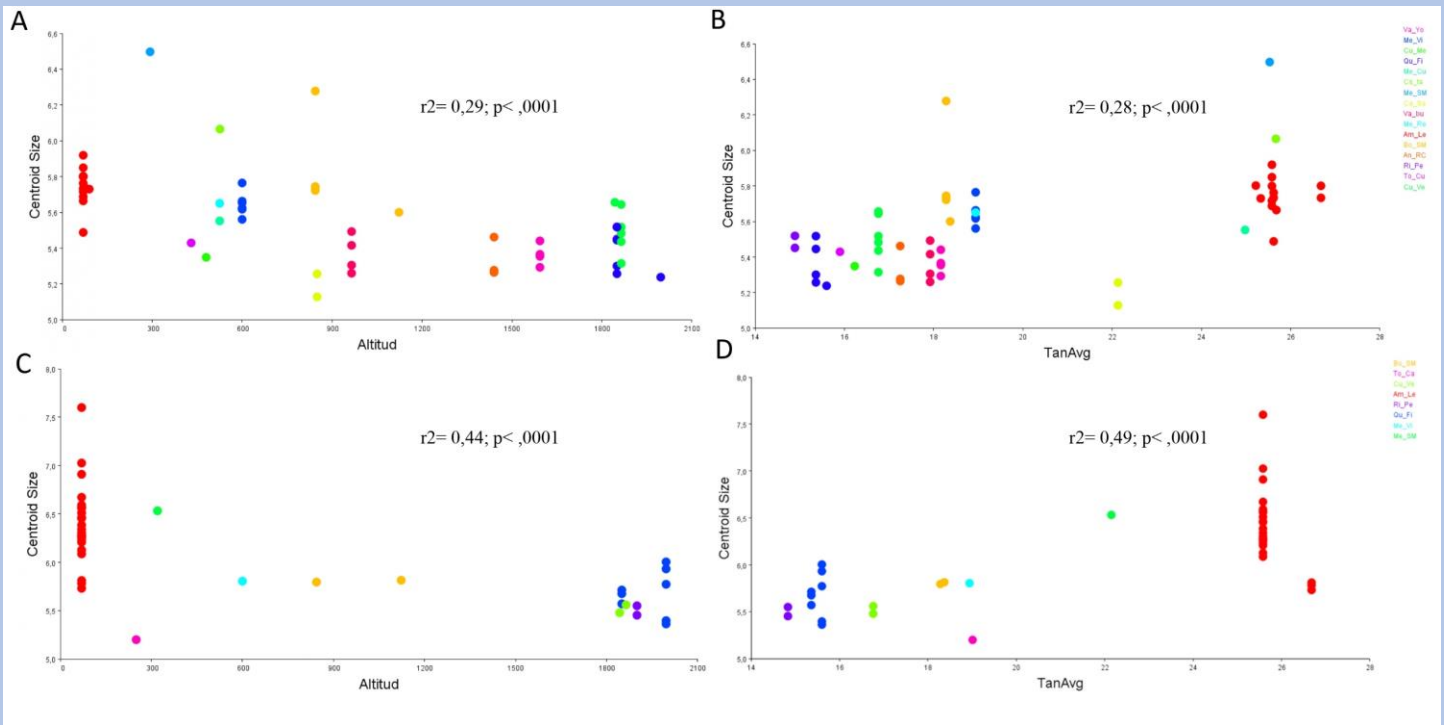


Figura 16. Análisis de regresión entre el tamaño del centroide de la cabeza de Trigona amalthea (A) y Trigona truculenta (C) y la altitud; análisis de regresión entre el tamaño del centroide de la cabeza de Trigona amalthea (B) y Trigona truculenta (D) y la temperatura anual promedio.

Para A y B Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

Para C y D Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

Trigona amalthea

Los análisis de regresión para las diferentes estructuras de *T. amalthea* mostraron que, con respecto al AATA (Figura S11), incrementó el tamaño al aumentar la TanAvg y la HR (Figuras. S11B , C; TanAvg r2= 0,14; p= 0,0034 ; HR r2= 0,09; p= 0,0240); para las demás variables no se observaron regresiones significativas (Figuras S11 A, D-F; altitud r2 = -0,06; p= 0,0653; Año r2 = 0,02; p = 0,2962 ; WS r2= -0,01; p= 0,4287 Prec r2= -0,0003; p= 0,647).

Con respecto a APTA (Figura S13), nuevamente el tamaño incrementa al aumentar la TanAvg y la HR (Figuras S13B , C; TanAvg r2= 0,1; p= 0,0102 ; HR r2= 0,13; p= 0,0061); para las demás variables no se observaron regresiones significativas (Figuras S13 A, D-F; altitud r2= 0,03; p= 0,1520; año r2= 0,003; p= 0,6505 ; WS r2= 0,01; p= 0,4244 ; Prec r2= 0,002; p= 0,7391).

El PBTA (Figura S15), tiende a disminuir su tamaño con respecto al aumento en la altitud (Figura S15A) r2= 0,18; p= 0,0012))y a incrementar a mayor temperatura (Figura S15B; r2= 0,26; p= 0,0002). Con las otras cuatro variables no se presentan regresiones significativas (Figuras 15 C-F; r2= 0,002; p= 0,7374 ; HR r2= 0,02; p= 0,2323 ; WS r2= 0,06; p= 0,0566 y Prec r2= 0,002; p= 0,8968).

La PTTA (Figura S17), al igual que PBTA, presentó una disminución de tamaño con el aumento en la altitud y un aumento de tamaño con el aumento en la TanAvg (Figura S17A , B; altitud r2= 0,13; p= 0,0037 ; TanAvg r2= 0,22; p< ,0001). No hay regresiones significativas con las demás variables evaluadas (Figuras S17 C-F; año r2= 0,004; p= 0, 6272 ; HR r2= 0,04; p= 0,1125 ; WS r2= 0,02; p= 0,2541 y Prec r2= 0,002; p= 0,7074).

Para MTA (Figura S19), con el incremento en altitud y en TanAvg, disminuyó e incrementó el tamaño respectivamente (Figuras S19 A , B; altitud r2= 0,10; p= 0,0169; TanAvg r2= 0,2; p= 0,0001). Las demás variables evaluadas no presentan regresiones significativas (Figuras S19 C-F; año r2= 0,002; p=0,7003 ; HR r2= 0,05; p= 0,0793; WS r2= 0,006; p= 0,8543 y Prec r2= 0,01; p= 0,3013).

Finalmente, con respecto al tamaño de la cabeza (CTA) (Figuras 16 y S21) la tendencia persiste, pues decrece su tamaño con la altitud y aumenta con la TanAvg, (Figura 16A, B; altitud: r2= 0,29; p< 0,0001 ; TanAvg: r2= 0,28; p< 0,0001). El año, la humedad relativa, la velocidad del viento y la precipitación no presentaron regresiones significativas (Figura S21; año: r2= 0,002; p=0,6875 ; HR: r2= 0,03; p= 0,1579 ; WS: r2= 0,007; p= 0,5377 ; Prec: r2= 0,03; p= 0,1762)).

Trigona truculenta

Para la especie *T. truculenta,* el tamaño de AATT (Figura S12) decrece con respecto a un aumento en la altitud y la WS (Figura S12 A, F; altitud r2 = 0,47; p< ,0001 ; WS r2= 0,47; p< ,0001) pero aumenta con respecto al aumento en la TanAvg y la HR (Figura S12 B , C; TanAvg r2= 0,6 ; p < ,0001 ; HR r2= 0,49; p< ,0001). Con respecto a la precipitación y el año no hay regresiones significativas (Figura S12 D , E; Prec: r2= 0,01; p= 0,4516 ; año: r2 = 0,07; p = 0,0787).

Para APTT (Figura S14) su tamaño disminuye con respecto al aumento en altitud, el año y la WS (Figuras S14 A, E y F; altitud r2= 0, 42; p< ,0001 ; año r2= 0,16; p= 0,0104 y WS r2= 0, 63; p< ,0001) pero aumenta con respecto al aumento en la TanAvg y la HR (Figuras S14 B y C; TanAvg r2= 0,55; p< ,0001 y HR r2= 0,48; p< ,0001). La Precipitación no presento una regresión significativa (Figura S14 D; r2= 0,01; p= 0,4370).

El PBTT (Figura S16) decrece con respecto al aumento en la altitud, el año y la WS (Figuras S16 A. E y F; altitud r2= 0,50; p< ,0001 ; año r2= 0,09; p= 0,0457 y WS r2= 0,36; p< ,0001); pero tiende a crecer con al aumento en TanAvg y HR (Figuras S16 B y C; TanAvg r2= 0,54; p< ,0001 y HR r2= 0,47; p< ,0001). La Precipitación no mostró regresión significativa (Figura S16 D; r2= 0,03; p= 0,2649).

Con la PTTT (Figura S18) decrece con la altitud y la WS (Figura S18 A y F; altitud r2= 0,45; p< ,0001; WSr2= 0,31; p< ,0001); pero aumenta con la TanAvg y la HR (Figura S18 B y C; TanAvg r2= 0,52; p< ,0001; HR r2= 0,43; p< ,0001. En cuanto la precipitación y el año no se presentaron regresiones significativas (Figura S18 D y E; Prec r2= 0,01; p= 0,4167 ; año r2= 0,05; p= 0,1381).

Con respecto al tamaño de MTT (Figura S20), decrece con el incremento en la altitud y la WS (Figuras S20 A y F; altitud r2= 0,51; p< ,0001 ; WS r2= 0,42; p< ,0001) y aumenta con respecto al aumento de TanAvg y la HR

(Figuras S20 B y C; TanAvg r2= 0,57; p< ,0001 ; HR r2= 0,62; p< ,0001). Por otro lado, las regresiones que no mostraron ser significativas son aquellas con las variables de precipitación y año (Figura S20 D y E; Prec r2= 0,02; p= 0,3409 ; año r2= 0,05; p=0,1631).

Con el tamaño de la CTT (Figuras 16 y S22) la tendencia se mantiene pues decrece con respecto al aumento de la altitud y la WS (Figuras 16C y S20D altitud r2= 0,44; p< ,0001 ; WS r2= 0,36; p= 0,0001) pero aumenta con respecto al aumento en la TanAvg y la HR (Figuras 16D y S22B; TanAvg r2= 0,49; p< ,0001 ; HR r2= 0,43; p< ,0001). Ni precipitación o año presentaron regresiones significativas (Figuras S22 A y C; Prec r2= 0,001; p= 0,7894 ; año r2= 0,03; p=0,2886).

5. Discusión

5.1. Forma según el lugar

Los resultados del presente estudio mostraron que existen diferencias morfológicas tanto del ala anterior, ala posterior y cabeza entre los grupos de individuos colectados en diferente localidad para *Trigona amalthea.* Para la especie *Trigona truculenta* se aprecia una mayor diferenciación entre grupos tanto para el ala anterior como para ala posterior y cabeza, e incluso logra apreciarse una clara diferenciación entre las formas presentadas para el mesosoma, y en menor medida para las formas del basitarso y la tibia por lo que es posible decir que tanto *Trigona amalthea* como *Trigona truculenta* presentan morfotipos característicos para algunas de las ubicaciones dentro de su distribución en Colombia. Esta diferenciación morfológica de una especie de abeja sin aguijón por ubicación geográfica en Colombia puede verse en otros trabajos con especies como *Tetragonisca angustula*, donde se logran aislar a la población de Villavicencio con respecto a las demás poblaciones que se presentan como un solo grupo en Cundinamarca mediante la variación morfológica presentada en la forma del ala anterior (Nates-Parra et al., 2021). Fuera de Colombia, la presencia de morfotipos abejas sin aguijón, distintivos entre ubicaciones especificas dentro de su distribución, puede verse en los registrados para *Melipona beecheii* donde se diferencian morfotipos entre Costa Rica, Yucatán y Cuba, estos dos últimas más similares con respecto a su conespecífico de Costa Rica; esto basados en análisis de morfometría lineal tanto de la cabeza, alas, patas y tamaño del cuerpo además del grado de maculación de la cabeza (Quezada-Euán et al., 2006). Algo semejante fue observado en Brasil con *Melipona subnitida*, en donde el análisis de morfometría geométrica del ala anterior muestra que, para seis ubicaciones geográficas diferentes, la especie presenta estructuras características en la forma para cada una de ellas (Bonatti et al., 2013).

Un resultado interesante presente en ambas especies es con respecto a los individuos de Amazonas Leticia, pues en al menos una de las estructuras analizadas, la diferenciación presentada por este grupo es mayor en relación a la diferenciación presentada entre los demás grupos, esto lo podemos explicar bajo la premisa de que en otras especies como las del género *Apis* se ha demostrado que a mayor distancia geográfica entre poblaciones, la probabilidad de separación por grupos en análisis multivariados es mayor (Hephburn & Radloff 1998 y Hephburn et al., 2001).

Es importante mencionar que, según los resultados del presente estudio, es muy probable que exista alometría entre las estructuras analizadas, esto se puede observar para *Trigona amalthea* por ejemplo con el ala anterior, los grupos del Valle del Cauca se solapan y están muy cercanos al grupo del Amazonas, por lo que hay más bien pocas diferencias en la forma del ala para estos grupos, mientras que para la forma de la cabeza, los grupos del Valle del Cauca no se solapan y ambos están considerablemente distanciados del grupo del Amazonas por lo que la forma de la cabeza, entre estos tres grupos, es diferente en mayor medida que la forma del ala anterior. En *Trigona truculenta* se puede observar la variación de la forma del ala anterior, donde el grupo de Quindío difiere considerablemente del grupo del Amazonas, pero en cuanto a la variación de la forma del ala posterior, estos dos

grupos llegan a estar muy cercanos, indicando una mayor similitud para esta estructura. Por lo que, si bien a grandes rasgos las separaciones entre grupos que se presentan se mantienen en las estructuras que difieren, podría decirse que cada parte del cuerpo está respondiendo de manera diferente a las otras partes del cuerpo bajo las mismas presiones ambientales. . Sin embargo, esto debería confirmarse o rechazarse mediante la elaboración de estudios enfocados en la alometría para estas especies.

Para las distancias de Mahalanobis, algunos resultados mostraron no ser significativos y es muy probable que esto sea resultado de la baja representatividad propia de algunos de los grupos, sobre todo de aquellos que tan solo presentaban un individuo. Sin embargo, ante la evidente separación, o unión entre algunos de los grupos, las distancias no significativas no necesariamente indican que la forma presentada por estos individuos no sea tan similar o diferente a los grupos con los que se solapa, junta o separa (Klingenberg y Monteiro 2005).

5.2.Asociación entre la forma y el clima

Para *Trigona amalthea* formas de ala anterior, ala posterior y la cabeza covarían con la temperatura, mientras que formas del ala anterior, ala posterior y tibia de la pata posterior covarían con la humedad relativa. Por su parte, en *Trigona truculenta* con las formas de ala anterior, ala posterior, tibia de la pata trasera y cabeza covarían con la temperatura; mientras que las formas que covarían son las de ala anterior, ala posterior y cabeza covarían con la humedad relativa. Tanto la temperatura y la humedad relativa han demostrado ser dos factores determinantes en el desarrollo de diferentes insectos (Jaworski y Hilszczanski 2013; Demissie et al., 2014 y Levi-Mourao 2021), y en particular se ha registrado influencia de esta variables en el desarrollo de otras abejas como *Apis mellifera,* donde la variación de la humedad relativa, por ejemplo, determina el éxito de eclosión de huevos (Al-Ghamdi et al., 2014) y la variación en la temperatura asociada con el tamaño de las alas (Ken et al., 2005). También, en abejas sin aguijón se reportan comportamientos asociados al control de la humedad relativa y la temperatura dentro de la colmena con respecto a la del exterior, lo que se conoce como ventilación alar (Nogueira-Neto 1948; Cortopassi-Laurino y Nogueira-Neto 2003). Por lo que es posible que ciertas formas de ala favorezcan la capacidad de ventilación y el efecto de esta sobre el equilibrio entre temperaturas y humedades relativas del exterior con el interior de la colmena. En cuanto actividades de forrajeo, en *Apis* mellifera se ha encontrado que a menor temperatura la actividad es menor con respecto a mayores temperaturas, dando un pico de actividad sobre los 20°C (Tan et al., 2012). Por lo tanto, es posible que para *Trigona amalthea* la covariación de la forma de estas estructuras con la temperatura y humedad relativa sean respuesta a presiones características generadas por el gradiente de estas variables y su efecto combinado en los distintos lugares evaluados en este estudio. Por último, con respecto a *Trigona amalthea* y la forma de la cabeza, que no presenta asociación con la humedad relativa, y la forma de la tibia de la pata posterior, que no presenta asociación con la temperatura, es posible que cada una de estas estructuras sea particularmente sensible a la variable con la que hay respectiva asociación comparadas con las estructuras que generaron asociación con ambas variables. Caso similar se observó en *Trigona truculenta* pero tan solo con la ausencia de una asociación de la forma de la tibia de la pata anterior con la humedad relativa. Por lo que podría decirse que la respuesta que tienen estas dos especies a la presión de la temperatura no es la misma para la tibia de la pata anterior y, para la respuesta a la presión de la humedad relativa, no es la misma ni para la tibia de la pata anterior ni para la cabeza.

Para *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta* se encontró que la forma del ala anterior, ala posterior, tibia de la pata posterior, y la cabeza covarían con la altitud, lo que indicaría que la altitud es un importante factor de estrés que puede inducir cambios en la morfología corporal para estas especies. Si bien la forma y el tamaño de una estructura suelen estar altamente correlacionados, no necesariamente un cambio en forma representará un cambio

en tamaño y viceversa (Klingenberg, 2016); sin embargo, una buena cantidad de estudios en abejas que correlacionan variación morfológica con altitud están enfocados en la variación del tamaño a lo largo de gradientes altitudinales, por lo que una discusión a mayor profundidad se hará con los resultados en el apartado de regresiones.

Para *Trigona amalthea* se encontró que la forma del ala anterior, ala posterior, tibia de la pata posterior y cabeza covarían con la velocidad del viento; mientras que para *Trigona truculenta* la covariación con la velocidad del viento se asocia con la forma de las mismas estructuras, además del basitarso de la pata anterior. Es bien sabido que la forma general de un insecto es un factor importante a la hora de evaluar el desempeño con el que vuela, pues las relaciones de superficie junto con el movimiento de las alas y su velocidad se ajustan a los diferentes tipos de vuelo que se pueden observar en insectos (Sane 2003 y Chin y Lentik 2016). En las abejas el vuelo tiene un papel fundamental para esta especie; el pecoreo, reproducción y colonización de nuevos espacios, todos son llevados a cabo mediante el vuelo y el control de este para escenarios específicos. Se ha reportado que *Apis mellifera* tiene la capacidad de modificar las trayectorias de su vuelo bajo condiciones de inestabilidad en el viento (Hejazi et al., 2022) y particularmente parecen escoger trayectos que presenten obstáculos con tal de reducir el impacto de una alta velocidad del viento (Burnett et al., 2022) y esto es relevante puesto que se ha logrado demostrar que en lugares con velocidades del viento elevadas, las abejas suelen reportar menores frecuencias de visitas a las flores en estos escenarios (Hennessy et al., 2020). Con lo anterior, es posible que además de las estrategias en la modificación del cambio del patrón de vuelo, el plan corporal de las abejas este siendo moldeado de manera tal que se ajuste a condiciones de velocidad del viento particulares de cada lugar. Que no se haya presentado una asociación entre la covariación de esta variable y la forma del basitarso de la pata anterior en *Trigona amalthea* permite entender que para esta estructura no habría una respuesta igual entre ambas especies a la misma variable.

Para *Trigona amalthea* la forma del mesosoma y la tibia de la pata posterior presentaron resultados significativos a la covariación con el año de colecta; mientras que para *Trigona truculenta* fue la forma del ala posterior la que presento covariación con el año; esto indicaría que entre 1991 y 2021, la forma del mesosoma y el ala posterior para estas especies respectivamente han tenido cambios considerables; Bartomeus et al., (2012) muestran la tendencia del cambio en el tamaño corporal para las especies *Bombus* sp., *Andrena* sp. y *Lasioglossum* sp. en el noreste de Estados unidos. En otro estudio, se reporta una disminución del tamaño corporal en un periodo de 147 años para diferentes especies de abejas en Alemania (Oliveira et al., 2016).

Finalmente, para ninguna de las dos especies en ninguna de la forma de sus estructuras, se presentaron asociaciones entre la covariación con la precipitación.

5.3.Regresiones

Con respecto a la altitud, se puede observar en *Trigona amalthea* que el tamaño para las estructuras evaluadas, a excepción de las alas, tienden a una ligera correlación positiva con la altitud. Para *Trigona truculenta* en todas sus estructuras se presenta una tendencia de una correlación positiva mucho mayor que para la otra especie. Estos resultados se vuelven aún más interesantes cuando se observa que en ambas especies, para todas sus estructuras, existe una tendencia de correlación positiva con la temperatura, con mayor correlación para *Trigona truculenta* que para *Trigona amalthea* por lo que, a medida que incrementa la altitud, estas especies disminuyen en tamaño, y a medida que incrementa la temperatura, estas especies aumentarían su tamaño. Esto es evidencia de una clina de Bergman inversa o de clina negativa. También hay evidencia de un ajuste a la regla de Allen, pues los apéndices evaluados en *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta* que presentaron correlaciones con la altitud, tienden a la disminución de tamaño.

Con respecto a la humedad relativa no hay estudios en abejas o insectos en el cual se evalué el cambio o la variación en el tamaño corporal asociándolo a esta variable en particular. En el presente estudio, se reporta una tendencia de correlación positiva entre el tamaño de ala anterior y ala posterior para ambas especies con la humedad relativa. En el caso particular de *Trigona truculenta* la tendencia de correlación positiva entre el tamaño y la humedad relativa también se presenta para las demás estructuras evaluadas. Si bien, directamente con el tamaño no hay como asociar la explicación de los resultados acá encontrados, es posible que con respecto a lo que se mencionó anteriormente en los resultados de PLS con humedad relativa, y el comportamiento de controlar el equilibrio de humedad relativa dentro y fuera de la colmena mediante la ventilación alar (Nogueira-Neto 1948; Cortopassi-Laurino y Nogueira-Neto 2003) o bien que entre mayor es la diferencia de humedad relativa entre el cuerpo de un animal (asumido como un 100%) y la humedad relativa del ambiente aumenta, el problema de la desecación (Wilmer et al., 2009), particularmente los insectos, que tienen una elevada relación área de superficie/volumen, lo que implica una alta tendencia a la desecación (Bartomeus et al., 2012 ; O'Donnell 2022). Los resultados del presente estudio, en donde el tamaño de las diferentes estructuras aumenta con respecto a la humedad relativa implican una reducción en la relación superficie/volumen, lo que sugeriría una respuesta adaptativa al problema de la desecación. Sin embargo, es importante considerar la temperatura, pues en abejas, se ha encontrado que, para la especie de abeja sin aguijón *Austroplebeia essingtoni* presenta mayor desecación en invierno (HR 52%) que en verano (HR 67%) pero esto es debido a la influencia de la temperatura (Ayton et al., 2016).

Con respecto a la velocidad del viento, tan solo la especie *Trigona truculenta* presenta correlaciones, que particularmente son de tendencia negativa para cada una de las estructuras evaluadas. Esto quiere decir que, a mayor velocidad del viento, el tamaño tanto de las alas, como la pata anterior, mesosoma y cabeza tiende a disminuir. Las explicaciones posibles asociadas para este fenómeno, en principio, pueden interpretarse como desfavorables, pues, por ejemplo, la disminución en el tamaño del ala en los insectos disminuye la interaccion del ala con el viento, provoca un incremento en la influencia de fuerzas viscosas en comparación a las fuerzas inerciales en las propiedades del vuelo (Chin y Lentik 2016). O bien, que pueda darse un incremento en la frecuencia de aleteo, lo que a priori implicaría un mayor gasto energético (Cheng and Sun 2018) e incluso que en abejas y particularmente en abejas sin aguijón, el tamaño corporal tiene una correlación de tendencia negativa con las distancias de forrajeo (Grüter 2021). Sin embargo, lo anterior puede no ser la mejor manera de entender este fenómeno por lo que trabajos enfocados hacia la respuesta del tamaño con respecto a la velocidad del viento en abejas podrían proporcionar más información y mejores acercamientos al entendimiento de estos resultados.

En escenario de cambio climático, con tendencia al aumento en la temperatura global (IPCC, 2023) se esperaría que, quizás, los morfotipos que presentan un tamaño relativamente pequeño tenderán a verse amenazados, pues basados en los presentes, sería intuitivo pensar que, al incrementar la temperatura, aumentara el tamaño de estas abejas. Sin embargo, la tendencia reportada para el tamaño corporal en abejas es de disminución (Oliveira et al., 2016). Esto, además, es ligeramente soportado por las correlaciones del tamaño del ala anterior y basitarso de la pata posterior en *Trigona truculenta* que presentan una tendencia negativa al paso del tiempo.

Los resultados del presente estudio refuerzan la premisa de conservación de los polinizadores y de sus servicios ecosistémicos a niveles locales, pues se encontró que existen claras diferencias entre las abejas colectadas en los diferentes lugares evaluados en este estudio, por lo que cada morfotipos es producto de la suma de diferentes presiones asociadas a las propiedades geográficas y climáticas específicas de cada uno de los lugares. Estudios asociados a la cobertura vegetal de estos lugares y/o del recurso polínico utilizado por polinizadores en estas regiones pueden proporcionar resultados que deriven en una mejor comprensión de lo anteriormente mencionado.

Si bien, a grandes rasgos, tanto *Trigona amalthea* como *Trigona truculenta* presentan grandes similitudes en la asociación de la variación morfológica con variables climáticas como la temperatura, la altitud y la velocidad del

viento, así como la variación en tamaño corporal y de los apéndices, presentando tendencias semejantes de variación con la temperatura, la altitud y la humedad relativa; es necesario destacar que se presentan diferencias que sugieren una respuesta característica por parte de cada especie a la suma de las diferentes presiones bajo las cuales se están viendo influenciadas. En el caso de *Trigona truculenta*, hubo una mayor asociación de la variación de la forma para algunas de las estructuras con la variación de algunas de las condiciones ambientales y también una mayor correlación entre las variables evaluadas con las partes del cuerpo analizadas en comparación a los valores de asociación y correlación presentados por las diferentes estructuras de *Trigona amalthea*.

6. Conclusiones

Se observó un cambio morfológico en algunas de las diferentes estructuras evaluadas de *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta* con respecto a diferentes lugares de distribución en Colombia. Algunas de estas variaciones morfológicas se asociaron con las variables geográficas y climáticas evaluadas, a excepción de la precipitación.

Se lograron evidenciar similitudes y diferencias en la variación del tamaño de las estructuras analizadas entre las especies *Trigona amalthea* y *Trigona truculenta*.

Para las dos especies se presentó una gran diferenciación de los individuos de Amazonas Leticia, que presentaban mayores tamaños.

Se logró evidenciar ajustes a reglas ecológicas como la de Bergman y Allen en ambas especies.

La precipitación fue la única variable analizada con la que no se encontraron asociaciones en la variación de la forma.

Este es el primer estudio en morfometría geométrica en abejas que analiza tantas estructuras corporales juntas; además, es el primer estudio de morfometría geométrica para el género *Trigona*. Este estudio demuestra el enorme valor que tienen las colecciones biológicas para el entendimiento de los fenómenos biológicos, en este caso, ayudando a dilucidar tendencias en la ecología de especies de abejas nativas sin aguijón en el territorio colombiano.

7. Recomendaciones

En caso de realizar estudios que involucren diferenciación entre poblaciones de abejas sin aguijón, es suficiente con el análisis de morfometría geométrica del ala anterior, si es necesario puede complementarse con el análisis de morfometría de la cabeza, pues fueron estas dos estructuras las que lograron representar de mejor manera la variación de la forma según la ubicación geográfica.

Se recomienda que, para futuros estudios en morfometría de abejas o insectos, se tenga una mayor representatividad por grupos a comparar, esto con el fin de tener un sustento estadístico más sólido, que permita obtener variaciones más representativas de cada grupo a comparar (Cardini et al., 2015)

Analizar efectos alométricos en los organismos permiten complementar el entendimiento de los fenómenos asociados a la variación en la forma, por lo que, para próximos estudios en morfometría de abejas, un acercamiento alométrico podría permitir discusiones más concretas sobre los fenómenos encontrados.

Incluir otro tipo de variables como la cobertura vegetal y/o el recurso polínico, permitirían establecer patrones de uso de recurso, además de muy probables asociaciones morfológicas con diferentes coberturas vegetales.

Los estudios en morfometría geométrica se presentan como una opción accesible, de bajo costo y con la capacidad de responder preguntas en múltiples escenarios de las ciencias biológicas (Francoy & Imperatriz-Fonseca, 2010).

Estos estudios pueden ser complementados si se implementan herramientas moleculares con los cuales contrastar los resultados proporcionados y limitados por el fenotipo.

Sería interesante, que el estudio presente pudiera ser expandido tanto a nivel taxonómico incluyendo, si bien no a todas, a la mayoría de las especies del género *Trigona S Str*. Jurine 1808y a nivel geográfico abarcando la mayor distribución posible complementándolo con herramientas moleculares, con el fin de dilucidar si los resultados aquí encontrados son constantes en otras especies o en otras regiones.

8. Bibliografía

Adams D, Collyer M, Kaliontzopoulou A, Baken E (2023). "Geomorph: Software for geometric morphometric analyses. R package version 4.0.6." https://cran.r-project.org/package=geomorph.

Al-Ghamdi, A. A., Abou-Shaara, H. F., & Mohamed, A. A. (2014). Hatching rates and some characteristics of Yemeni and Carniolan honey bee eggs. Journal of Entomology and Zoology Studies, 2(1), 06–10.

Almeida, M. C. (1992). Quatro espécies novas de Trigona (s. str.) (Apidae, Meliponinae) da região neotropical. Acta Biologica Paranaense, 31(1,2,3,4), 191–193.

Angulo-Bedoya, M., Correa, S., & Benítez, H. A. (2019). Unveiling the cryptic morphology and ontogeny of the Colombian Caiman crocodilus: a geometric morphometric approach. Zoomorphology, 138(3), 387–397. doi:10.1007/s00435-019-00448-2

Ayton, S., Tomlinson, S., Phillips, R. D., Dixon, K. W., & Withers, P. C. (2016). Phenophysiological varíation of a bee that regulates hive humidity, but not hive temperature. Journal of Experimental Biology, 219(10), 1552-1562.

Baken E, Collyer M, Kaliontzopoulou A, Adams D (2021). "geomorph v4.0 and gmShiny: enhanced analytics and a new graphical interface for a comprehensive morphometric experience." Methods in Ecology and Evolution, 12, 2355-2363.

Bartomeus, I., Ascher, J. S., Gibbs, J., Danforth, B. N., Wagner, D. L., Hedtke, S. M., & Winfree, R. (2013). Historical changes in northeastern US bee pollinators related to shared ecological traits. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110(12), 4656–4660. https://doi.org/10.1073/pnas.1218503110

Benítez HA, Püschel T, Lemic D, Čačija M, Kozina A, Bažok R (2014) Ecomorphological Varíation of the Wireworm Cephalic Capsule: Studying the Interaction of Environment and Geometric Shape. PLoS ONE 9(7): e102059. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102059

Bergmann, C. (1847). Über die Verhältnisse der Wärmeökonomie der thiere zu ihrer grösse. Gottinger Studien, 1, 595-708.

Blackburn, T., Gaston, K., & Loder, N. (1999). Geographic gradients in body size: A clarification of Bergmann's rule. Diversity and Distributions, 5, 165-174.

Bonatti, V., Simões, Z. L. P., Franco, F. F., & Francoy, T. M. (2014). Evidence of at least two evolutionary lineages in Melipona subnitida (Apidae, Meliponini) suggested by mtDNA varíability and geometric morphometrics of forewings. Naturwissenschaften, 101(1), 17-24. https://doi.org/10.1007/s00114-013-1123-5

Burnett, N. P., Badger, M. A., & Combes, S. A. (2022). Wind and route choice affect performance of bees flying above versus within a cluttered obstacle field. Plos one, 17(3), e0265911.

Camargo J.M.F., Pedro S.R.M. (2003) Sobre as relações filogenéticas de Trichotrigona Camargo & Moure (Hymenoptera, Apidae, Meliponini), in: Melo G.A.R.,Silves-dos-Santos I. (Eds.), Apoidea neotropica: Homenagem aos 90 anos de Jesus Santiago Moure, Editora UNESC, Criciúma, pp. 109–122.

Camargo, J. M. F. Pedro, S. R. M. & Melo, G. A. R. 2013. Meliponini Lepeletier, 1836. In Moure, J. S., Urban, D. & Melo, G. A. R. (Orgs). Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region - online version. Available at http://www.moure.cria.org.br/catalogue. Accessed Jul/21/2023

Cardini, A., Seetah, K., & Barker, G. (2015). How many specimens do I need? Sampling error in geometric morphometrics: testing the sensitivity of means and varíances in simple randomized selection experiments. Zoomorphology, 134, 149-163.

Cheng, X., & Sun, M. (2018). Very small insects use novel wing flapping and drag principle to generate the weight-supporting vertical force. Journal of Fluid Mechanics, 855, 646-670.

Chin, D. D., & Lentink, D. (2016). Flapping wing aerodynamics: from insects to vertebrates. Journal of Experimental Biology, 219(7), 920-932.

Cortopassi-Laurino M, Nogueira-Neto P (2003) Notas sobre a bionomia de *Tetragonisca weyrauchi* Schwarz, 1 943 (Apidae, Meliponini). Acta Amazon 33:643–650

Demissie, G., Rajamani, S., & Ameta, O. P. (2014). Effect of Temperature and Relative Humidity on Development and Survival of Angoumois Grain Moth, *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae) on Stored Maize. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR), 15(2), 9–21. Retrieved from https://www.gssrr.org/index.php/JournalOfBasicAndApplied/article/view/2511

dos Santos, C. F., Souza dos Santos, P. D., Marques, D. M., da-Costa, T., & Blochtein, B. (2019). Geometric morphometrics of the forewing shape and size discriminate *Plebeia* species (Hymenoptera: Apidae) nesting in different substrates. Systematic Entomology, 44(4), 787-796. https://doi.org/10.1111/syen.12354

Escobar-Suárez, S. et al. (2023) 'A geometric morphometrics and genetics characterization of Vanessa Carye in an extreme elevational gradient in the Chilean Altiplano', Zoologischer Anzeiger, 304, pp. 105–112. doi:10.1016/j.jcz.2023.04.001

Espinoza-Donoso, S., Angulo-Bedoya, M., Lemic, D., & Benítez, H. A. (2020). Assessing the influence of allometry on sexual and non-sexual traits: an example in *Cicindelidia trifasciata* (Coleoptera: Cicindelinae) using geometric morphometrics. Zoologischer Anzeiger. doi:10.1016/j.jcz.2020.05.009

Francisco, F. O., Nunes-Silva, P., Francoy, T. M., Wittmann, D., Imperatriz-Fonseca, V. L., Arias, M. C., & Morgan, E. D. (2008). Morphometrical, biochemical and molecular tools for assessing biodiversity. An example in *Plebeia remota* (Holmberg, 1903) (Apidae, Meliponini). Insectes Sociaux, 55(3), 231-237. https://doi.org/10.1007/s00040-008-0992-7

Francoy, T. M., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2010). a morfometria geométrica de asas e a identificação automática de espécies de abelhas. Oecologia Australis, 14(01), 317-321. https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1401.20

Francoy, T. M., de Faria Franco, F., & Roubik, D. W. (2012). Integrated landmark and outline-based morphometric methods efficiently distinguish species of Euglossa (Hymenoptera, Apidae, Euglossini). Apidologie, 43(6), 609-617. https://doi.org/10.1007/s13592-012-0132-2

Francoy, T. M., Prado, P. R. R., Gonçalves, L. S., Costa, L. da F., & De Jong, D. (2006). Morphometric differences in a single wing cell can discriminate *Apis* mellifera racial types. Apidologie, 37(1), 91-97. https://doi.org/10.1051/apido:2005062

Francoy, T. M., Silva, R. A. O., Nunes-Silva, P., Menezes, C., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2009). Gender identification of five genera of stingless bees (Apidae, Meliponini) based on wing morphology. Genetics and Molecular Research, 8(1), 207-214. https://doi.org/10.4238/vol8-1gmr557

Francoy, T. M., Wittmann, D., Drauschke, M., Müller, S., Steinhage, V., Bezerra-Laure, M. A. F., De Jong, D., & Gonçalves, L. S. (2008). Identification of Africanized honey bees through wing morphometrics: Two fast and efficient procedures. Apidologie, 39(5), 488-494. https://doi.org/10.1051/apido:2008028

Grüter, C. (2021) Stingless Bees: Their behaviour, ecology and evolution. 1st edn. S.l.: SPRINGER.

Hejazi, B., Küchler, C., Bagheri, G., & Bodenschatz, E. (2022). Honeybees modify flight trajectories in turbulent wind. New Journal of Physics, 24(11), 113010.

Hennessy, G., Harris, C., Eaton, C., Wright, P., Jackson, E., Goulson, D., & Ratnieks, F. F. (2020). Gone with the wind: effects of wind on honey bee visit rate and foraging behaviour. Animal Behaviour, 161, 23-31.

Hepburn, H. R., & Radloff, S. E. (1998). Honeybees of Africa. doi:10.1007/978-3-662-03604-4

Hepburn, H. R., Radloff, S. E., Verma, S., & Verma, L. R. (2001). Morphometric analysis of *Apis* cerana populations in the southern Himalayan region. Apidologie, 32(5), 435–447. doi:10.1051/apido:2001142

Hernández, E. J. (2004). El subgénero Trigona s. str. Jurine 1808 (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae) en Colombia. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Hernández, E.J., Roubik, D.W. and Nates-Parra, G. (2007) 'Morphometric analysis of bees in the Trigona fulviventris group (hymenoptera: Apidae)', *Journal of the Kansas Entomological Society*, 80(3), pp. 205–212. doi:10.2317/0022-8567(2007)80[205:maobit]2.0.co;2.

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

Jaworski, T., & Hilszczański, J. (2013). The effect of temperature and humidity changes on insects development their impact on forest ecosystems in the expected climate change. Forest Research Papers, 74(4), 345–355. doi:10.2478/frp-2013-0033

Klingenberg, C. P., & Monteiro, L. R. (2005). Distances and Directions in Multidimensional Shape Spaces: Implications for Morphometric Applications. Systematic Biology, 54(4), 678–688. doi:10.1080/10635150590947258

Klingenberg, C. P. (2010). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. Molecular Ecology Resources, 11(2), 353–357. doi:10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x

Klingenberg, C. P. (2016). Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. Development Genes and Evolution, 226(3), 113–137. doi:10.1007/s00427-016-0539-2

Lemic, D., Benítez, H.A., Püschel, T.A., Gaˇ spari´ c, H.V., ˇ Satvar, M., Baˇ zok, R., 2016. Ecological morphology of the sugar beet weevil Croatian populations: evaluating the role of environmental conditions on body shape. Zoologischer Anzeiger-J. Comparat. Zoology 260, 25–32.

Lemic, D., Viric Gasparic, H., Majcenic, P., Pajač Živković, I., Bjeliš, M., Suazo, M. J., Correa, M., et al. (2023). Wing Shape Varíation between Terrestrial and Coastal Populations of the Invasive Box Tree Moth, Cydalima perspectalis, in Croatia. Animals, 13(19), 3044. MDPI AG. Retrieved from http://dx.doi.org/10.3390/ani13193044

Levi-Mourao, A., Madeira, F., Meseguer, R., García, A., & Pons, X. (2021). Effects of Temperature and Relative Humidity on the Embryonic Development of Hypera postica Gyllenhal (Col.: Curculionidae). Insects, 12(3), 250. https://doi.org/10.3390/insects12030250

Li, Y.-R., Wang, Z.-W., Yu, Z.-R., & Corlett, R. T. (2021). Species diversity, morphometrics, and nesting biology of Chinese stingless bees (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). Apidologie, 52(6), 1239-1255. https://doi.org/10.1007/s13592-021-00899-x

Lima Júnior, C. A., Carvalho, C. A. L., Nunes, L. A., & Francoy, T. M. (2014). Population Divergence of Melipona scutellaris (Hymenoptera: Meliponina) in Two Restricted Areas in Bahia, Brazil. Sociobiology, 59(1), 107. https://doi.org/10.13102/sociobiology.v59i1.670

Mamai, W., Mouline, K., Parvy, JP. et al. Morphological changes in the spiracles of Anopheles gambiae s.l (Diptera) as a response to the dry season conditions in Burkina Faso (West Africa). Parasites Vectors 9, 11 (2016). https://doi.org/10.1186/s13071-015-1289-0

May-Itzá, W. D. J., Peña, W. L., De La Rúa, P., & Quezada-Eúan, J. J. G. (2019). A genetic and morphological survey to trace the origin of Melipona beecheii (Apidae: Meliponini) from Cuba. Apidologie, 50(6), 859-870. https://doi.org/10.1007/s13592-019-00696-7

Mendes, M. F. M., Francoy, T. M., Nunes-Silva, P., Menezes, C., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2007). varíabilidade intra-populacional em *Nannotrigona testaceicornis* lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponini) usando análise de. Biosci. J., 23.

Michener, C. D. (2007). The bees of the world (Vol. 2). JHU press.

NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) accessed on September 23rd 2023 from https://registry.opendata.aws/nasa-power.

Nates-Parra, G. (2001). Las Abejas sin Aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) de Colombia. Biota Colombiana.

Nates-Parra, Guiomar & Brochero, Helena & García-Morantes, Jenny & Velásquez-Molano, Mabel & Hernández-Contreras, Diego & Brochero, Javier & Rojas, Daniela & Chingaté, Erika & Martínez, Elizabeth & Vargas, José. (2021). La abeja angelita *Tetragonisca angustula*: biología, ecología, genética y potencial mercado de su miel en Colombia : Morfometria lineal y geometrica en abejitas angelita, *Tetragonisca angustula* de Colombia pp 45-58

Nogueira, D. S., Ribeiro, C. F., & Oliveira, M. L. D. (2020). taxonomia histórica de *nogueirapis* moure, 1953, scaura schwarz, 1938, *Tetragona lepeletier* & serville, 1828 e trigona jurine, 1807 (apidae: meliponini). En J. M. B. D. Oliveira-Junior & L. B. Calvão, A Interface do Conhecimento sobre Abelhas 2 (1.a ed., pp. 63-77). Atena Editora. https://doi.org/10.22533/at.ed.3682001106

Nogueira-Neto P (1948) Notas bionomicas sobre meliponineos. I. Sobre ventilação dos ninhos e as constucões com ela relationadas. Rev Bras Biol 8:465–488

O'Donnell, M. J. (2022). A perspective on insect water balance. Journal of Experimental Biology, 225(7), jeb242358.

Olalla-Tárraga, M. (2011). "Nullius in Bergmann" or the pluralistic approach to ecogeographical rules: a reply to Watt et al. (2010). Oikos, 120, 1441-1444.

Oleksa, A., & Tofilski, A. (2015). Wing geometric morphometrics and microsatellite analysis provide similar discrimination of honey bee subspecies. Apidologie, 46(1), 49-60. https://doi.org/10.1007/s13592-014-0300-7

Oliveira, M. O., Freitas, B. M., Scheper, J., & Kleijn, D. (2016). Size and sex-dependent shrinkage of Dutch bees during one-and-a-half centuries of land-use change. PloS one, 11(2), e0148983.

Pacheco M., Gonzalez R., y Brochero H. (2017). Anopheles darlingi Root 1926 (Diptera: Culicidae): varíaciones morfométricas en alas y patas de poblaciones de Colombia. Biomédica 37(Supl 2): 124-34. doi:10.7705/biomedica.v34i2.3492

Peters, M. K., Peisker, J., Steffan-Dewenter, I., & Hoiss, B. (2016). Morphological traits are linked to the cold performance and distribution of bees along elevational gradients. Journal of Biogeography, 43(10), 2040–2049. doi:10.1111/jbi.12768

Quezada-Euán, J. J. G., Paxton, R. J., Palmer, K. A., Itzá, W. D. J. M., Tay, W. T., & Oldroyd, B. P. (2007). Morphological and molecular characters reveal differentiation in a Neotropical social bee, Melipona beecheii (Apidae: Meliponini). Apidologie, 38(3), 247-258. https://doi.org/10.1051/apido:2007006

R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Rasmussen, C., & Camargo, J. M. F. (2008). A molecular phylogeny and the evolution of nest architecture and behavior in Trigona s.s. (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). Apidologie, 39(1), 102-118. https://doi.org/10.1051/apido:2007051

Ray, C. (1960). The application of Bergmann's and Allen's rules to the poikilotherms. Journal of Morphology, 106, 85-108.

Ribeiro, C.F. et al. (2023) 'Review of Trigona (Nostotrigona) Engel, 2021 from Brazil with description of three new species (hymenoptera: Apidae: Meliponini)', Zootaxa, 5306(3), pp. 349–366. doi:10.11646/zootaxa.5306.3.3.

Ribeiro, Márcia & Alves, Denise. (2001). Size varíation in *Schwarziana quadripunctta* queens (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). Revista de Etologia. 3. 59-65.

Rohlf J.F. 2015. TPSDig2, version 2.18. [Software] New York: State University of New York at Stony Brook.

Ruttner, F., Elmi, M., & Fuchs, S. (2014). Ecoclines in the Near East along 36 degrees N latitude in Apis mellifera L. Apidologie, 31, 157–165.

Sane, S. P. (2003). The aerodynamics of insect flight. Journal of Experimental Biology, 206(23), 4191–4208. doi:10.1242/jeb.00663

Schwarz, H. F. (1948). The Stingless Bees (meliponidae) of the Western Hemisphere. Bulletin of the American Museum of Natural History, 90, 1–546.

Silva, M. C., Lomônaco, C., Augusto, S. C., & Kerr, W. E. (2009). Climatic and anthropic influence on size and fluctuating asymmetry of Euglossine bees (Hymenoptera, Apidae) in a semideciduous seasonal forest reserve. Genetics and molecular research: GMR, 8(2), 730–737. https://doi.org/10.4238/vol8-2kerr037

Steinbrecht, R.A., Müller, B. The thermo-/hygrosensitive sensilla of the silkmoth, Bombyx mori: morphological changes after dry- and moist-adaptation. Cell Tissue Res 266, 441–456 (1991). https://doi.org/10.1007/BF00318585

Tan, K., Bock, F., Fuchs, S., Streit, S., Brockmann, A., & Tautz, J. (2005). Effects of brood temperature on honey bee *Apis* mellifera wing morphology. Acta Zoologica Sinica, 51(4), 768-771.

Tan, K., Yang, S., Wang, Z.-W., Radloff, S. E., & Oldroyd, B. P. (2012). Differences in foraging and brood nest temperature in the honey bees *Apis* cerana and A. mellifera. Apidologie, 43(6), 618–623. doi:10.1007/s13592-012-0136-y

Trianto, M., & Purwanto, H. (2020). Morphological characteristics and morphometrics of Stingless Bees (Hymenoptera: Meliponini) in Yogyakarta, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 21(6). https://doi.org/10.13057/biodiv/d210633

Wappler, T., De Meulemeester, T., Murat Aytekin, A., Michez, D., & Engel, M. S. (2012). Geometric morphometric analysis of a new Miocene bumble bee from the Randeck Maar of southwestern Germany (Hymenoptera: Apidae). Systematic Entomology, 37(4), 784-792. https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2012.00642.x

Wickham, H., & Wickham, H. (2016). Data analysis (pp. 189-201). Springer International Publishing.

INFORMACION SUPLEMENTARIA

Tabla S1. Procrustes ANOVA para la medida del error en la forma (shape) y tamaño (centroid size) para cada una de las estructuras de Trigona *amalthea* y Trigona *truculenta*. Suma de cuadrados (SS), y cuadrados medios (MS) están en unidades de distancia de Procrustes (adimensional). Ala anterior T. *amalthea* (AATA), ala anterior T. *truculenta*(AATT), ala posterior T. *amalthea* (APTA), ala posterior T. *truculenta*(APTT),basitarso de pata posterior de T. *amalthea* (PBTA), tibia de pata posterior de T. *amalthea* (PTTA), basitarso de pata posterior de T. *truculenta* (PTTT), tibia de pata posterior de T. *truculenta* (pttt), mesosoma de *T.amalthea* (MTA),

mesosoma de T. *truculenta*(MTT), cabeza de T. *amalthea* (CTA), cabeza de T. *truculenta*(CTT)..

Centroid size					
Effect	**SS**	**MS**	**df**	**F**	**P(param.)**
Individual (AATA)	22,449091	0,400877	56	17,9	**<.0001**
Error 1 (AATA)	1,276487	**0,022395**	57		
Individual (AATT)	33,126313	0,828158	40	35,64	**<.0001**
Error 1 (AATT)	0,952759	**0,023238**	41		
Individual (APTA)	11,143093	0,198984	56	19,27	**<.0001**
Error 1 (APTA)	0,58858	**0,010326**	57		
Individual (APTT)	10,813089	0,270327	40	20,51	**<.0001**
Error 1 (APTT)	0,540347	**0,013179**	41		
Individual (PBTA)	0,598165	0,010682	56	6,7	**<.0001**
Error 1 (PBTA)	0,090846	**0,001594**	57		
Individual (PTTA)	1,865373	0,03331	56	4,72	**<.0001**
Error 1 (PTTA)	0,401943	**0,007052**	57		
Individual (PTTT)	1,426575	0,035664	40	18,2	**<.0001**
Error 1 (PTTT)	0,08035	**0,00196**	41		
Individual (pttt)	5,701449	0,142536	40	17,29	**<.0001**
Error 1 (pttt)	0,337992	**0,008244**	41		
Individual (MTA)	2,674327	0,047756	56	67,48	**<.0001**
Error 1 (MTA)	0,040341	**0,000708**	57		
Individual (MTT)	9,78089	0,244522	40	7,49	**<.0001**
Error 1 (MTT)	1,338334	**0,032642**	41		
Individual (CTA)	7,239462	0,129276	56	151,02	**<.0001**
Error 1 (CTA)	0,047936	**0,000856**	56		
Individual (CTT)	19,608838	0,490221	40	212,95	**<.0001**
Error 1 (CTT)	0,092083	**0,002302**	40		

Shape							
Effect	**SS**	**MS**	**df**	**F**	**P (param.)**	**Pillai tr.**	**P (param.)**
Individual (AATA)	0,06285166	4,3167E-05	1456	16,03	**<.0001**	20,62	**<.0001**
Error 1 (AATA)	0,00399175	**2,6935E-06**	1482				
Individual (AATT)	0,03491647	3,3574E-05	1040	14,36	**<.0001**	19,64	**<.0001**
Error 1 (AATT)	0,00249208	**2,3378E-06**	1066				
Individual (APTA)	0,04841097	6,1749E-05	784	17,15	**<.0001**	12,34	**<.0001**
Error 1 (APTA)	0,00287394	**3,6014E-06**	798				
Individual (APTT)	0,06184071	0,00011043	560	2,21	**<.0001**	11,66	**<.0001**
Error 1 (APTT)	0,02861704	**4,9856E-05**	574				

Individual (PBTA)	0,35145033	0,00156897	224	2,2	**<.0001**	3,1	**<.0001**
Error 1 (PBTA)	0,16293852	**0,00071464**	228				
Individual (PTTA)	0,10205738	0,00045561	224	12,81	**<.0001**	3,64	**<.0001**
Error 1 (PTTA)	0,00810835	**3,5563E-05**	228				
Individual (PTTT)	0,15930051	0,00099563	160	2,66	**<.0001**	2,89	**<.0001**
Error 1 (PTTT)	0,06149798	**0,00037499**	164				
Individual (pttt)	0,05155978	0,00032225	160	5,65	**<.0001**	3,39	**<.0001**
Error 1 (pttt)	0,00935017	**5,7013E-05**	164				
Individual (MTA)	0,27063045	0,00026848	1008	18,5	**<.0001**	16,07	**<.0001**
Error 1 (MTA)	0,01488987	**1,4513E-05**	1026				
Individual (MTT)	0,25731524	0,00035738	720	2,57	**<.0001**	16,42	**<.0001**
Error 1 (MTT)	0,10271775	**0,00013918**	738				
Individual (CTA)	0,08640443	4,8217E-05	1792	118,62	**<.0001**	30,19	**<.0001**
Error 1 (CTA)	0,00072843	**4,065E-07**	1792				
Individual (CTT)	0,07280146	5,6876E-05	1280	123,64	**<.0001**	28,84	**<.0001**
Error 1 (CTT)	0,00058884	**0,00000046**	1280				

Tabla S2. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de AATA y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le); Antioquia, Rio Claro (An_RC); Boyacá, Santa María (Bo_SM); Caldas, Samaná (Ca_Sa); Casanare, Tauramena (Cs_Ta); Cundinamarca, Melgar (Cu_Me); Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve); Meta, Cumaral (Me_Cu); Meta, Restrepo (Me_Re); Meta, San Martín (Me_SM); Meta, Villavicencio (Me_Vi); Quindío, Finlandia (Qu_Fi); Risaralda, Pereira (Ri_Pe); Tolima, Cunday (To_Cu); Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo); Valle del Cauca, Buga (Va_bu).

	Am_Le	An_RC	Bo_SM	Ca_Sa	Cs_ta	Cu_Me	Cu_Ve	Me_Cu	Me_Re	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Cu	Va_Yo	Va_bu
Am_Le		**0,0007**	**<.0001**	**0,0077**	0,0703	**0,0307**	**<.0001**	0,0593	**0,0052**	**0,0373**	**<.0001**	**0,0001**	**0,0042**	0,0516	**0,0001**	**0,0001**
An_RC	25,4107		**0,0017**	**0,0339**	0,0837	0,2557	**0,0095**	0,0878	0,0842	0,0824	**0,005**	**0,006**	0,0687	0,2537	**0,005**	**0,0049**
Bo_SM	7,7296	25,2692		**0,014**	0,0501	0,0616	**0,0005**	**0,011**	0,0606	**0,0219**	**0,0005**	**0,0015**	**0,0113**	0,0653	**0,0019**	**0,0001**
Ca_Sa	21,1548	10,8937	20,1953		0,3213	**<.0001**	**0,012**	0,3283	0,3403	0,337	**0,0215**	**0,0373**	0,3328	0,3266	**0,0257**	**0,0124**
Cs_ta	10,2574	23,7485	7,6	19,0382		1	0,0622	1	1	1	**0,0272**	0,1646	0,3295	1	0,0658	**0,0346**
Cu_Me	32,0915	15,7583	34,1516	19,0749	32,6983		**0,0477**	1	1	1	0,0948	**0,0099**	0,3367	1	0,0848	0,0816
Cu_Ve	33,7977	15,2997	34,8978	18,9415	33,1549	9,6267		0,0583	0,0516	0,0538	**0,0016**	**0,0003**	**0,0101**	0,0804	**0,0006**	**0,0016**
Me_Cu	8,6252	27,6252	8,8825	23,3115	9,6898	34,9526	36,2268		1	1	0,0707	0,1612	0,3314	1	**0,0487**	**0,0335**
Me_Re	7,1732	27,551	9,6281	23,6157	13,7476	34,2233	36,6249	11,1239		1	0,0859	0,1661	0,3374	1	0,2011	**0,0322**
Me_SM	12,1218	27,4356	12,979	22,7923	12,0704	33,0653	35,1735	10,3476	13,6865		0,1413	0,1565	0,3354	1	0,0624	**0,0177**
Me_Vi	5,4876	23,1415	9,5658	19,1586	11,205	28,7325	30,6232	10,5631	8,0283	12,4689		**0,0016**	**0,0187**	0,081	**0,0023**	**0,0016**
Qu_Fi	18,6148	13,0548	20,4867	12,6774	18,9542	16,2319	17,1744	21,131	21,4614	20,3563	15,1586		**0,0294**	**0,0071**	**0,0049**	**0,0065**
Ri_Pe	20,1602	12,8714	22,2349	12,1846	20,6967	15,6147	16,5502	23,1691	23,0892	22,2084	16,837	5,7192		0,3229	**0,0246**	**0,0248**
To_Cu	37,8203	14,9779	37,4153	19,8438	35,5682	16,9647	13,9795	40,2601	40,17	39,5081	35,2839	23,3943	22,5393		0,0834	0,0709
Va_Yo	8,741	29,1513	11,7144	24,6377	13,932	35,3711	37,535	10,4263	10,5058	11,7512	10,484	21,7202	22,7642	41,879		**0,0204**
Va_bu	10,9487	30,0234	12,6639	25,3188	14,8246	36,5172	38,9274	11,2907	11,136	12,397	12,2474	23,3394	24,2928	42,6113	4,4053	

Tabla S3. *D*istancia*s* de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos APTA y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le); Antioquia, Rio Claro (An_RC); Boyacá, Santa María (Bo_SM); Caldas, Samaná (Ca_Sa); Casanare, Tauramena (Cs_Ta); Cundinamarca, Melgar (Cu_Me); Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve); Meta, Cumaral (Me_Cu); Meta, Restrepo (Me_Re); Meta, San Martín (Me_SM); Meta, Villavicencio (Me_Vi); Quindío, Finlandia (Qu_Fi); Risaralda, Pereira (Ri_Pe); Tolima, Cunday (To_Cu); Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo); Valle del Cauca, Buga (Va_bu).

	Am_Le	An_RC	Bo_SM	Ca_Sa	Cs_ta	Cu_Me	Cu_Ve	Me_Cu	Me_Re	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Cu	Va_Yo	Va_bu
Am_Le		**0,0012**	**<.0001**	**0,0046**	0,0524	**0,013**	**<.0001**	**0,0398**	**0,0401**	**0,0326**	**<.0001**	**<.0001**	**0,0057**	**0,0368**	**0,0002**	**0,0005**
An_RC	7,6126		**0,0125**	0,1631	0,256	0,25	**0,0109**	0,2538	0,2524	0,2556	**0,012**	**0,0122**	**<.0001**	0,2447	**0,0288**	**0,0291**
Bo_SM	6,1549	5,0151		**0,0267**	0,1047	**0,0205**	**0,0023**	0,3586	0,0921	**0,0469**	**0,0137**	**0,001**	**0,0317**	0,0762	**0,0041**	**0,0057**
Ca_Sa	7,5426	4,3377	5,6644		0,3345	0,3378	**0,0351**	0,3318	0,3278	0,3289	**0,0007**	0,053	**<.0001**	0,3409	0,0568	0,0609
Cs_ta	5,5941	6,9108	7,3471	5,9142		1	0,1351	1	1	1	0,0604	0,1657	0,3293	1	0,1142	0,2967
Cu_Me	9,0094	10,1989	9,1559	9,3339	10,2638		0,1421	1	1	1	**0,0011**	**0,0271**	0,3292	1	0,064	0,101
Cu_Ve	8,7888	5,182	7,2935	5,3633	6,3074	9,9545		0,1425	0,144	0,1195	**0,0014**	**0,0024**	**0,0006**	0,6703	**0,0057**	**0,005**
Me_Cu	4,8462	5,852	4,2907	4,8611	5,9162	8,4752	6,6051		**<.0001**	1	0,1654	**0,0448**	0,3301	1	0,1674	0,1342
Me_Re	7,8332	5,6872	5,2333	7,4609	9,0988	10,1335	7,4712	5,2012		1	0,4076	**<.0001**	0,3326	1	0,0799	0,1638
Me_SM	11,1969	8,2312	7,5689	6,8011	11,1288	9,9607	8,8354	7,5436	8,5937		**<.0001**	**<.0001**	0,3298	1	0,1363	0,113
Me_Vi	6,2567	4,6135	3,2605	5,8574	6,9412	10,676	6,9019	4,4547	4,3629	8,2154		**0,0004**	**0,0219**	**<.0001**	**0,005**	**0,0016**
Qu_Fi	9,0085	4,2531	5,4966	6,1961	9,034	10,7669	7,2596	7,513	6,9129	8,0799	4,9665		**0,0226**	**0,023**	**0,0027**	**0,008**
Ri_Pe	11,048	5,3836	7,6822	7,2637	9,5369	13,1768	5,6009	8,6152	7,8732	8,7749	6,495	5,6057		0,3391	**0,0316**	**0,0066**
To_Cu	9,2924	4,8848	6,0824	5,3637	7,4332	9,5452	3,8607	6,552	6,402	6,9642	6,1094	6,149	5,9256		0,0801	**0,0162**
Va_Yo	7,2602	5,6161	5,1279	5,5198	6,6351	10,4781	5,2594	6,0116	7,3264	8,0532	4,6665	5,594	6,4002	5,0814		0,2236
Va_bu	6,2718	5,5147	5,7836	4,9666	4,6895	10,309	5,3602	5,9956	8,2118	9,0659	5,449	6,8034	7,6016	5,7317	2,887	

Tabla S4. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de PBTA y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le); Antioquia, Rio Claro (An_RC); Boyacá, Santa María (Bo_SM); Caldas, Samaná (Ca_Sa); Casanare, Tauramena (Cs_Ta); Cundinamarca, Melgar (Cu_Me); Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve); Meta, Cumaral (Me_Cu); Meta, Restrepo (Me_Re); Meta, San Martín (Me_SM); Meta, Villavicencio (Me_Vi); Quindío, Finlandia (Qu_Fi); Risaralda, Pereira (Ri_Pe); Tolima, Cunday (To_Cu); Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo); Valle del Cauca, Buga (Va_bu).

	Am_Le	An_RC	Bo_SM	Ca_Sa	Cs_ta	Cu_Me	Cu_Ve	Me_Cu	Me_Re	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Cu	Va_Yo	Va_bu
Am_Le		0,0545	**0,0359**	0,8419	0,2693	0,6039	0,5414	0,3128	0,4738	**0,0387**	0,1164	0,142	0,088	0,3905	**0,0498**	**0,0155**
An_RC	1,5939		0,5795	0,5319	0,3273	0,75	0,7639	0,5874	0,5815	0,2519	0,6961	0,7584	0,2023	0,5874	0,1164	0,2259
Bo_SM	1,442	1,3274		0,4695	0,4346	0,8526	0,6206	0,408	0,7097	**0,0225**	0,4497	0,9186	0,2828	0,5639	**0,0292**	0,1172
Ca_Sa	0,7733	1,9722	1,6199		1	1	0,7328	1	1	0,6764	0,3192	0,6168	1	1	0,578	0,4829
Cs_ta	2,0759	1,8726	2,1594	2,1787		1	0,5131	**<.0001**	1	1	0,638	0,9612	0,661	1	0,3383	**0,048**
Cu_Me	1,2627	1,0557	1,2178	1,5058	2,5389		0,7639	1	1	1	0,5898	0,9354	0,6646	1	0,7651	0,8301
Cu_Ve	0,7323	0,9188	0,9721	1,1118	1,7918	0,849		0,5068	0,5001	0,1312	0,6956	0,7893	0,2237	0,4707	0,0743	0,2237
Me_Cu	2,0386	1,6632	2,629	2,3099	2,92	1,5405	1,844		1	1	0,3542	0,461	1	1	0,7867	0,6966
Me_Re	1,4648	2,2538	1,3076	1,3022	2,0001	2,1136	1,5164	3,2884		1	0,4198	0,9937	0,6772	1	0,6001	**0,031**
Me_SM	3,8701	4,0891	4,8141	4,5231	4,4029	4,3585	4,0923	3,7082	5,0328		0,2801	0,167	0,335	**<.0001**	0,5388	0,0685
Me_Vi	1,1667	1,0564	1,2466	1,768	1,6466	1,4964	0,8484	2,2537	1,7435	3,664		0,9725	**0,0376**	0,2856	0,1349	**0,0279**
Qu_Fi	1,307	1,2776	0,7819	1,7557	1,8138	1,5297	0,9494	2,6472	1,3726	4,2156	0,6209		0,2359	0,4465	0,2139	0,091
Ri_Pe	1,8509	2,5087	2,1436	1,3379	3,2324	1,6521	1,9193	2,4428	2,2464	5,405	2,7455	2,6451		0,6663	**0,0289**	0,7019
To_Cu	1,7435	2,4292	1,9817	1,477	3,4232	1,4252	1,8414	2,4	2,2853	5,182	2,5969	2,4742	0,6759		0,2566	0,7178
Va_Yo	1,5127	2,4247	2,6779	2,166	2,7861	2,361	1,9682	2,4149	2,6974	2,4746	1,7626	2,1897	3,1567	2,9354		**0,0296**
Va_bu	1,5688	1,7234	1,752	1,6371	3,1157	0,7007	1,4236	1,6031	2,4744	4,6121	2,1249	2,1445	1,289	0,9511	2,6025	

Tabla S5. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de PTTA y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le); Antioquia, Rio Claro (An_RC); Boyacá, Santa María (Bo_SM); Caldas, Samaná (Ca_Sa); Casanare, Tauramena (Cs_Ta); Cundinamarca, Melgar (Cu_Me); Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve); Meta, Cumaral (Me_Cu); Meta, Restrepo (Me_Re); Meta, San Martín (Me_SM); Meta, Villavicencio (Me_Vi); Quindío, Finlandia (Qu_Fi); Risaralda, Pereira (Ri_Pe); Tolima, Cunday (To_Cu); Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo); Valle del Cauca, Buga (Va_bu).

	Am_Le	An_RC	Bo_SM	Ca_Sa	Cs_ta	Cu_Me	Cu_Ve	Me_Cu	Me_Re	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Cu	Va_Yo	Va_bu
Am_Le		**0,0015**	0,175	**0,0007**	**0,0197**	**0,0094**	**<.0001**	**0,0275**	**0,0322**	0,4348	0,2641	0,3142	**0,0025**	0,44	**0,0233**	**0,0267**
An_RC	3,2576		0,0505	0,2375	0,2467	1	**0,0432**	0,251	0,25	0,5015	**0,0022**	0,0869	0,698	0,0812	0,1177	0,1719
Bo_SM	1,2121	2,7517		**0,0332**	**<.0001**	0,2782	**0,0004**	**<.0001**	**<.0001**	1	0,5037	0,2701	0,1039	0,2902	**0,0119**	0,0733
Ca_Sa	4,5471	1,9545	4,4298		0,3292	**<.0001**	**0,0134**	0,332	0,3278	0,3304	**0,005**	**0,0486**	0,3341	0,3269	0,1879	0,0971
Cs_ta	4,6258	3,225	4,3499	3,7833		1	0,9129	1	1	**<.0001**	0,0981	0,1829	0,3391	1	0,0804	**0,0324**
Cu_Me	3,0606	1,3912	2,8155	2,4427	3,1826		0,3275	1	1	1	0,5948	0,4347	1	1	0,5029	0,7022
Cu_Ve	3,8445	2,5868	3,4034	3,6481	1,0752	2,7375		0,9391	0,0971	0,2363	**0,0023**	**0,0074**	0,4026	0,09	**0,0071**	**0,0017**
Me_Cu	3,3501	3,0138	3,0384	4,2715	1,9541	2,4967	1,4996		1	1	0,1206	0,3463	0,6664	1	0,0696	**0,0153**
Me_Re	4,6505	4,2343	3,4559	6,1113	5,7823	4,7232	4,7842	4,7487		1	0,1048	0,1682	0,3365	1	**0,0487**	0,1321
Me_SM	1,68	2,1388	1,1316	3,655	4,1654	2,672	3,2411	3,3448	3,7405		0,7254	0,9216	1	1	0,4636	0,7723
Me_Vi	1,1118	2,4594	1,0443	3,9274	4,1082	2,0859	3,3233	2,754	4,1347	1,5441		0,9455	0,1628	0,757	0,1315	0,2038
Qu_Fi	1,2074	2,309	1,4722	3,5574	3,6548	1,9225	2,9624	2,5061	4,6267	1,6156	0,7225		0,4295	0,9946	0,5944	0,7399
Ri_Pe	2,9017	1,4155	2,2349	3,1362	2,5345	1,532	1,6768	1,7562	3,727	2,1385	2,0625	1,9631		0,6668	0,1615	0,2457
To_Cu	1,9474	2,7117	2,6313	3,206	3,9485	2,2397	3,5302	3,2308	5,8023	2,4374	1,8496	1,2683	2,8234		0,8994	0,8697
Va_Yo	1,9093	2,4286	2,4609	2,9531	4,2079	2,2919	3,6828	3,583	5,5332	2,0196	1,8295	1,3777	2,8107	0,7384		0,7839
Va_bu	1,8022	1,7752	1,9259	2,7988	3,4741	1,8849	2,8137	2,858	4,8098	1,3952	1,4873	0,9797	1,9371	1,2338	0,9742	

Tabla S6. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de MTA (debajo de la diagonal) y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le); Antioquia, Rio Claro (An_RC); Boyacá, Santa María (Bo_SM); Caldas, Samaná (Ca_Sa); Casanare, Tauramena (Cs_Ta); Cundinamarca, Melgar (Cu_Me); Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve); Meta, Cumaral (Me_Cu); Meta, Restrepo (Me_Re); Meta, San Martín (Me_SM); Meta, Villavicencio (Me_Vi); Quindío, Finlandia (Qu_Fi); Risaralda, Pereira (Ri_Pe); Tolima, Cunday (To_Cu); Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo); Valle del Cauca, Buga (Va_bu).

	Am_Le	An_RC	Bo_SM	Ca_Sa	Cs_ta	Cu_Me	Cu_Ve	Me_Cu	Me_Re	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Cu	Va_Yo	Va_bu
Am_Le		**0,0084**	**0,0005**	0,6596	**0,0481**	0,3414	0,0905	**0,0169**	0,0671	**0,0079**	**0,0004**	**0,0002**	**0,0219**	0,0652	**0,0015**	**0,0002**
An_RC	4,0099		**0,0035**	0,312	0,2479	0,165	**0,0462**	1	0,2473	0,2512	**0,0174**	**0,0072**	0,3058	0,2533	0,0532	**0,0264**
Bo_SM	3,3476	5,1809		**0,032**	0,1403	0,1221	0,1958	**0,0279**	0,0656	**0,0177**	0,1393	**0,0024**	**0,0202**	0,1139	**0,0308**	**0,0053**
Ca_Sa	3,0875	4,496	4,314		**<.0001**	0,3359	0,4008	**<.0001**	0,3379	0,3377	0,1359	0,2741	0,3346	0,3291	0,397	0,1323
Cs_ta	6,1033	7,9605	5,1608	6,3216		**<.0001**	0,0964	**<.0001**	1	**<.0001**	**0,0074**	0,1638	0,3332	1	0,8043	0,4
Cu_Me	5,0413	7,228	5,4533	5,553	7,675		0,1069	**<.0001**	1	**<.0001**	0,1396	**0,0161**	0,3399	1	0,1308	0,2
Cu_Ve	2,4695	3,868	2,5571	3,3596	5,4012	5,981		0,3933	0,1043	0,126	**0,0377**	0,1372	**0,0086**	0,0526	0,558	**0,0034**
Me_Cu	5,6339	5,1515	6,2916	5,5607	7,7159	7,5092	4,5874		**<.0001**	1	**0,0033**	0,4137	0,3355	1	0,8372	0,1722
Me_Re	5,6746	7,4154	5,9971	5,9753	6,9182	8,5983	5,8821	7,8467		1	**0,035**	0,3221	0,6644	1	**0,049**	**<.0001**
Me_SM	6,3676	7,1684	4,7915	6,8462	5,4751	7,8116	5,5741	8,2798	8,3677		**0,0486**	**0,0292**	**<.0001**	1	0,6858	0,1969
Me_Vi	3,2167	4,9765	2,7193	3,9487	5,2131	5,952	3,1045	6,082	6,005	5,4226		**0,0009**	**0,0196**	0,1385	0,0596	**0,0014**
Qu_Fi	3,6019	4,6663	4,148	3,6818	5,4862	6,4075	2,9092	4,9995	5,4325	6,3393	3,913		0,2483	**0,0458**	0,149	**0,0168**
Ri_Pe	4,8134	4,7027	5,8325	4,9982	7,3842	7,9797	4,7723	5,9496	5,956	7,5079	5,8343	4,1338		**<.0001**	0,2266	0,0651
To_Cu	6,01	6,834	7,4553	5,2101	8,6709	7,4472	7,0724	8,2316	7,4209	8,7417	6,6874	6,2566	5,8394		0,2015	0,1804
Va_Yo	3,9016	4,8226	3,4389	3,9828	4,7721	6,5689	2,7079	4,5047	6,166	5,1026	3,4756	3,502	4,5026	6,7189		0,1125
Va_bu	5,4317	6,9067	4,9606	4,7056	4,7567	7,4178	4,4082	6,2535	7,2916	6,5977	4,7188	4,4578	6,3324	8,3722	3,768	

Tabla S7. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de CTA y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le); Antioquia, Rio Claro (An_RC); Boyacá, Santa María (Bo_SM); Caldas, Samaná (Ca_Sa); Casanare, Tauramena (Cs_Ta); Cundinamarca, Melgar (Cu_Me); Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve); Meta, Cumaral (Me_Cu); Meta, Restrepo (Me_Re); Meta, San Martín (Me_SM); Meta, Villavicencio (Me_Vi); Quindío, Finlandia (Qu_Fi); Risaralda, Pereira (Ri_Pe); Tolima, Cunday (To_Cu); Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo); Valle del Cauca, Buga (Va_bu).

	Am_Le	An_RC	Bo_SM	Ca_Sa	Cs_ta	Cu_Me	Cu_Ve	Me_Cu	Me_Re	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Cu	Va_Yo	Va_bu
Am_Le		**0,0018**	**<.0001**	**0,0075**	0,0503	0,0522	**<.0001**	0,0501	0,0577	**0,0383**	**<.0001**	**<.0001**	**0,006**	0,0506	**0,0001**	**0,0001**
An_RC	13,4366		**0,0105**	**<.0001**	0,087	0,2564	**0,0003**	0,1687	**<.0001**	**<.0001**	**0,0058**	**0,0048**	0,0648	**<.0001**	**<.0001**	**0,0139**
Bo_SM	13,3873	10,7155		**0,0282**	0,1435	0,1238	**0,0026**	0,1238	0,1481	**0,0311**	**0,002**	**0,0018**	**0,0128**	0,0571	**0,0004**	**0,0005**
Ca_Sa	16,3213	12,1432	9,6776		0,3353	0,3307	**0,0319**	**<.0001**	0,3349	**<.0001**	**0,0292**	**0,0303**	0,323	0,3309	**0,0158**	**0,0341**
Cs_ta	17,3109	10,5165	12,5007	16,0484		1	**0,0474**	1	1	1	0,101	**0,0243**	**<.0001**	**<.0001**	0,0665	**0,0324**
Cu_Me	16,3212	15,9369	21,7947	23,1763	21,0384		**0,0238**	**<.0001**	**<.0001**	**<.0001**	0,0998	**0,033**	0,3249	1	0,0677	0,0955
Cu_Ve	14,5959	8,4107	10,4708	11,705	9,8156	18,6395		**0,034**	0,1297	0,1307	**0,0018**	**0,0008**	**0,024**	0,1016	**0,0018**	**0,0039**
Me_Cu	11,4825	8,9524	12,4856	14,4621	12,1777	14,5623	9,6309		1	1	0,0827	**0,0026**	**<.0001**	1	**0,0492**	0,0679
Me_Re	15,6128	11,5552	6,6814	11,1364	11,8632	22,8552	10,8164	13,6092		1	0,1257	0,1418	0,3358	1	0,0535	**0,0347**
Me_SM	22,4648	21,3758	15,495	17,4814	19,7925	32,7493	17,8059	23,199	16,096		0,0571	0,1179	0,3279	1	0,18	0,0512
Me_Vi	13,7567	10,032	4,9997	7,7876	14,1687	21,9679	10,2168	11,6735	8,2777	16,47		**0,0023**	**0,0229**	0,1043	**0,002**	**0,002**
Qu_Fi	13,2267	10,3084	8,6601	10,5718	15,9841	18,6567	10,9246	11,1538	12,1381	20,3357	7,0328		**0,0428**	0,1304	**0,0042**	**0,0067**
Ri_Pe	13,8586	14,5912	10,4109	12,2611	19,8719	21,6994	16,0577	15,3152	14,3914	21,4574	9,7879	8,1991		**<.0001**	**0,0205**	**0,0367**
To_Cu	18,8866	13,677	10,9319	9,7911	14,2838	26,0524	12,815	17,0125	12,925	16,4145	11,063	13,2283	14,7556		0,1036	0,0654
Va_Yo	20,4718	16,7721	10,3842	10,4011	18,472	28,8233	15,6795	19,3959	12,9682	15,5225	9,6426	12,8999	13,4341	9,6665		**0,0055**

Va_bu	13,8027	14,0139	9,0568	9,9792	18,575	23,4603	14,089	14,7515	12,6871	18,1607	6,9513	7,7641	6,7686	12,5385	10,0511

Tabla S8. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de AATT y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le), Boyacá, Santa María (Bo_SM), Cundinamarca Venecia (Cu_Ve), Meta San Martín (Me_SM), Meta Villavicencio (Me_Vi), Quindío Finlandia (Qu_Fi), Risaralda Pereira (Ri_Pe) y Tolima Cambao (To_Cu).

	Am_Le	Bo_SM	Cu_Ve	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Ca
Am_Le		**0,0024**	**0,003**	**0,0343**	**0,0193**	**<.0001**	**0,0036**	**0,0442**
Bo_SM	12,6095		0,3364	0,3292	0,3377	**0,0117**	**<.0001**	**<.0001**
Cu_Ve	24,9606	32,717		0,3342	**<.0001**	**0,0114**	0,33	0,3355
Me_SM	18,3911	24,5356	18,1581		**<.0001**	**0,0107**	**<.0001**	1
Me_Vi	12,2551	18,8302	22,6113	18,5052		0,0705	0,3369	1
Qu_Fi	22,5403	28,0867	15,7419	11,6017	20,7641		**0,0061**	**0,0348**
Ri_Pe	26,2925	30,0544	19,4215	15,0679	25,311	9,0948		**<.0001**
To_Ca	35,9887	42,079	25,4725	29,8654	34,3976	26,1855	23,1691	

Tabla S9. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de APTT y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le), Boyacá, Santa María (Bo_SM), Cundinamarca Venecia (Cu_Ve), Meta San Martín (Me_SM), Meta Villavicencio (Me_Vi), Quindío Finlandia (Qu_Fi), Risaralda Pereira (Ri_Pe) y Tolima Cambao (To_Cu).

	Am_Le	Bo_SM	Cu_Ve	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Ca
Am_Le		**0,002**	**0,001**	**0,0237**	**0,0151**	**<.0001**	**0,0027**	0,081
Bo_SM	4,4626		0,3336	0,3378	0,3288	**0,0142**	0,3355	0,3328
Cu_Ve	11,0233	11,8591		0,337	0,3342	**0,0169**	0,3291	0,3343
Me_SM	7,541	9,5689	12,9261		**<.0001**	0,1143	0,3286	1
Me_Vi	9,0342	7,9445	15,977	14,1638		**0,0144**	0,332	1
Qu_Fi	4,3959	4,4944	10,2769	9,6109	7,5635		**0,0225**	0,4504
Ri_Pe	8,0807	9,8628	10,8593	9,8366	14,1987	7,9325		0,3372
To_Ca	4,8067	5,6234	12,3366	8,5416	9,663	4,4699	7,1969	

Tabla S10. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de PBTT y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le), Boyacá, Santa María (Bo_SM), Cundinamarca Venecia (Cu_Ve), Meta San Martín (Me_SM), Meta Villavicencio (Me_Vi), Quindío Finlandia (Qu_Fi), Risaralda Pereira (Ri_Pe) y Tolima Cambao (To_Cu).

	Am_Le	Bo_SM	Cu_Ve	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Ca
Am_Le		0,9748	**0,0086**	0,9696	0,922	**0,0054**	0,3463	0,0588
Bo_SM	0,4631		0,3222	1	0,675	0,2486	0,3278	0,3377
Cu_Ve	2,592	2,5166		0,6694	0,668	0,2943	0,335	0,3327
Me_SM	0,9398	0,7276	2,5364		1	0,564	0,6708	1

Me_Vi	1,2436	1,4949	2,2451	1,9868		0,7831	1	1
Qu_Fi	1,5421	1,787	1,8319	1,9862	1,2499		0,2065	0,0679
Ri_Pe	1,5427	1,8086	3,5706	1,5782	2,4319	2,2805		1
To_Ca	3,2794	3,3516	3,7057	2,8243	3,6475	3,5296	2,7114	

Tabla S11. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de PTTT y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le), Boyacá, Santa María (Bo_SM), Cundinamarca Venecia (Cu_Ve), Meta San Martín (Me_SM), Meta Villavicencio (Me_Vi), Quindío Finlandia (Qu_Fi), Risaralda Pereira (Ri_Pe) y Tolima Cambao (To_Cu).

	Am_Le	Bo_SM	Cu_Ve	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Ca
Am_Le		0,1773	**0,0189**	0,8635	0,4103	<.0001	**0,0072**	**0,0275**
Bo_SM	1,7798		1	1	1	**0,0193**	0,3315	0,3374
Cu_Ve	2,4377	1,6528		0,6747	1	**0,0228**	0,6616	<.0001
Me_SM	1,1172	1,9227	3,1412		1	**0,0473**	1	1
Me_Vi	1,5301	0,5238	1,4079	1,8905		0,0985	1	1
Qu_Fi	2,3641	3,7346	3,4936	3,1446	3,4515		0,4767	<.0001
Ri_Pe	3,0331	3,9587	3,2957	3,7784	3,5853	1,7087		0,6635
To_Ca	3,4408	4,9627	5,5507	3,2804	4,782	3,0032	3,7631	

Tabla S12. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de MTT y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le), Boyacá, Santa María (Bo_SM), Cundinamarca Venecia (Cu_Ve), Meta San Martín (Me_SM), Meta Villavicencio (Me_Vi), Quindío Finlandia (Qu_Fi), Risaralda Pereira (Ri_Pe) y Tolima Cambao (To_Cu).

	Am_Le	Bo_SM	Cu_Ve	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Ca
Am_Le		**0,0095**	**0,0003**	**0,0054**	**0,0252**	**<.0001**	**0,0086**	**0,013**
Bo_SM	4,4315		<.0001	0,3346	0,3361	**0,0176**	0,3386	**<.0001**
Cu_Ve	5,41	7,9421		0,3289	0,3338	**0,02**	0,3425	**<.0001**
Me_SM	6,7954	8,16	8,3746		1	0,0581	0,3374	**<.0001**
Me_Vi	7,5272	8,7816	7,9545	11,7717		0,064	0,329	1
Qu_Fi	3,2289	5,4233	5,1568	7,2633	8,5119		**0,0126**	0,0557
Ri_Pe	4,1715	5,7407	6,4724	9,7489	7,6881	5,0057		0,3353
To_Ca	11,4495	12,2051	12,375	11,6746	14,529	9,8256	13,2453	

Tabla S13. Distancias de Mahalanobis (debajo de la diagonal) entre grupos de CTT y su respectivo valor p (encima de la diagonal). Los valores de la distancia de Mahalanobis presentan un gradiente de color rojo, donde a mayor intensidad del color, mayor distancia. Los valores de p significativos (<0.05) están en negrilla. Amazonas, Leticia (Am_Le), Boyacá, Santa María (Bo_SM), Cundinamarca Venecia (Cu_Ve), Meta San Martín (Me_SM), Meta Villavicencio (Me_Vi), Quindío Finlandia (Qu_Fi), Risaralda Pereira (Ri_Pe) y Tolima Cambao (To_Cu).

	Am_Le	Bo_SM	Cu_Ve	Me_SM	Me_Vi	Qu_Fi	Ri_Pe	To_Ca
Am_Le		**0,0006**	**0,0006**	0,0328	**0,0096**	**<.0001**	**0,0014**	**0,024**
Bo_SM	77,2586		0,33	0,3357	0,338	**0,0014**	0,3258	0,3368
Cu_Ve	132,1122	58,1014		0,3406	0,3256	**0,0013**	0,3339	0,3283

Me_SM	30,3424	91,0583	147,3055		1	0,1017	0,328	1
Me_Vi	50,3148	39,3157	87,399	70,9673		**0,02**	0,3392	1
Qu_Fi	29,9613	51,8738	107,4693	44,1167	32,3549		**0,0245**	0,1077
Ri_Pe	18,2316	69,8201	123,8798	38,0895	43,396	20,2134		0,3363
To_Ca	36,2261	105,5304	160,0089	43,143	74,8283	56,9578	41,1049	

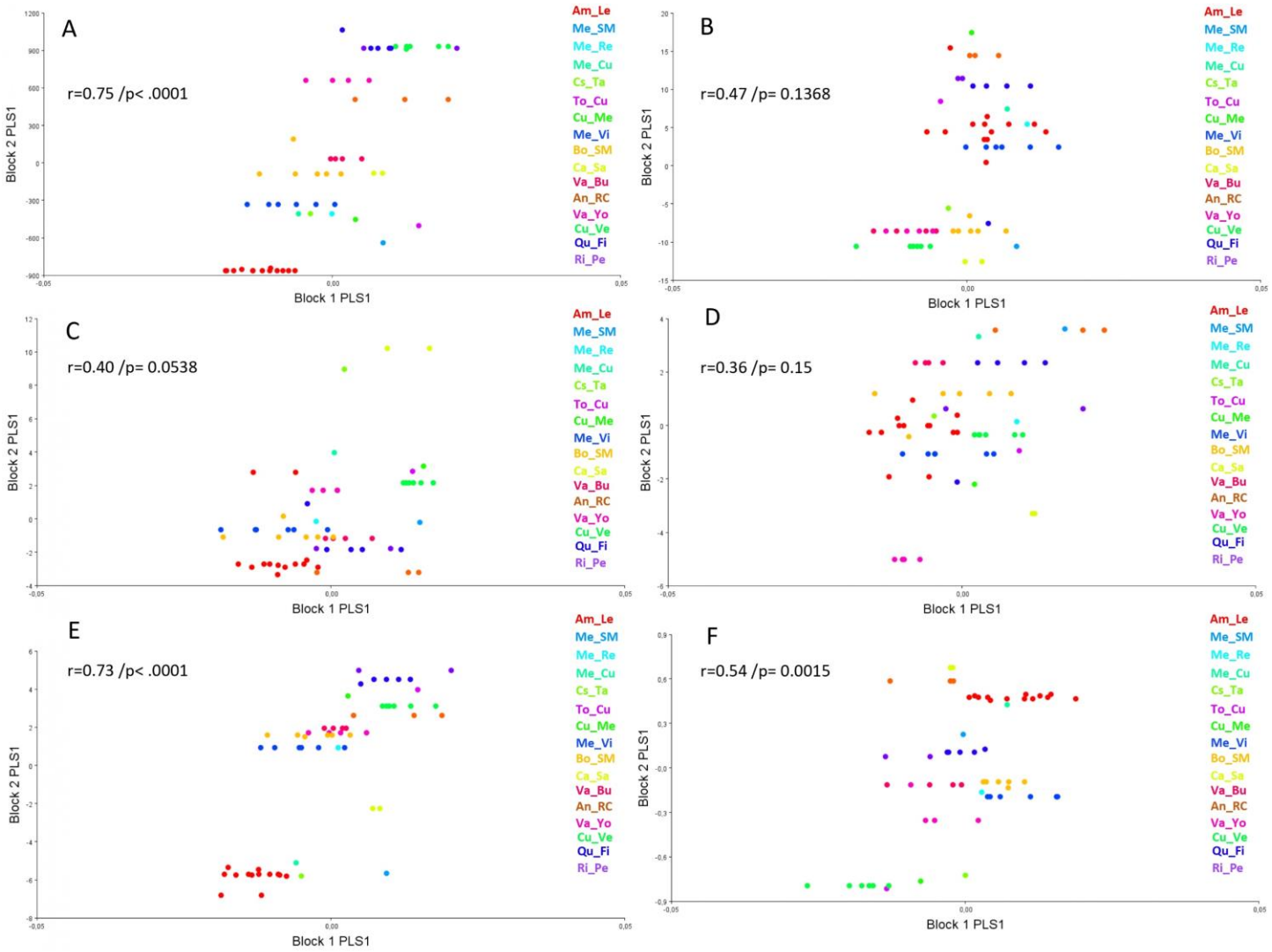


Figura S1. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma del ala posterior de *Trigona amalthea* (APTA)con variables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM)

en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

Figura S2. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma del ala posterior de *Trigona truculenta* (APTT) con variables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

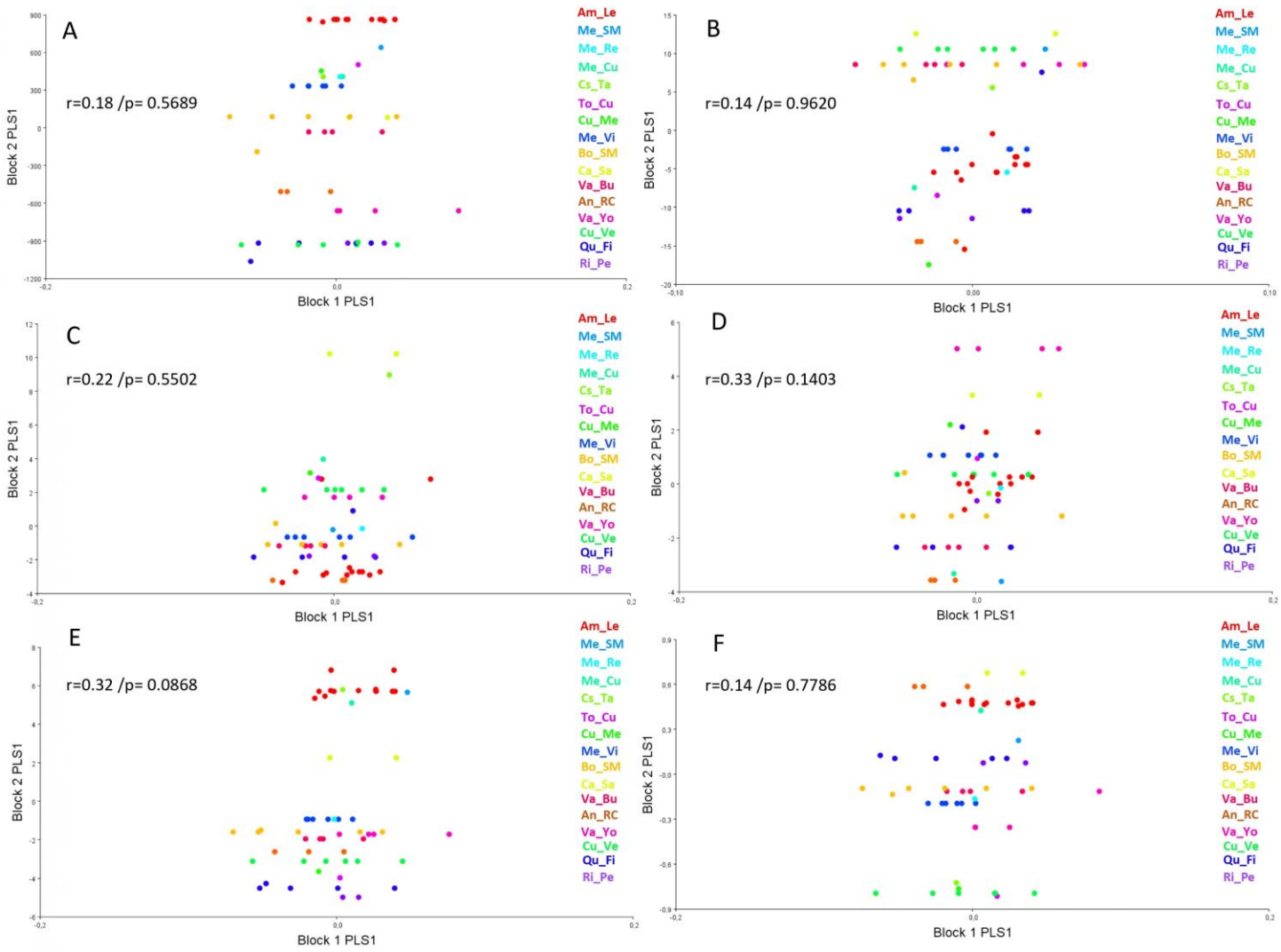


Figura S3. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma del basitarso de la pata posterior de *Trigona amalthea* (PBTA)con variables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

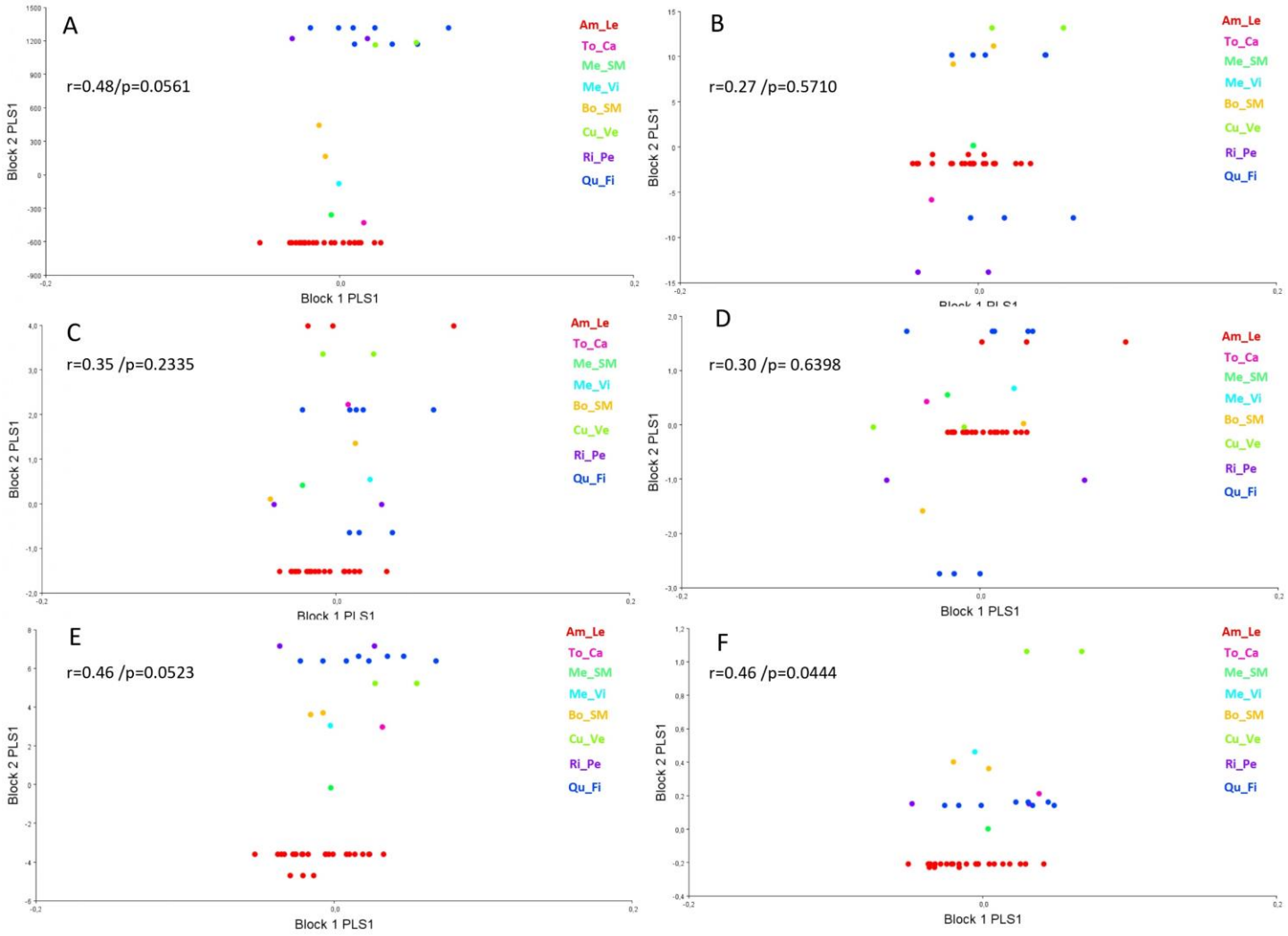


Figura S4. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma del basitarso de la pata posterior de *Trigona truculenta* (PBTT) con variables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

Figura S5. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma de la tibia de la pata posterior de *Trigona amalthea* (PTTA)con variables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

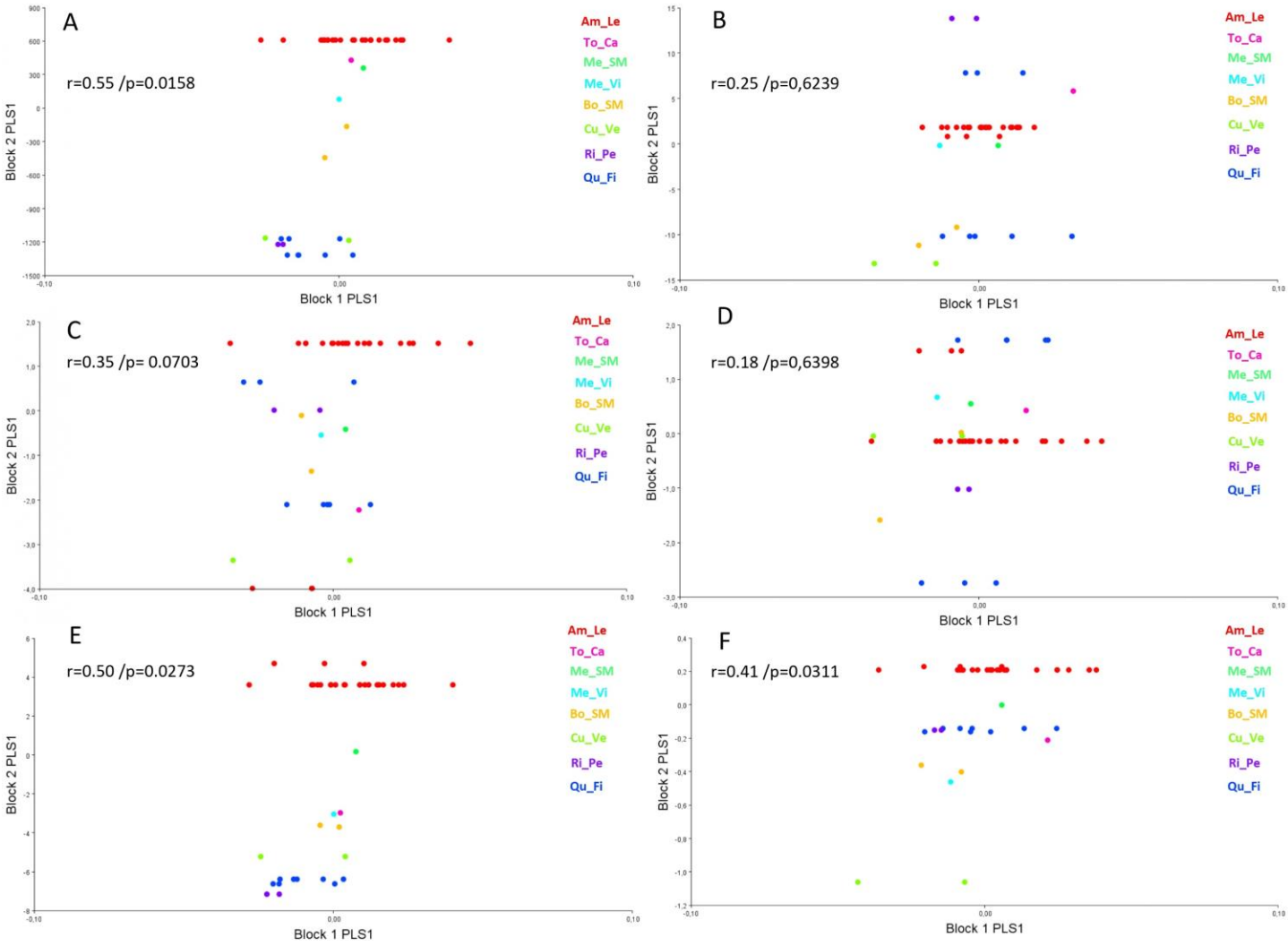


Figura S6. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma de la tibia de la pata posterior de *Trigona truculenta* (PTTT) con variables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

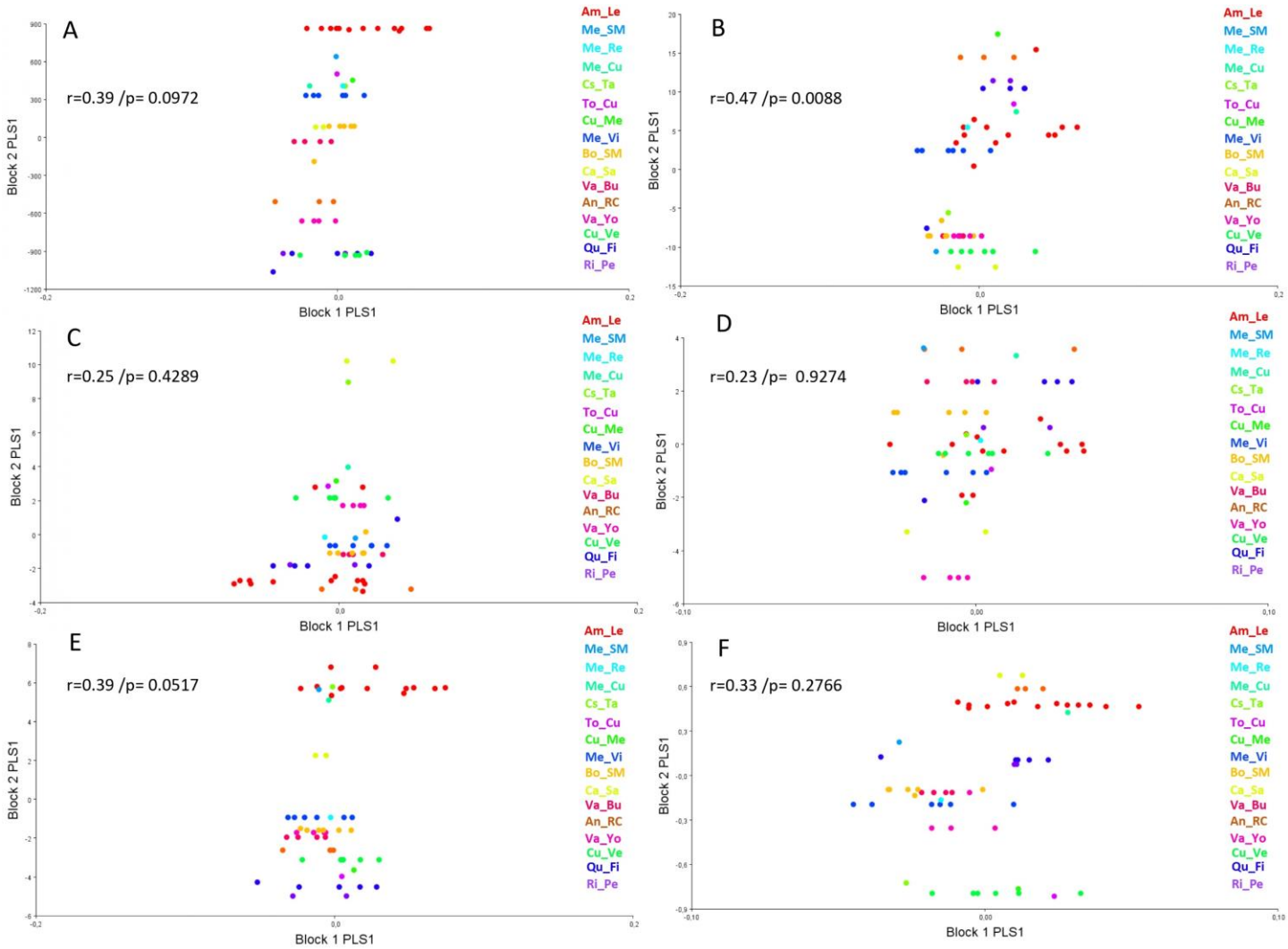


Figura S7. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma del mesosoma de *Trigona amalthea* (MTA)con variables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

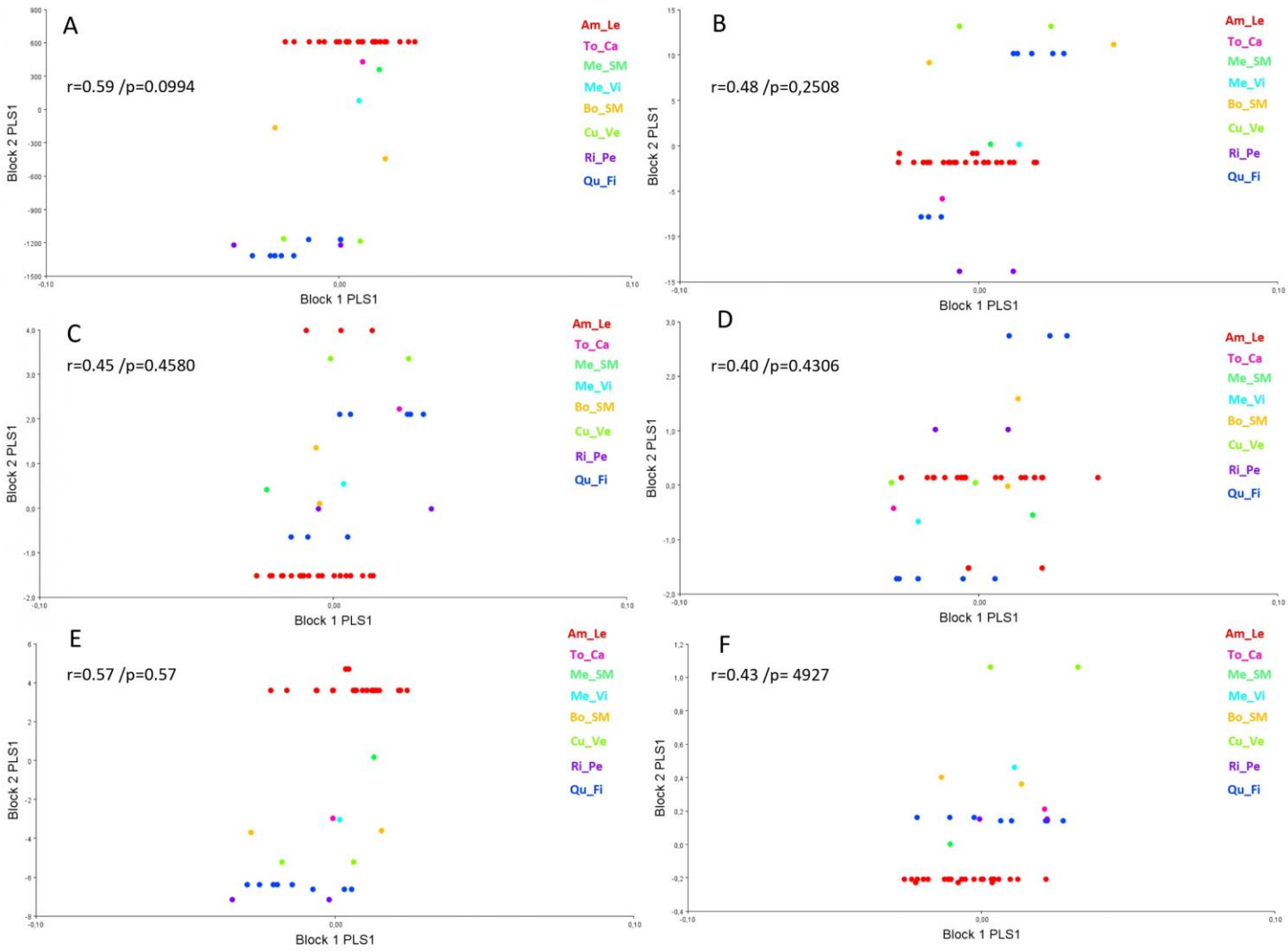


Figura S8. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma del mesosoma de *Trigona truculenta* (MTT) con variables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

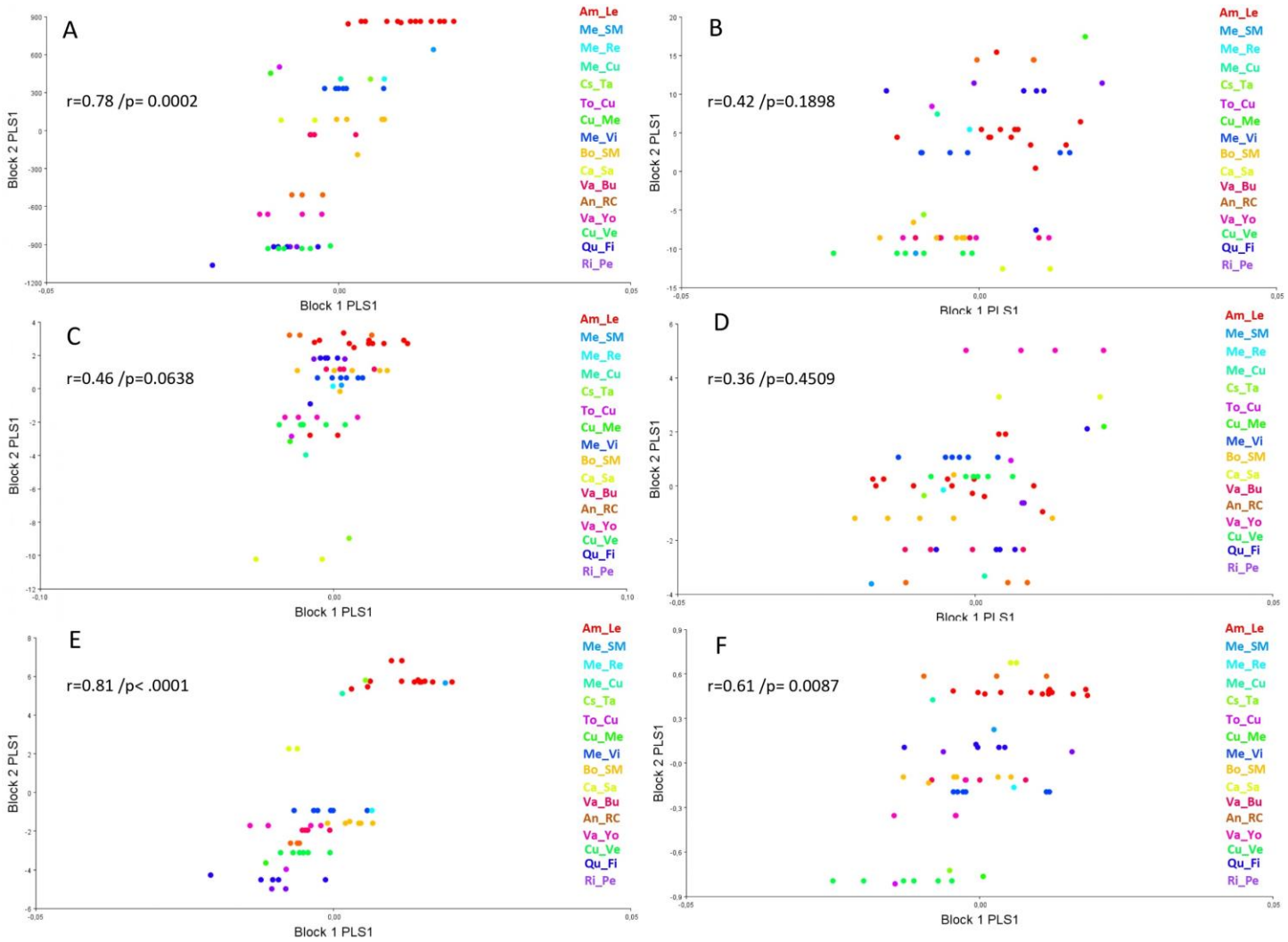


Figura S9. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma de la cabeza de *Trigona amalthea* (PTTA) con variables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

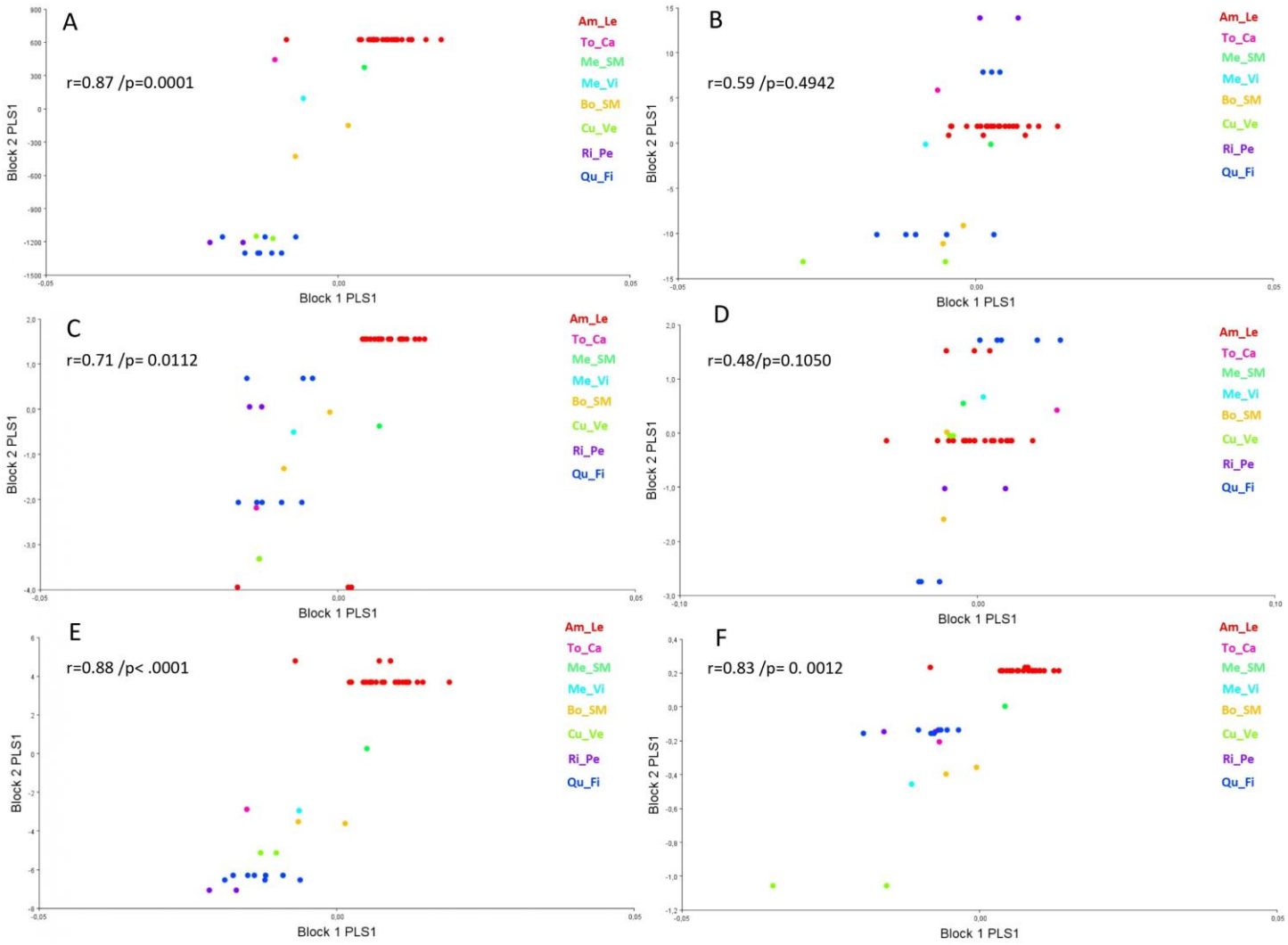


Figura S10. Análisis de mínimos cuadrados parciales de dos bloques (2B-PLS) de la forma de la cabeza de *Trigona truculenta* (PTTT) con variables geográficas y climáticas. El eje horizontal corresponde a eje de PLS para la forma y el eje vertical al eje de PLS de la variable. A: Altitud; B: Año; C: HR; D: Prec; E: TanAvg; F: WS. Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

Regresiones

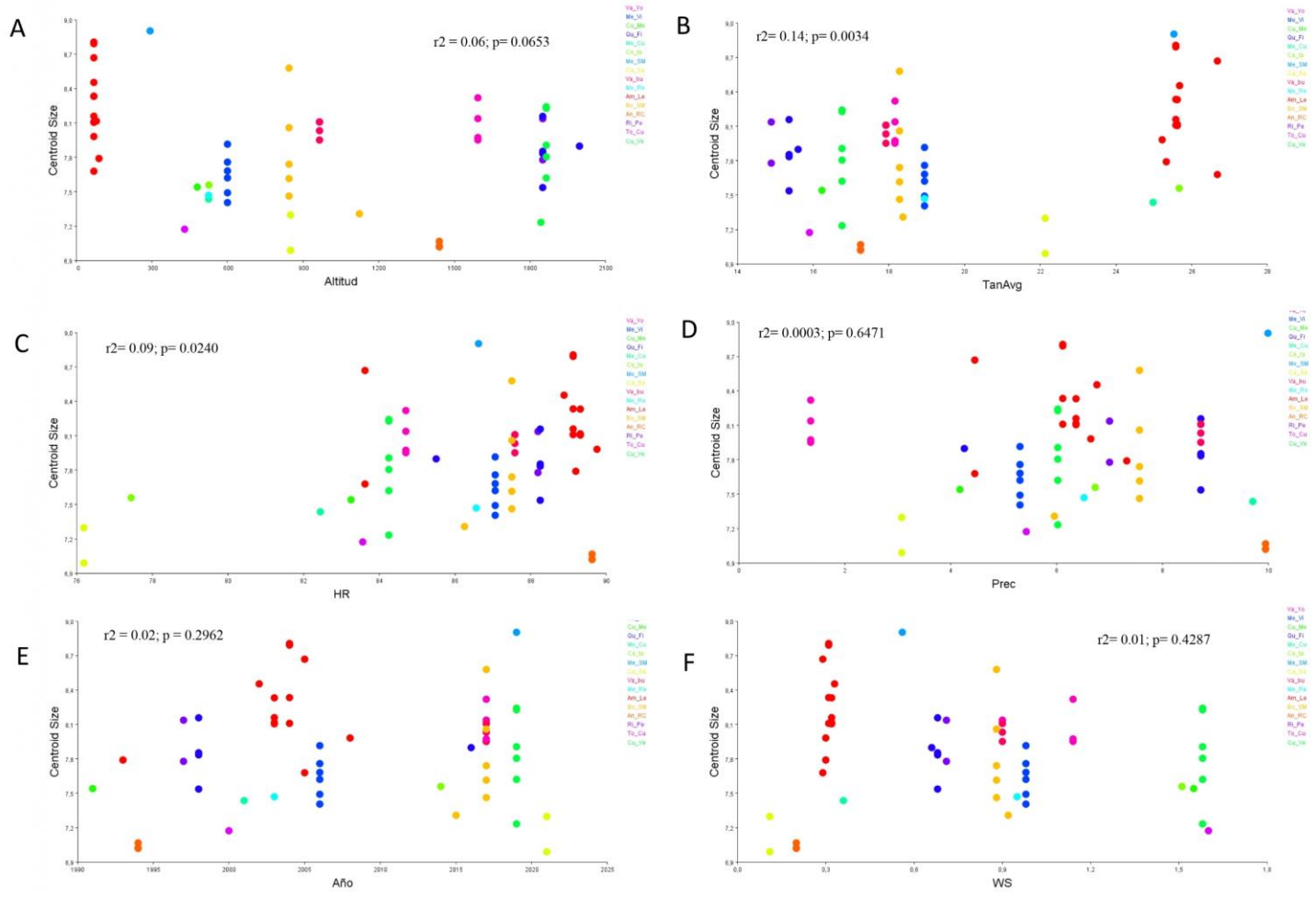


Figura S11. Análisis de regresión entre tamaño del centroide del ala anterior de *Trigona amalthea* (AATA) y altitud (A), Temperatura anual promedio (B), Humedad relativa (C), precipitación (D), Año (E) y Velocidad del viento (F). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

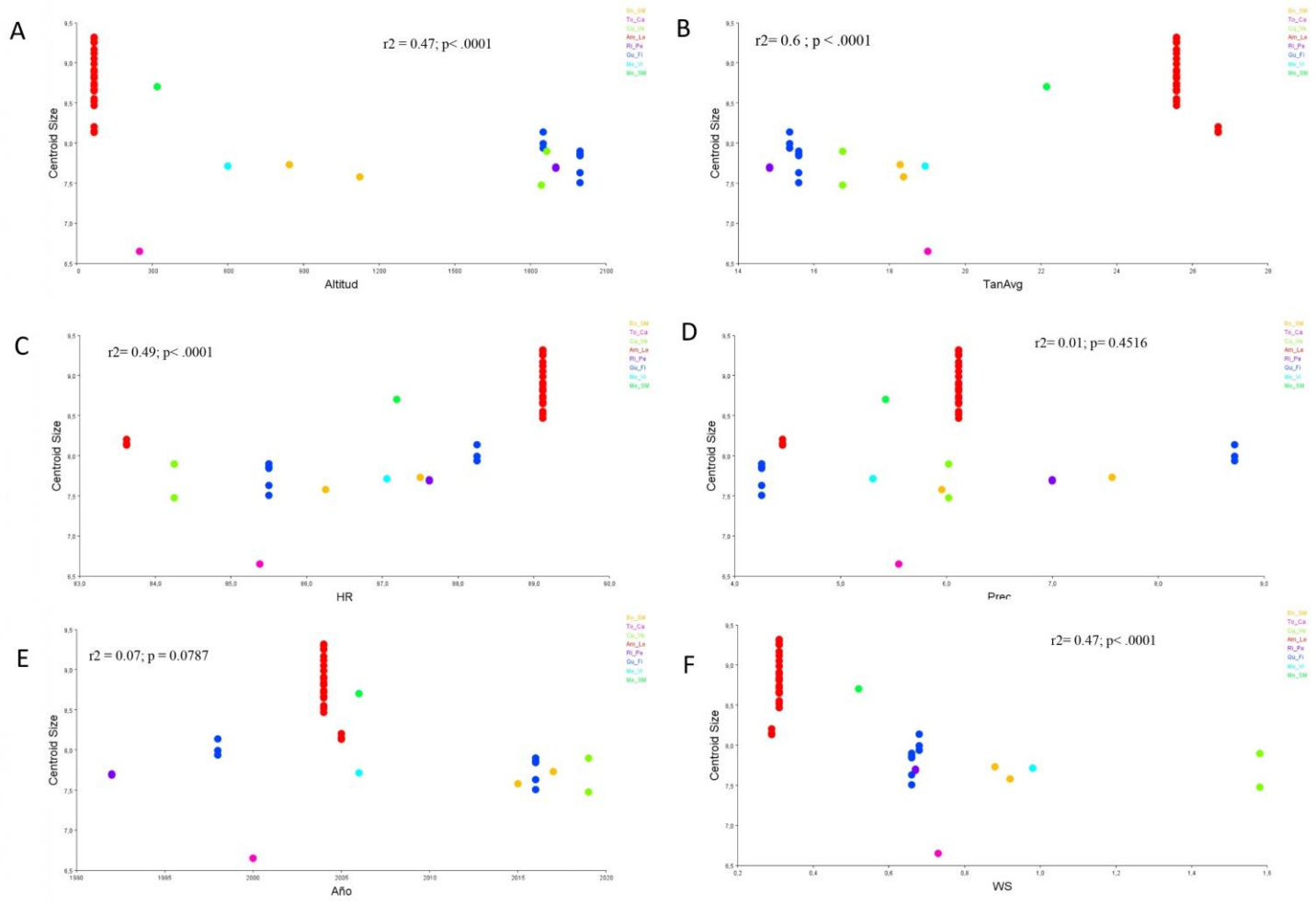


Figura S12. Análisis de regresión entre tamaño del centroide del ala anterior de *Trigona truculenta* (AATT) y altitud (A), Temperatura anual promedio (B), Humedad relativa (C), precipitación (D), Año (E) y Velocidad del viento (F). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

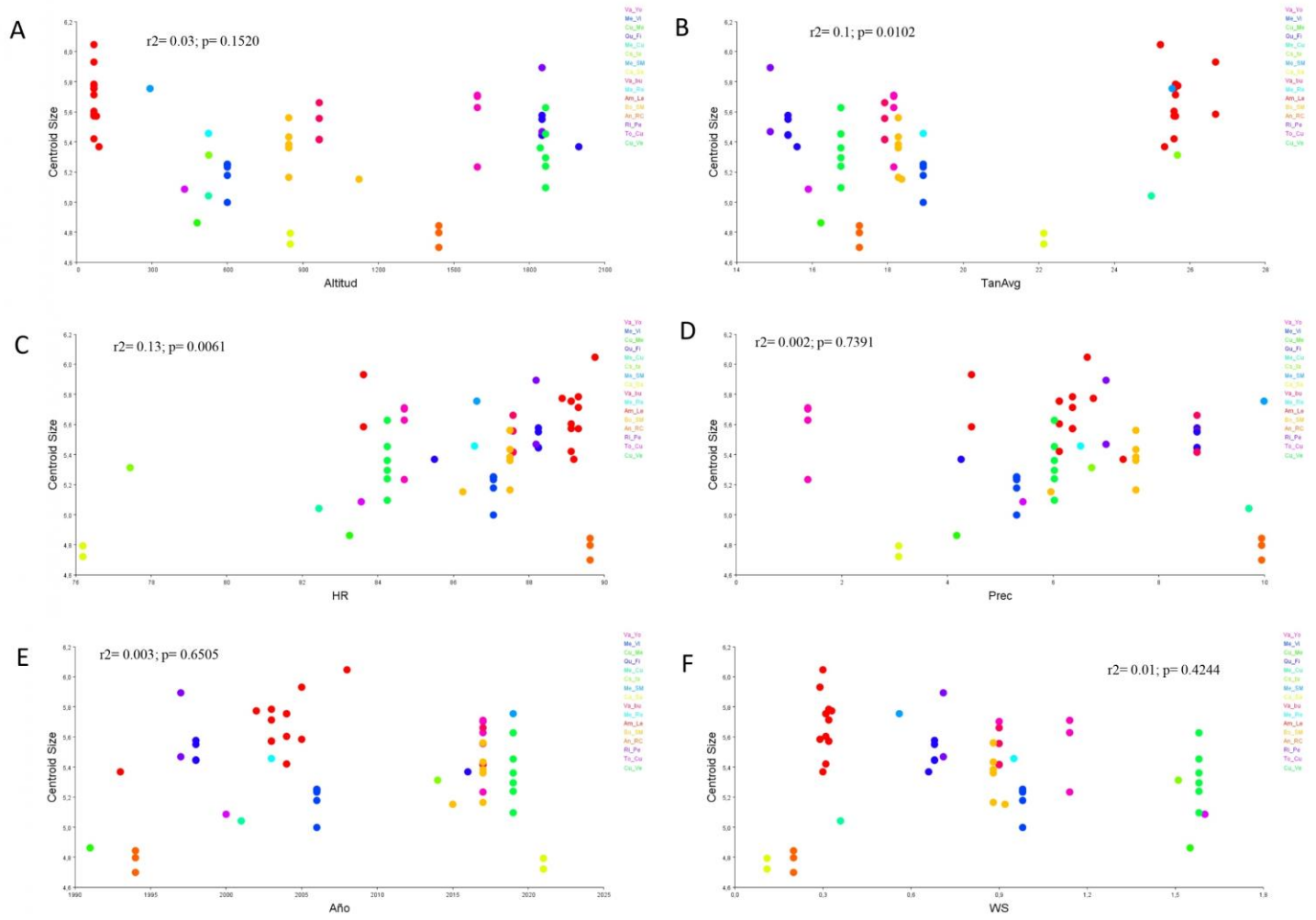


Figura S13. Análisis de regresión entre tamaño del centroide del ala posterior de *Trigona amalthea* (APTA) y altitud (A), Temperatura anual promedio (B), Humedad relativa (C), precipitación (D), Año (E) y Velocidad del viento (F). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

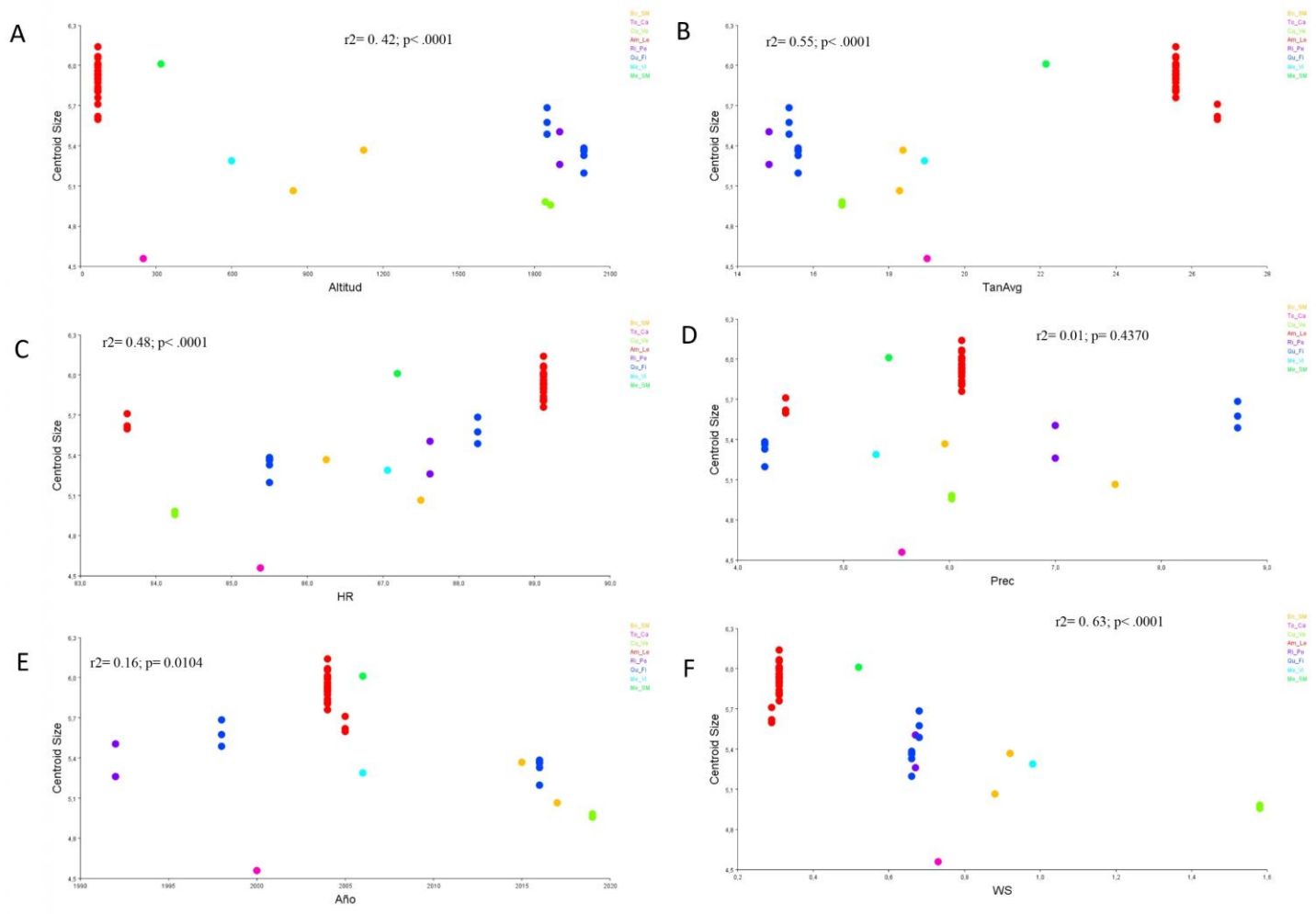


Figura S14. Análisis de regresión entre tamaño del centroide del ala posterior de *Trigona truculenta* (APTT) y altitud (A), Temperatura anual promedio (B), Humedad relativa (C), precipitación (D), Año (E) y Velocidad del viento (F). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

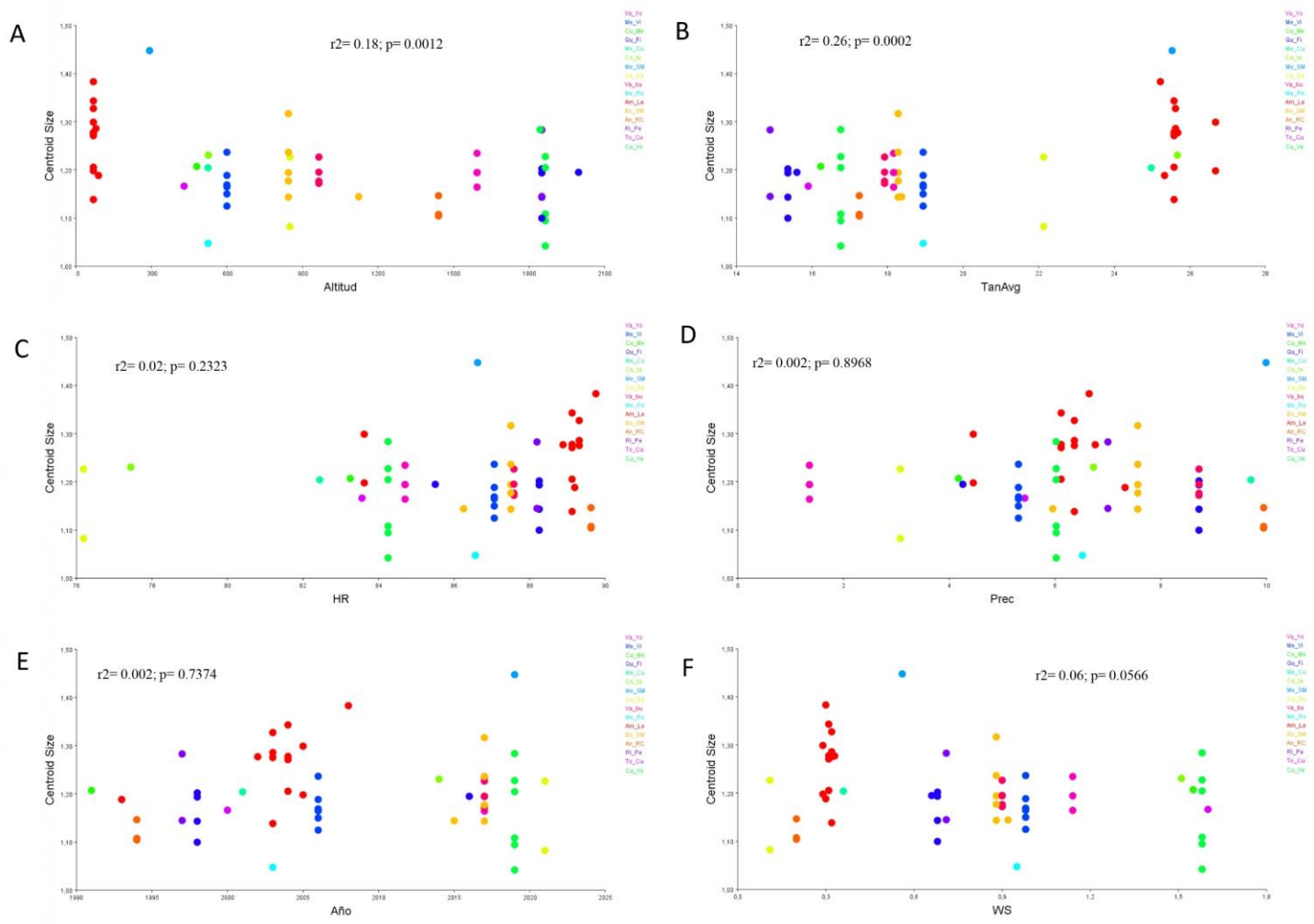


Figura S15. Análisis de regresión entre tamaño del centroide del basitarso de la pata anterior de *Trigona amalthea* (PBTA) y altitud (A), Temperatura anual promedio (B), Humedad relativa (C), precipitación (D), Año (E) y Velocidad del viento (F). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

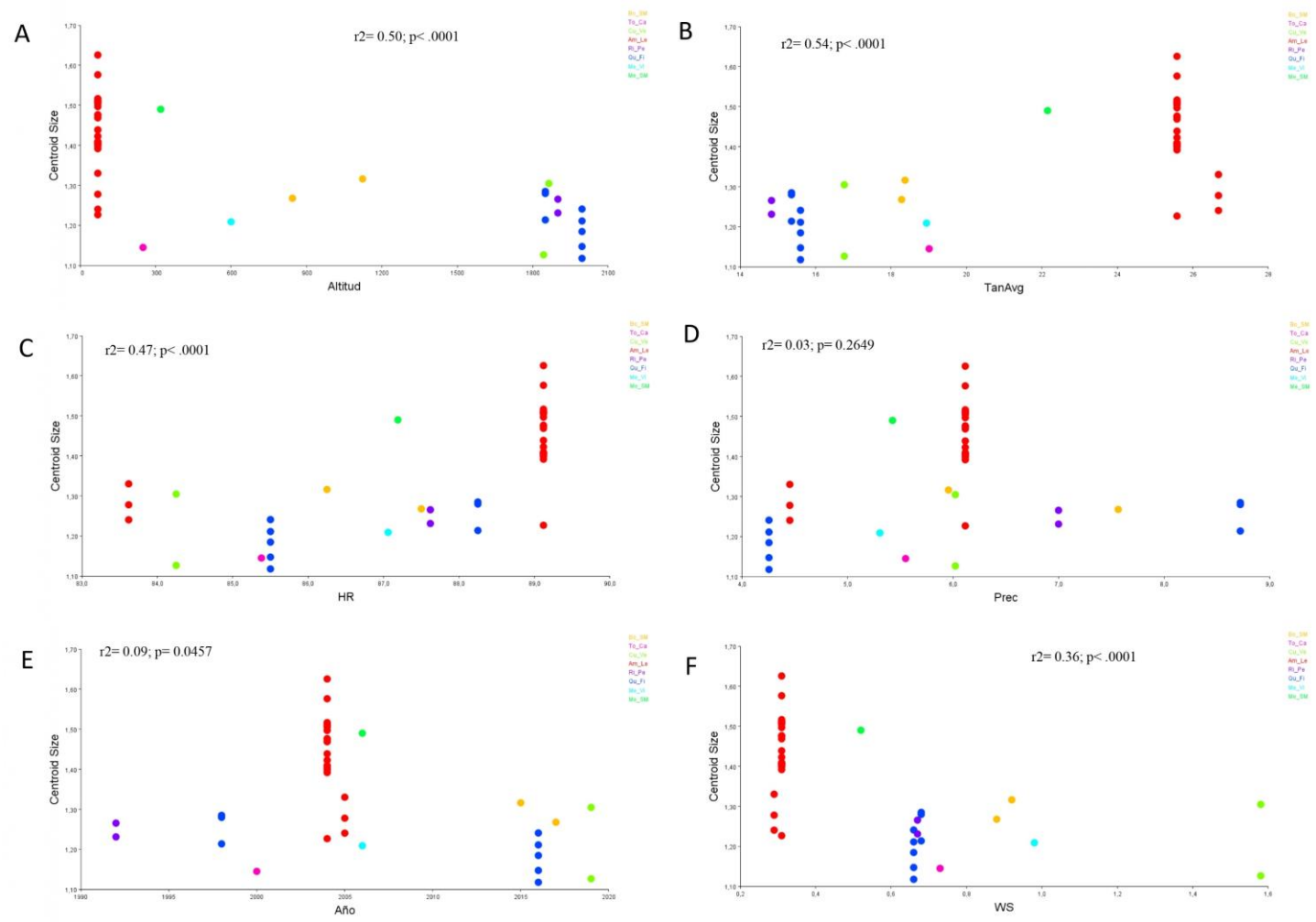


Figura S16. . Análisis de regresión entre tamaño del centroide del basitarso de la pata posterior de *Trigona truculenta* (PBTT) y altitud (A), Temperatura anual promedio (B), Humedad relativa (C), precipitación (D), Año (E) y Velocidad del viento (F). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

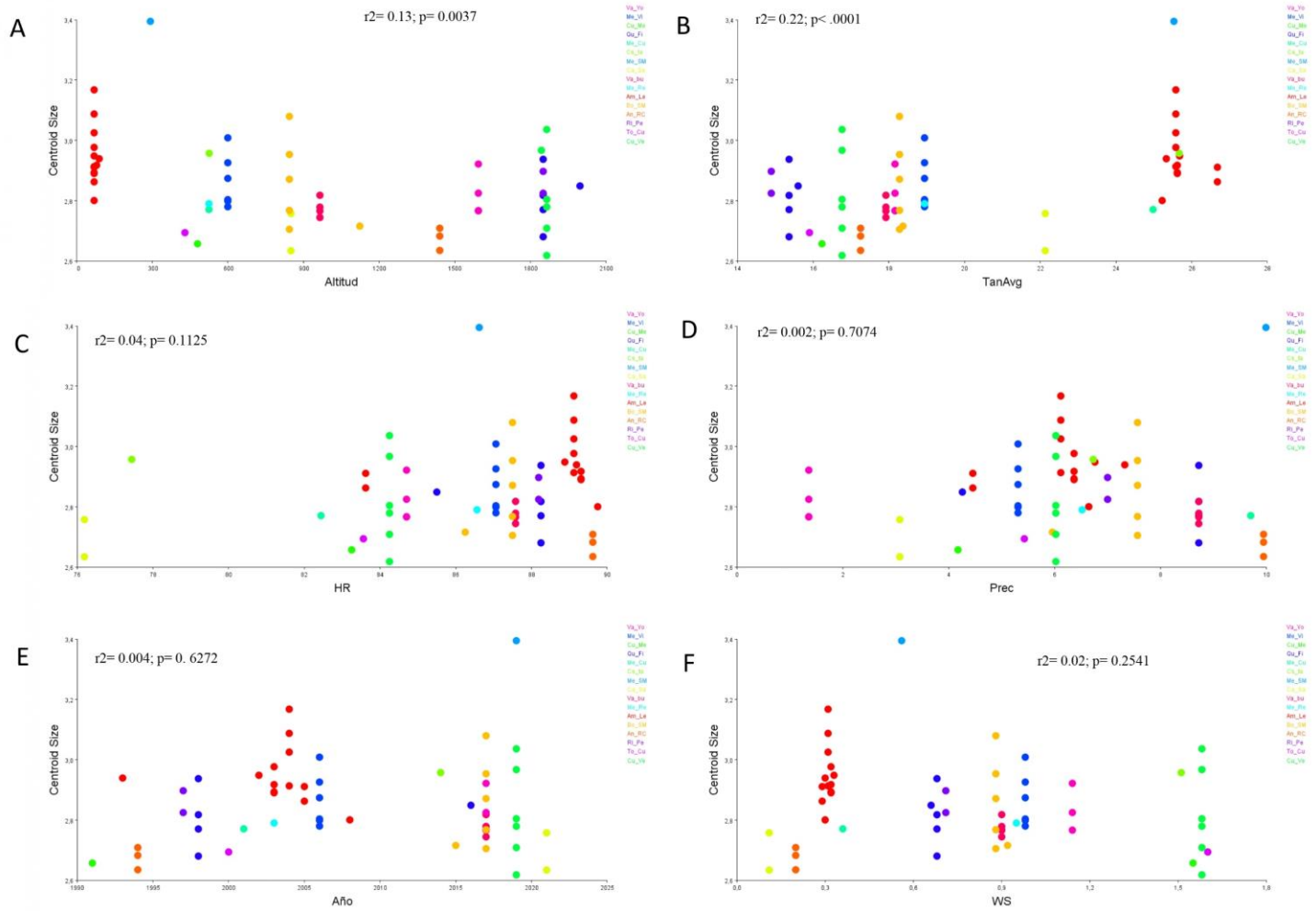


Figura S17. Análisis de regresión entre tamaño del centroide de la tibia de la pata posterior de *Trigona amalthea* (PTTA) y altitud (A), Temperatura anual promedio (B), Humedad relativa (C), precipitación (D), Año (E) y Velocidad del viento (F). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

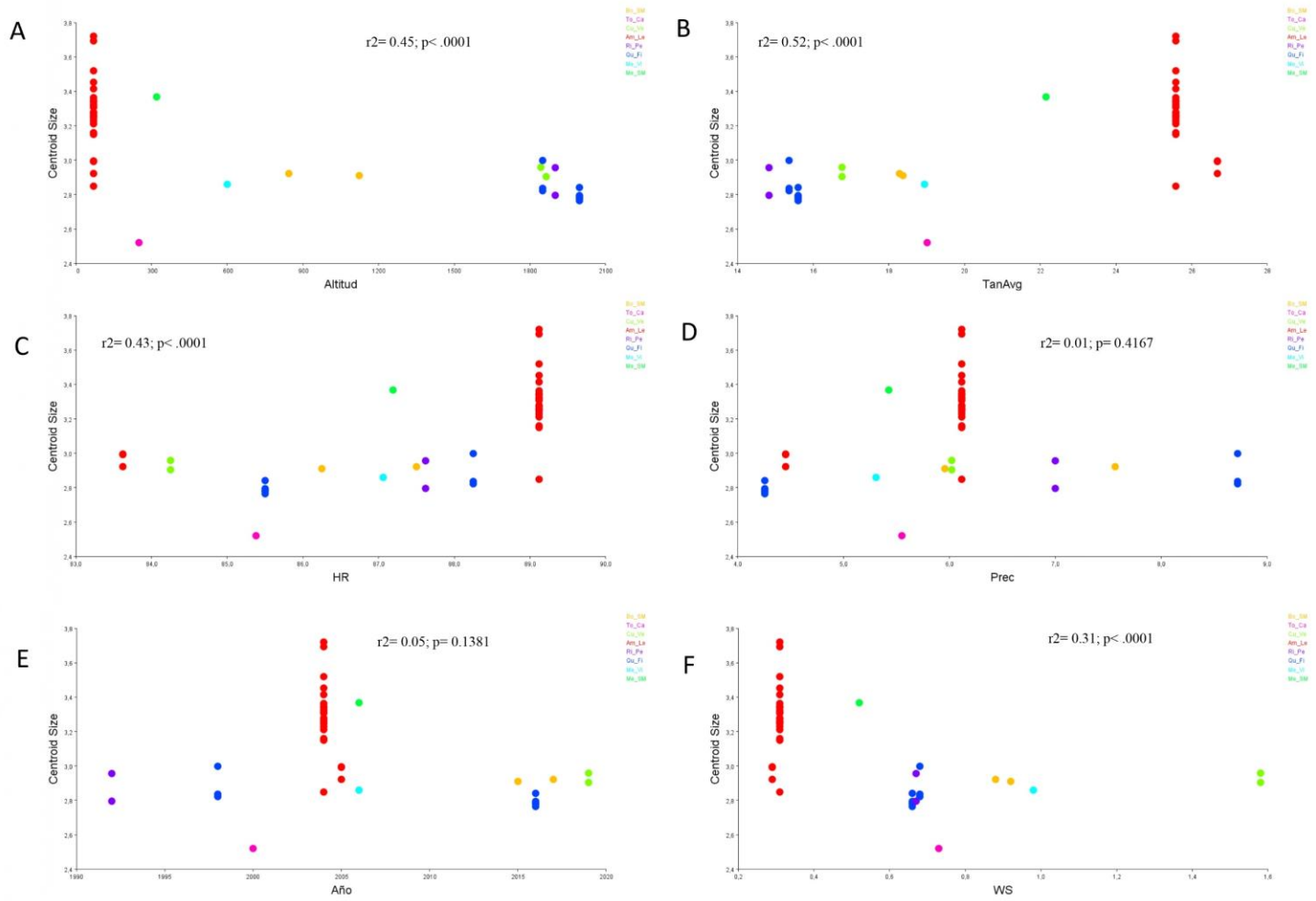


Figura S18. . Análisis de regresión entre tamaño del centroide de la tibia de la pata posterior de *Trigona truculenta* (PTTT) y altitud (A), Temperatura anual promedio (B), Humedad relativa (C), precipitación (D), Año (E) y Velocidad del viento (F). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

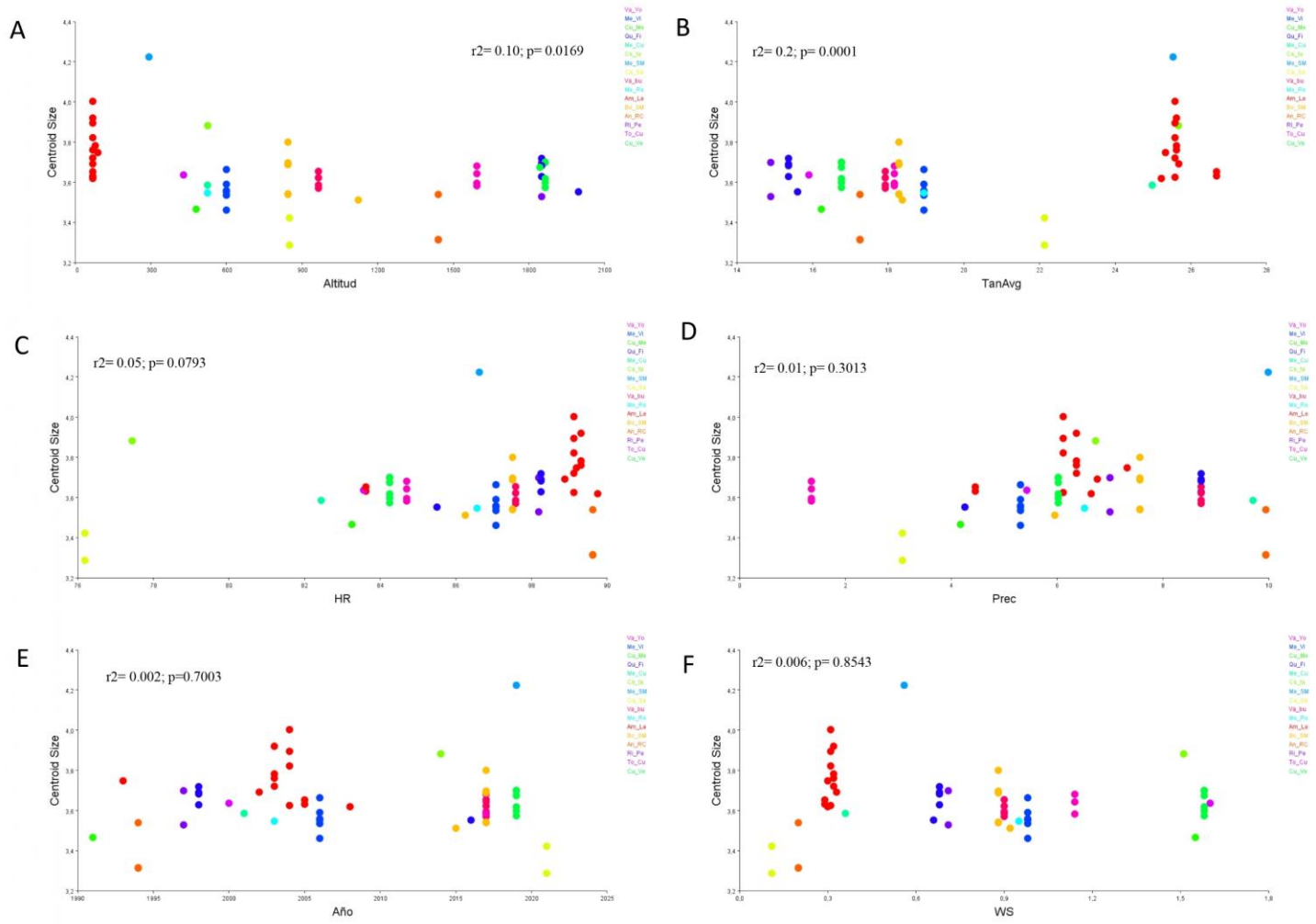


Figura S19. Análisis de regresión entre tamaño del centroide del mesosoma de *Trigona amalthea* (MTA) y altitud (A), Temperatura anual promedio (B), Humedad relativa (C), precipitación (D), Año (E) y Velocidad del viento (F). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

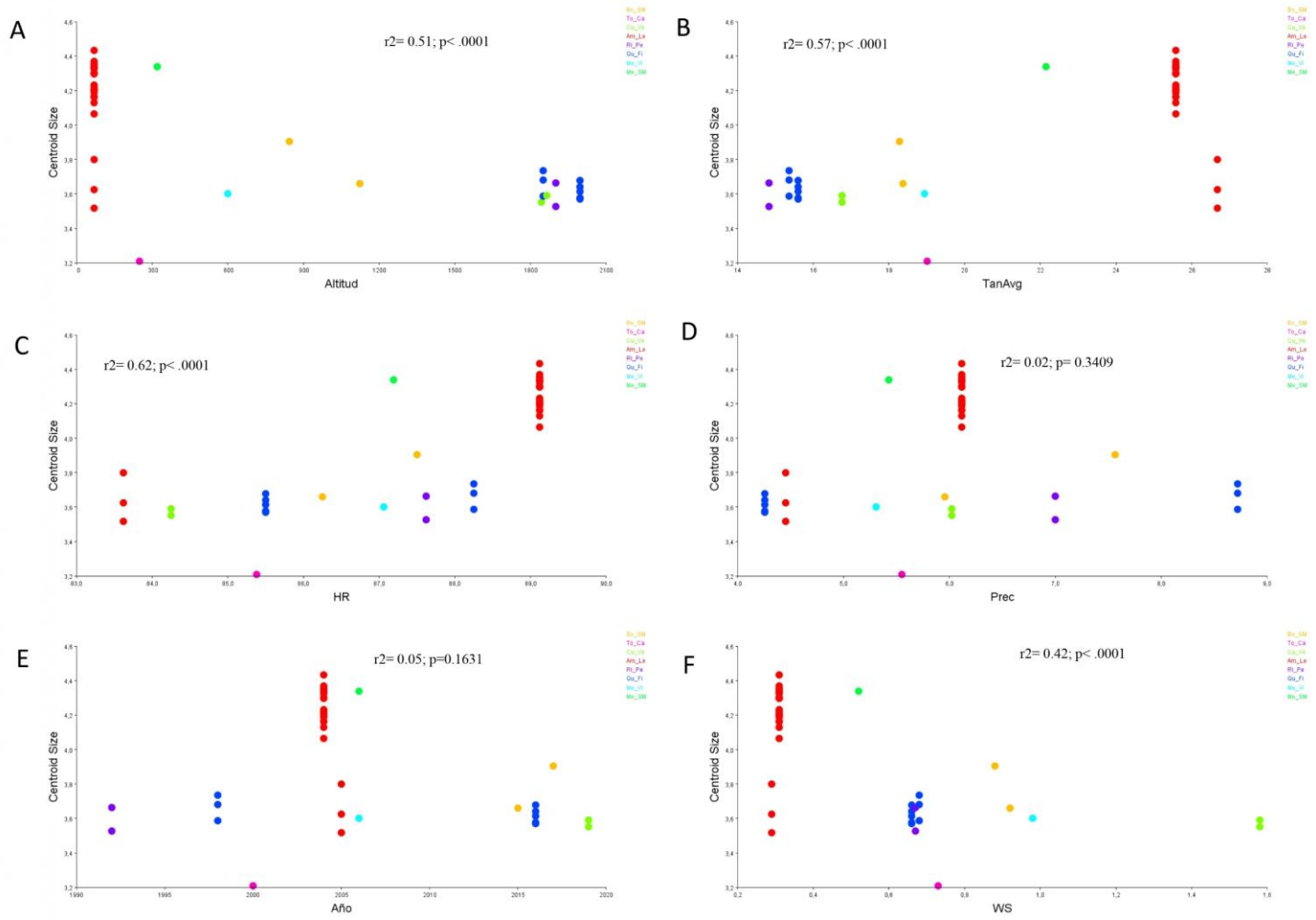


Figura S20. . Análisis de regresión entre tamaño del centroide del mesosoma de *Trigona truculenta* (MTT) y altitud (A), Temperatura anual promedio (B), Humedad relativa (C), precipitación (D), Año (E) y Velocidad del viento (F). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila

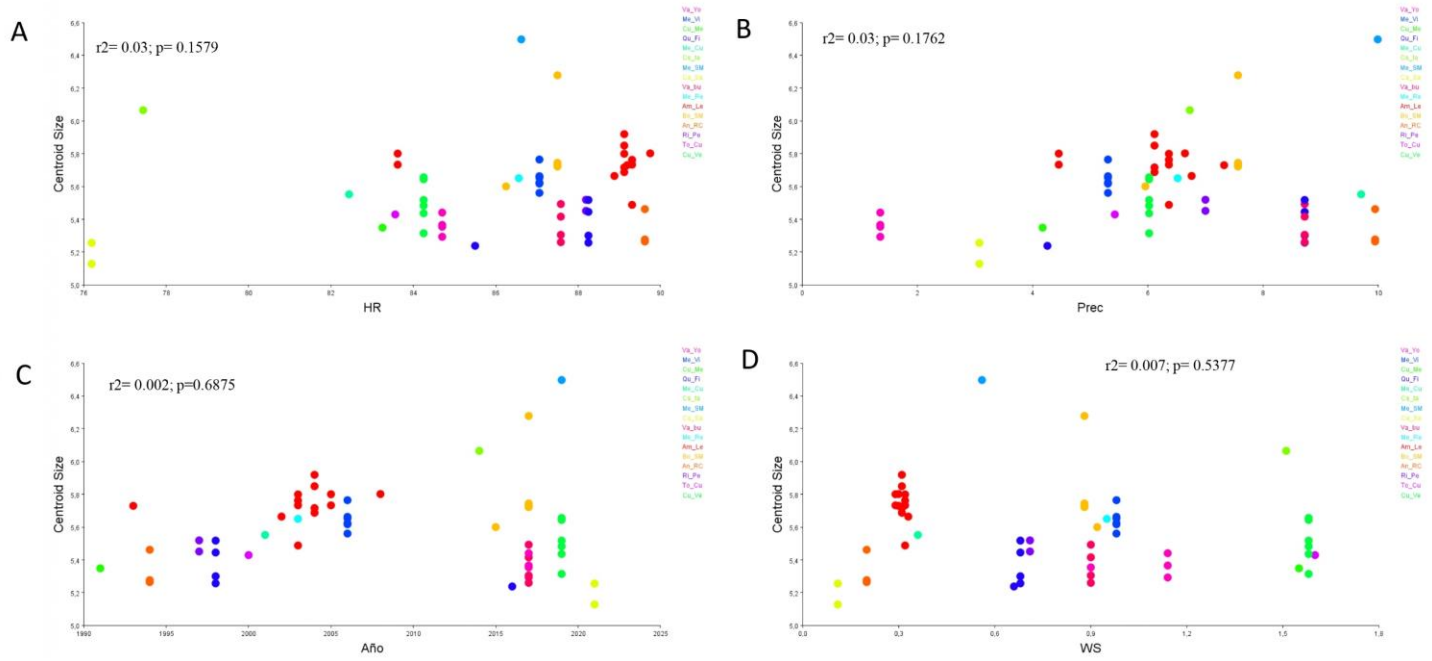


Figura S21. Análisis de regresión entre tamaño del centroide de la cabeza de *Trigona amalthea* (CTA) y Humedad relativa (A), precipitación (B), Año (C) y Velocidad del viento (D). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Antioquia, Rio Claro (An_RC), en Naranja oscuro; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja claro; Caldas, Samaná (Ca_Sa), en amarillo; Casanare, Tauramena (Cs_Ta), en verde pálido; Cundinamarca, Melgar (Cu_Me), en verde claro; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde oscuro; Meta, Cumaral (Me_Cu); en un azul agua marina; Meta, Restrepo (Me_Re) en azul claro; Meta, San Martín (Me_SM) en azul índigo; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul rey ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en morado oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado claro; Tolima, Cunday (To_Cu) en lila; Valle del Cauca, Yotoco (Va_Yo) rosado y Valle del Cauca, Buga (Va_bu) rosado oscuro.

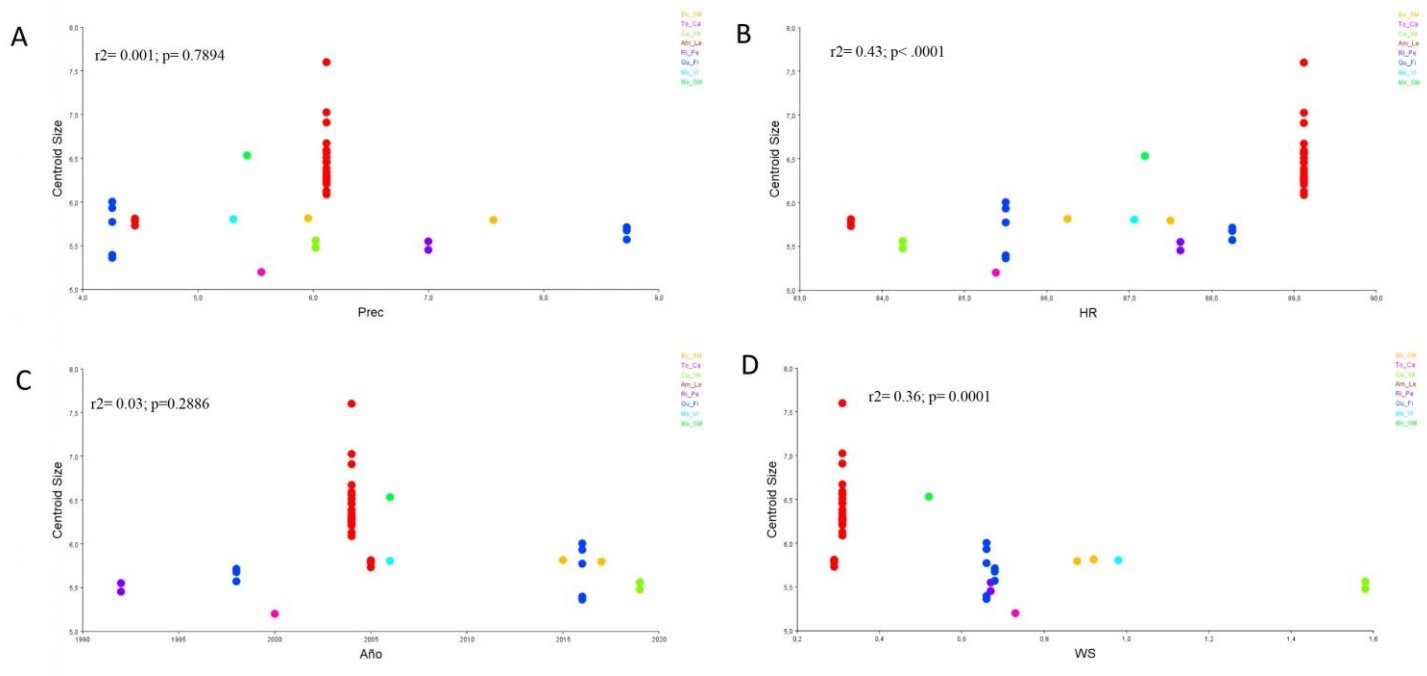


Figura S22. . Análisis de regresión entre tamaño del centroide de la cabeza de *Trigona truculenta* (CTT) y precipitación (A), Humedad relativa (B), Año (C) y Velocidad del viento (D). Amazonas, Leticia (Am_Le), en rojo ; Boyacá, Santa María, (Bo_SM) en naranja; Cundinamarca, Venecia (Cu_Ve) en verde claro; Meta, San Martín (Me_SM) verde oscuro; Meta, Villavicencio (Me_Vi) en azul claro ; Quindío, Finlandia (Qu_Fi) en azul oscuro; Risaralda, Pereira (Ri_Pe) en morado y Tolima, Cambao (To_Ca) en lila