

Diversidad taxonómica de Opiliones en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia*

Natalia De Moya Guerra¹, Neis José Martínez Hernández² & Andrés F. García³

Resumen

Objetivo. Se evaluó la variación de la diversidad taxonómica y de especies de Opiliones en tres localidades, a diferente altitud, en la vertiente Occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM): La Secreta (LS) (bosque seco tropical: 802 m), San Pedro (SP) (bosque lluvioso montano: 1450 m) y Hierba Buena (HB) (bosque de niebla: 2040 m). **Metodología.** En zona boscosa de cada estación, se delimitaron cuatro parcelas (200x20 m), en cada una se marcaron cinco puntos donde se realizó la captura de Opiliones con las técnicas de trampas *pitfall*, cernido de hojarasca y captura manual nocturna con luz blanca. **Resultados.** Se capturaron 671 individuos, distribuidos en 24 UTR (unidades taxonómicas reconocibles), de las cuales la más frecuente fue *Phareicranaus* sp. nov. 1 con 229 individuos. La mayor diversidad de opiliones se registró en HB (14 especies) y la mayor abundancia (N=302) en LS, presentándose diferencias significativas en ambos atributos de la comunidad entre las tres localidades. La dominancia específica fue notoriamente diferente en cada estación, y los valores de cobertura de muestreo evidencian que las técnicas fueron eficientes (<98% en todas las estaciones). Teniendo en cuenta la diversidad *beta*, el mayor valor de disimilitud (0.818) se registró entre LS y HB, encontrándose un fuerte recambio de especies (promedio igual a 0.603) en comparación con el anidamiento. En cuanto a la diversidad taxonómica, el mayor valor fue reportado para SP, demostrándose que en taxones supra específicos se cumple el supuesto de acumulación de especies en altitudes intermedias. **Conclusiones.** Las diferencias en los índices $\Delta+$ y $\Lambda+$, demostraron cambios significativos en la estructura taxonómica de los Opiliones a escala espacial en la vertiente occidental de la SNSM. Además, la opiliofauna de la zona de estudio es propia de cada localidad de muestreo debido a las condiciones climáticas y el rango de distribución específico de cada UTR.

Palabras clave: Arácnidos; diversidad taxonómica; Hierba Buena; *Phareicranaus*; Sierra Nevada de Santa Marta.

*FR: 3-II-2021. FA: 16-IV-2021.

¹ Bióloga. Semillero de Investigación de Artrópodos "NEOPTERA". Programa De Biología Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Atlántico, Colombia, E-mail: ndemoya@mail.uniatlantico.edu.co.

 orcid.org/0000-0003-0632-0411 **Google Scholar**

² Magister, Semillero de Investigación de Artrópodos "NEOPTERA". Programa De Biología Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico. E-mail: neyjosemartinez@gmail.com.

 orcid.org/0000-0002-7815-1437 **Google Scholar**

³ Ph.D., Departamento de Invertebrados, Museu Nacional/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Quinta da Boa Vista, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: agarciarinc@gmail.com.

 orcid.org/0000-0001-6705-3498 **Google Scholar**



CÓMO CITAR:

De Moya Guerra, N., Martínez Hernández, N. J. Y García, A. F. (2021). Diversidad taxonómica de opiliones en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 25(2): 157-180. <https://doi.org/10.17151/bccm.2021.25.2.10>



Taxonomic diversity of harvestmen (Opiliones) of the western slope of Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia

Abstract

Objective: The variation of the taxonomic diversity and species of harvestmen (Opiliones) was evaluated in three locations at different altitudes on the western slope of the Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM): La Secreta (LS) (tropical dry forest: 802 m), San Pedro (SP) (montane rain forest: 1450 m) and Hierba Buena (HB) (cloud forest: 2040 m). **Methodology:** In the wooded area of each station, four plots (200x20 m) were delimited and in each one five points were marked where the capture of Opiliones was carried out with the techniques of *pitfall* traps, fallen leaves and manual capture at night with white light. **Results:** A total of 671 individuals were captured distributed in 24 RTU (recognizable taxonomic units) of which the most frequent was *Phareicranaus* sp. nov. 1 with 229 individuals. The greatest diversity of Opiliones was recorded in HB (14 species) and the highest abundance (N = 302) in LS, showing significant differences in both community attributes among the three localities. The specific dominance was notoriously different at each station and the sampling coverage values show that the techniques were efficient (<98% in all stations). Considering *beta* diversity, the highest dissimilarity value (0.818) was recorded between LS and HB, finding a strong species turnover (mean equal to 0.603) compared to nesting. Regarding taxonomic diversity, the highest value was reported for SP, showing that in supra-specific taxa the assumption of accumulation of species at intermediate altitudes is fulfilled. **Conclusions:** The differences in the indices $\Delta +$ and $\Lambda +$ demonstrated significant changes in the taxonomic structure of Opiliones at a spatial scale in the western slope of the SNSM. In addition, the rich fauna of the area studied is specific to each sampling location due to the climatic conditions and the specific distribution range of each RTU.

Key words: Arachnids; Mint; *Phareicranaus*; Sierra Nevada de Santa Marta; taxonomic diversity.

Introducción

El orden Opiliones Sundeval, 1833, es -después de Acari y Araneae- uno de los grupos más diversos de arácnidos (Kury, 2018), actualmente con 5 subórdenes (uno de ellos extinto), 65 familias, 1645 géneros y 6637 especies (Kury *et al.*, 2020). Los opiliones cumplen importantes funciones ecosistémicas al desempeñarse como depredadores generalistas dentro de la red trófica, lo cual les confiere potencial como controladores de plagas (Acosta & Machado, 2007; Dixon & McKinlay, 1989). A su vez, las facilidades que presenta el grupo en cuanto a su observación, manipulación, y su amplia distribución geográfica, además de su sensibilidad ante cambios de humedad y temperatura, lo convierten en un importante objeto de estudio para el campo de la ecología y la conservación (Halffter *et al.*, 2001; Curtis & Machado, 2007). Lo anterior demuestra la importancia de realizar estudios sobre inventarios faunísticos y ecológicos de estos arácnidos en zonas montañosas con diferentes características abióticas, ya

que brindan múltiples servicios ecosistémicos: 1. Desempeñándose como eslabones principales de la cadena trófica (Gnaspini, 1996), 2. Son participantes activos en el reciclaje de nutrientes y 3. Mantienen la estructura y fertilidad edáfica (Wells *et al.*, 1983).

Camero (2003), sugiere que la composición de especies en un ecosistema presenta variaciones a lo largo de gradientes altitudinales, lo cual permite explicar patrones de composición y riqueza específica (MacCoy, 1990). Dentro del gradiente, se encuentra variabilidad climática que se refleja en cambios en la biodiversidad y las interacciones de factores bióticos y abióticos (Rahbek, 1995; Lieberman *et al.*, 1996; Lomolino, 2001). De esta manera, se puede hipotetizar que la opilionofauna presenta diferencias con respecto a la altitud en la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y esta podría seguir la tendencia de concentración de especies en altitudes intermedias (Rahbek, 1995) o la regla ecogeográfica de Rapoport (Guerrero & Sarmiento, 2010).

Por otro lado, la marcada higrofilia que presentan los opiliones los convierte en animales que tienen preferencias por hábitats en bosques con elevados valores de humedad (Kury & Pinto-da-Rocha, 2002), ocupando diversos microhábitats como rocas, suelo, corteza y dosel. Estas características climáticas se cumplen a cabalidad en los bosques de la SNSM. A pesar de lo anterior, el conocimiento sobre el orden Opiliones en la SNSM es escaso, sobre todo si se tiene en cuenta que estos arácnidos presentan varios casos de endemismos en ecosistemas similares a los encontrados en el área de estudio (e.g. García & Medrano, 2015; Kury & Pinto-da-Rocha, 2002). Es por esto que urge la realización de estudios que aproximen al conocimiento del grupo, ya que la SNSM está siendo fuertemente intervenida por presiones antrópicas que causan fragmentación y pérdida de hábitats (Vuilleumier, 1969). Lo anterior influye en la pérdida de microhábitats y en la disminución de la diversidad debido a la poca conectividad entre fragmentos, afectando principalmente a los organismos con baja vagilidad, como los opiliones, que no pueden migrar a zonas con condiciones ecológicas más favorables (Giribet & Kury, 2007). Esta situación se ve agravada porque muchas de las especies en la SNSM son propias de cada zona y, a menudo, no son compartidas con ecosistemas adyacentes debido a la elevada tasa de endemismos que es propia del grupo, dados sus requerimientos estenóticos y su capacidad limitada de desplazamiento (Acosta, 2002).

De esta manera, se hacen importantes los estudios ecológicos sobre opiliones, ya que la mayoría de las investigaciones sobre aracnofauna en la SNSM se ha restringido a la descripción de especies nuevas, generalmente endémicas del orden Araneae (e.g. Martínez *et al.*, 2017; Galvis, 2017) y del orden Opiliones (Kury & Pérez-G., 2007; Morales & Pinto-Da-Rocha, 2020; Villarreal & García, 2016). Referente a estudios faunísticos de arácnidos a diferente altitud en la SNSM, hay que mencionar los estudios (no publicados) sobre la diversidad de arañas orbitelares en tres formaciones boscosas (Ferreira, 2007) y la diversidad, riqueza, abundancia y distribución de los escorpiones a lo largo de un gradiente altitudinal (Franco, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, se analizó la variación de la diversidad taxonómica y de especies de opiliones en tres localidades a diferente altitud en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), Magdalena, Colombia; constituyéndose en el primer trabajo que aporta al conocimiento de la variación de la diversidad de este grupo para esta parte del país.

Metodología

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), localizada en el departamento del Magdalena, norte de Colombia. En este sistema montañoso se encuentran diversos pisos térmicos que se reflejan en la variación de la vegetación asociada y la fauna. Los principales usos de la tierra en la SNSM son la agricultura, extracción de madera y ganadería, por lo que parte de la vegetación original ha dado paso a un mosaico de hábitats con grandes extensiones de bosque secundario y pastizales (Martínez *et al.*, 2009). En la SNSM se escogieron tres estaciones de muestreo: La Secreta (LS), localizada a $10^{\circ}53'39,88''\text{N}$ y $74^{\circ}5'55,92''\text{O}$, a una altitud de 805 m; San Pedro (SP), localizada a $10^{\circ}51'22,5''\text{N}$ y $74^{\circ}2'0,66''\text{O}$, a una altitud de 1448 m y Finca Hierba Buena (HB) localizada a $10^{\circ}53'42,5''\text{N}$ y $73^{\circ}59'43,9''\text{O}$ a una altitud de 2040 m (Fig. 1).

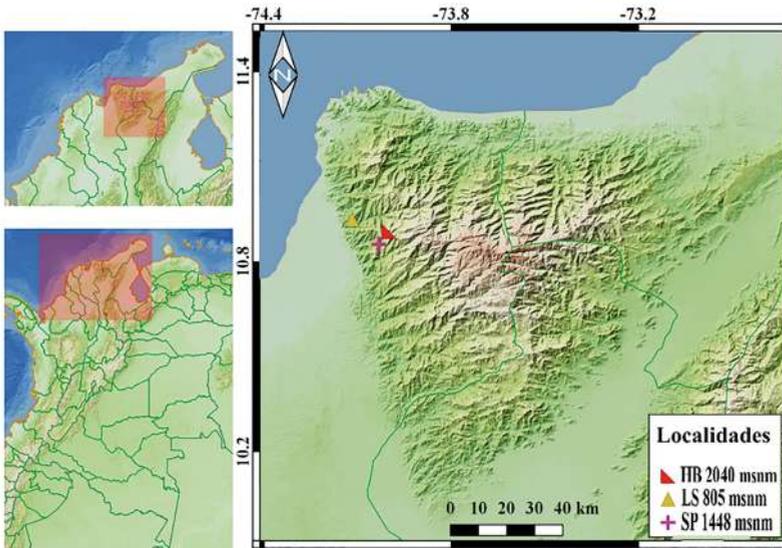


Figura 1. Localización geográfica de las tres localidades en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) en el Caribe Colombiano. La Secreta (LS), San Pedro (SP) y Hierba Buena (HB)
Fuente: Autores.

Diseño de muestreos

En cada localidad se escogieron zonas de bosque, donde se marcaron cuatro parcelas con dimensiones de 250 x 20 m, distanciadas entre sí por 200 m, para garantizar la independencia de cada una. Por parcela, se marcaron cinco puntos distanciados 50 m y, en cada uno, se realizaron las técnicas de captura cernido de hojarasca, trampas *pitfall* y captura manual, siguiendo la metodología propuesta por Pinto-da-Rocha & Bonaldo (2006) con modificaciones. El Cernido de hojarasca (CH) consistió en la recolección de hojarasca en un recipiente de 10 L, que fueron cernidos en un tamizador Winkler. La hojarasca sobrante fue devuelta al bosque, mientras el material cernido fue almacenado en bolsas de tela para su transporte y posteriormente fue procesado usando un extractor Winkler. El material retirado de los extractores fue revisado manualmente en bandejas plásticas de color blanco para lograr la captura de la mayor cantidad posible de especímenes con ayuda de pinzas y pinceles. La trampa de caída (*pitfall*), consistió en enterrar un vaso de 12.5 cm de ancho y 13 cm de profundidad a ras del suelo, con el fin de que los opiliones errantes cayeran en esta. En el interior del recipiente, se adicionó una mezcla de agua, alcohol al 96 %, sal y detergente hasta un tercio de su capacidad y fueron revisadas cada 24 h. La captura manual (CM) consistió en la búsqueda intensiva, diurna y nocturna, de los individuos en diferentes lugares como arbustos, árboles, nidos de animales, bajo rocas, entre otros. Tras la captura de cada uno de los individuos, se registraron datos concernientes a su historia natural (e.g. microhábitat, presencia de juveniles, hembras grávidas). Por cada punto, se invirtió un tiempo de 20 minutos/hombre, tomando así un total de 100 min/hombre-parcela. Por otro lado, cada parcela fue georreferenciado con un GPS (Garmin GPSMAP 64s) para determinar la altitud, distancia entre parcelas y estaciones. Adicionalmente, en cada muestreo se tomaron mediciones de temperatura y humedad ambiente utilizando un registrador de datos (*datalogger*) marca *Extech*.

Una vez recolectadas las muestras, se conservaron en alcohol al 96 % y se trasladaron a los laboratorios de la Universidad del Atlántico, esto con el fin de identificar los individuos hasta el nivel taxonómico más bajo posible empleando claves taxonómicas. La determinación de la forma del escudo dorsal se realizó siguiendo la revisión de terminología propuesta por Kury & Medrano (2016). La terminología para describir la morfología de los penes se determinó siguiendo a Kury & Villareal (2015) y Kury (2016). Las identidades fueron corroboradas con ayuda del Dr. Abel Pérez González (MACN) y los individuos analizados fueron depositados en la colección de la División de Aracnología del Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia” (MACN, Buenos Aires, Argentina).

Análisis de datos

Se determinó la riqueza como el número de especies (UTR = unidades taxonómicas reconocibles) y la abundancia como el número de individuos por técnicas, parcela y estaciones. Ambos atributos de la comunidad fueron comparados usando los intervalos de confianza al 95 %, para lo cual se hizo una inspección visual basada en la superposición de los intervalos para determinar si hay diferencias entre las estaciones (Cumming *et al.*, 2007). Por otro lado, se realizaron curvas de rango-abundancia por estación para determinar la dominancia de las especies; las cuales fueron realizadas con el software Primer 6.0. (Clarke & Gorley, 2001). La cobertura del muestreo se determinó utilizando el estimador de cobertura propuesto por Chao & Jost (2012), y con la metodología de rarefacción y extrapolación se comparó la riqueza de especies de un conjunto de comunidades sobre la base de muestras de igual completitud (medida por la cobertura de la muestra) y la diversidad como el número efectivo de especies, usando los números de Hill (1973) (*i.e.*, número equivalentes, *sensu* Jost, 2006). En este caso calculamos los números de Hill de orden cero (0D: riqueza de especies), uno (1D: exponencial de entropía de Shannon) y dos (2D: inverso de Simpson) para cada estación.

Se realizó un análisis multidimensional no métrico (*nMDS*) con el fin de determinar la existencia de patrones espaciales en la distribución de opiliones en las tres estaciones. Previamente, se construyó una matriz de similitud de Bray-Curtis, para encontrar relaciones de disimilitud entre sitios y distancias ecológicas entre especies. El rango de este índice está entre cero (0) y uno (1), donde 0 significa que los dos sitios tienen diferente estructura y 1 que comparten muchas especies. Posteriormente, se realizó un ANOSIM de una vía para establecer si hay diferencias entre los agrupamientos del *nMDS*. Para estos análisis se utilizó el programa PRIMER 6.0 (Clarke & Gorley, 2001). Para determinar la diversidad beta o disimilitud (Jaccard) en la composición de especies de opiliones entre estaciones, se calculó la proporción de los componentes de la diversidad *beta* (B_{sor}) (anidamiento= B_{nes} y recambio= B_{sim}), según lo propuesto por Baselga (2010). Estos análisis se realizaron con la ayuda del programa *Betapart package* mediante el *software* R (Baselga & Orme, 2012).

Para determinar la diversidad taxonómica entre localidades, se utilizó el procedimiento TAXDTEST en el software PRIMER v6 para ambos índices taxonómicos. Los nombres de las familias, subfamilias y géneros de opiliones, se asignaron de acuerdo con a la identificación taxonómica, siguiendo lo reportado en la literatura existente (Kury & Pinto-da-Rocha, 2002; Pinto-da-Rocha & Giribet, 2007; Townsend *et al.*, 2010), y corroboradas con la colección de referencia del Museo Argentino de Ciencias Naturales (ver Material Suplementario 1). Como estimadores de la diversidad taxonómica se utilizaron

la diferenciación (distinción) taxonómica promedio ($\Delta+$), así como la variación en el índice de la diferenciación (distinción) taxonómica ($\Lambda+$) (sensu Clarke & Gorley, 2001). El promedio la diferenciación taxonómica ($\Delta+$) se calcula a partir de árboles filogenéticos basados en nodos, mientras que la variación en la distinción taxonómica ($\Lambda+$) refleja el grado en que ciertos taxones son sobre o subrepresentados en las muestras.

Al final, con el fin de identificar relaciones biótico-abióticas se realizaron análisis con la rutina BEST-BIOENV del software PRIMER 6.0 entre pares de matrices de opiliones y la de las variables ambientales, con el fin de determinar la combinación de variables que formó el patrón abiótico de mayor ajuste a la ordenación biótica (comunidad de opiliones), a través del coeficiente de correlación de rangos de Spearman entre las dos ordenaciones (Clarke & Warwick, 2001).

Resultados

Se capturaron 671 individuos agrupados en 11 familias y 24 UTR. De estos, 302 individuos y 13 especies fueron capturados en La Secreta (LS), 270 individuos y ocho especies en San Pedro (SP) y 99 individuos y 14 especies en Hierba Buena (HB) (Tabla 1). Mediante la comparación visual de intervalos de confianza al 95 %, se determinó que no hay diferencias significativas entre los valores reportados de la riqueza entre LS y HB ($p < 0.05$); mientras que estas estaciones sí presentan diferencias con SP. Teniendo en cuenta las abundancias, se determinó que LS con SP no tiene diferencias significativas pero estas dos estaciones sí presentan diferencias con HB ($p < 0.05$) (Tabla 1). Sclerosomatidae, con cuatro especies y 175 individuos, fue la familia más diversa y abundante en la LS, mientras que Kimulidae fue la más diversa, con dos especies y Cranaidae la más abundante con 190 individuos en SP (Tabla 1). Por su parte, Cranaidae fue la más diversa en HB, con cuatro especies, y Cosmetidae la más abundante, con 32 individuos.

Teniendo en cuenta el número de individuos, *Geaya* sp. 1 (135 individuos) (Fig. 2G) fue la especie más abundante en LS, seguida por *Quindina* sp. nov. (Fig. 2D) con 61, mientras en SP, *Phareicranaus* sp. nov. 1 con 190 individuos (Fig. 2H) fue la especie más frecuente seguida por *Geaya* sp. 2 con 40 individuos. Por último, *Cynorta* sp. 2 (Fig. 2C) fue la más frecuente en HB con 32 individuos seguida de *Geaya* sp (Tabla 1).

Con la curva de rango de abundancia fue posible evidenciar que las tres estaciones presentaron diferencias en términos de su estructura, debido a la dominancia de especies diferentes. En el caso de La Secreta (LS), se exhibe a *Geaya* sp. 1 y *Quindina* sp. nov. como las especies dominantes, ya que entre estas dos aportan el 64.9 %, mientras que en SP, *Phericranaus* sp. nov. y *Geaya* sp. 2, mostraron

la mayor dominancia con un aporte del 70.37 % y 14.81 % respectivamente, para un total del 85.18 % de la abundancia. En el caso de HB, Cosmetidae sp 2. y *Geaya* sp 3. resultaron dominantes en esta estación aportando el 45.45 % del total de la abundancia. Así mismo, se observa que la estación con mayor dominancia fue SP y la de mayor equitatividad fue HB (Fig. 3).

Tabla 1. Riqueza (S) y abundancia (N) de Opiliones registradas en tres localidades en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). Abreviaturas: La Secreta (LS), San Pedro (SP), Hierba Buena (HB), riqueza (S), abundancia (N), técnica de captura (TC), captura manual (CM), trampa de caída (TC), cernido de hojarasca (CH). Valores entre paréntesis indican el promedio y la respectiva desviación estándar, mientras que letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre localidades ($p>0,05$)

Suborden/Familia	Especies	LS	SP	HB	Total	TC
LANIATORES (S=18, N=402)	<i>Phareicranaus</i> sp. nov. 1	32	190	7	229	CM
Cranaidae (S=5, N=240)	<i>Phareicranaus</i> sp. nov. 2	5	0	0	5	CM-TC
	<i>Phareicranaus</i> sp. 3	0	0	2	2	CM
	<i>Phareicranaus</i> sp. 4	0	0	2	2	CM
	<i>Agathocranaus</i> sp. 1	0	0	2	2	CM
Cosmetidae (S=2, N=42)	<i>Cynorta</i> sp 1	10	0	0	10	CM-TC
	<i>Cynorta</i> sp. 2	0	0	32	32	CM
Stygnidae (S=3, N=33)	<i>Stygnus</i> sp. nov. 2	6	0	0	6	CM
	<i>Stygnus</i> sp. nov. 3	7	7	3	17	CM
	<i>Stygnus</i> sp. nov. 1	0	0	12	12	CM
Agoristenidae (S=1, N=1)	<i>Avima</i> sp. nov.	1	0	0	1	CM
Manaosbiidae (S=1, N=2)	<i>Rhopalocranaus</i> sp. nov.	0	1	1	2	CM
Nomoclastidae (S=1, N=61)	<i>Quindina</i> sp. nov.	61	0	0	61	CM-TC
Samoidae (S=3, N=9)	Samoidae gen. nov. sp. 1	0	2	2	4	CH

	<i>Samoidae</i> sp. 3	1	0	0	1	CH
	<i>Maracaynatum</i> sp.	4	0	0	4	CH
Kimulidae (S=2, N=14)	Kimulidae gen. nov. sp. 2	0	3	0	3	CH
	Kimulidae gen. nov. sp 1	0	9	2	11	CM
Icaleptidae (S=1, N=9)	<i>Icaleptes</i> sp. nov.	0	0	9	9	CH

Continuación Tabla 1.

Suborden/Familia	Especies	LS	SP	HB	Total	Técnica
EUPNOI (S=4, N= 239)	<i>Geaya</i> sp. 1	135	0	0	135	CM
Sclerosomatidae (S=4, N=239)	<i>Geaya</i> sp. 3	22	0	13	35	CM
	<i>Geaya</i> sp. 4	2	0	0	2	CM
	<i>Geaya</i> sp. 2	16	40	11	67	CM-TC
CYPHOPHTHALMI Neogoveidae (S=1, N=19)	<i>Huitaca</i> sp. nov.	0	18	1	19	CH
		13 (8±1,41) a	8 (5±1,63) b	14 (8,5±1,73) a	24	
		270 (67,5± 16,44) a	99 (24,25± 8,22) b	671		
		Número de individuos				
		302 (75,5± 19,67) a				

Fuente: Autores.



Figura 2.

Especies más frecuentes de Opiliones registradas en tres localidades en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). **A** *Rophalocranaus* sp. nov. **B** *Huitaca* sp. nov. **C** *Cynorta* sp. 2 **D** *Quindina* sp. nov. **E** *Samoide* gen. nov. **F** *Kimulidae* gen. nov. sp. 1. **G** *Geaya* sp. **H** *Phareicranaus* sp. nov. 1.

Fuente: Autores.

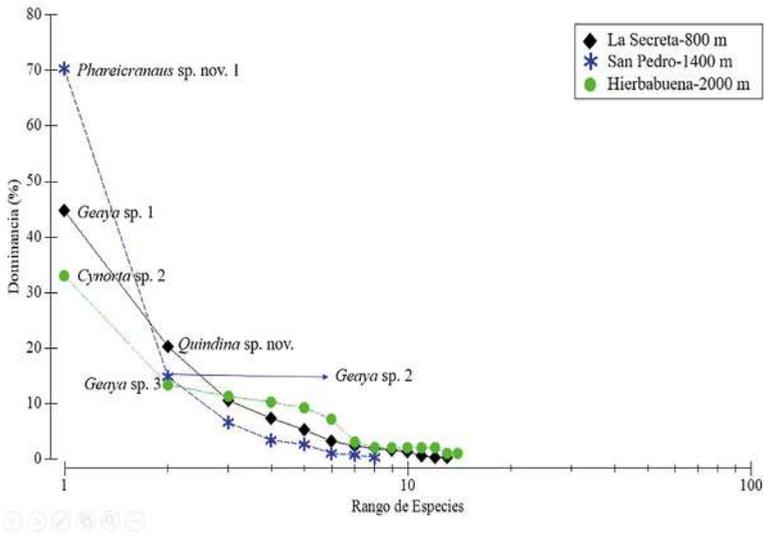


Figura 3.

Curva rango-abundancia de las especies de Opiliones por estación en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia

Fuente: Autores.

Diversidad verdadera

La cobertura del muestreo (C_m) para las tres localidades evaluadas fue alta, con valores de 0.9934 (99.34 %) para LS, 0.9963 (99.63 %) para SP y 0.9804 (98.04 %) para HB, respectivamente. Estos valores indican que las técnicas por muestreo realizado, abarcaron casi completamente la diversidad de opiliones en cada una de las estaciones.

Con el análisis de interpolación y extrapolación, se determinaron cambios en la diversidad de opiliones entre las tres estaciones. En términos de 0D, se observó que el mayor número de especies (14 especies efectivas) se registró en HB y el menor en (SP) observándose diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las tres estaciones en la vertiente occidental de la SNSM, debido al no traslape de los intervalos de confianza generados (Fig. 4). Teniendo en cuenta las especies comunes (1D), el mayor valor de diversidad verdadera (8 especies efectivas) se registró en HB y el menor (3 especies efectivas) en SP; observándose diferencias significativas para las tres estaciones de muestreo. En el caso de las especies muy comunes (2D), la mayor diversidad se determinó en HB (6 especies efectivas) y la menor (2 especies efectivas) en SP, presentando diferencias significativas; mientras que los intervalos de confianza de la estación LS se solapan con los intervalos de SP y HB (Fig. 4).

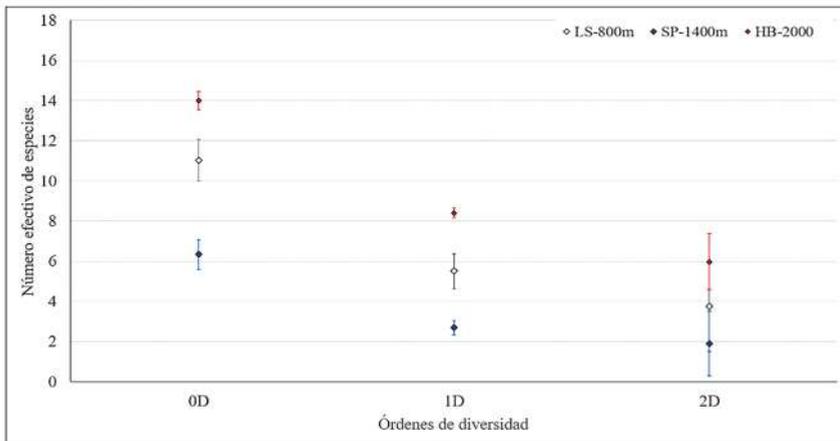


Figura 4. Análisis de la diversidad verdadera (0D, 1D, 2D) por estaciones en la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia. Las barras de error corresponden a los intervalos de confianza al 95 % ($p < 0.05$). LS=La Secreta; SP=San Pedro; HB=Hierba Buena
Fuente: Autores.

Variación espacial

Con el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (*nMDS*), se demostró que la composición y estructura de la comunidad de opiliones -entre estaciones- forma tres grupos separados, observándose que los agrupamientos se deben a un patrón espacial (Fig. 5). Los resultados observados en el *nMDS* concuerdan con lo encontrado con la prueba del análisis de similitud (ANOSIM), donde se determinó que existen diferencias significativas en la estructura de la comunidad entre estaciones ($R=0.998$, $p=0.001$). En este caso, se observó que las diferencias en la estructura de la comunidad son bastantes disimiles entre las estaciones, ya que LS con SP y LS con HB tienen valores de $R=1$ ($p=0.029$) respectivamente y SP con HB con un $R=0.99$ ($p=0.029$).

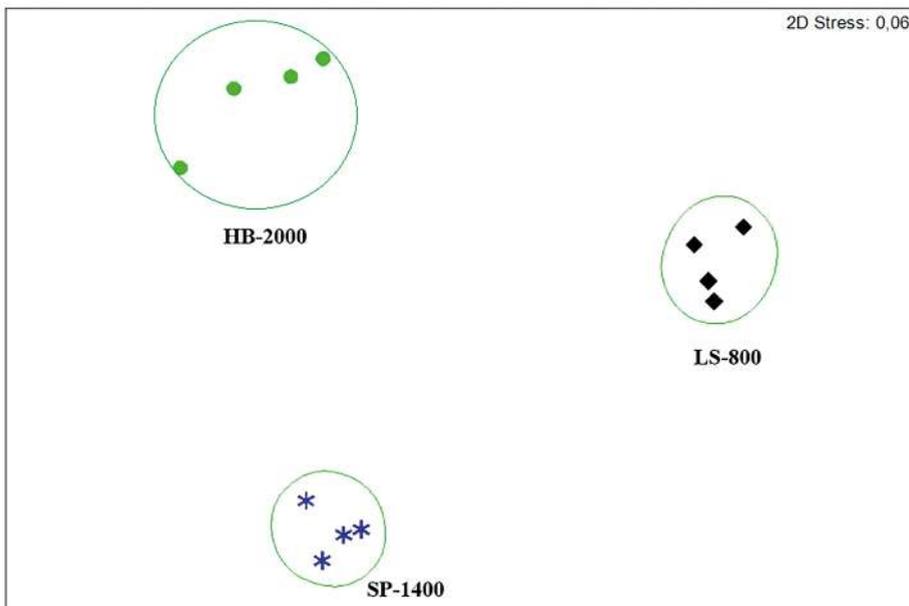


Figura 5.

Escalamiento multidimensional no-métrico (nMDS) basado en una matriz de similitud de Bray-Curtis que describe la variación altitudinal de la comunidad de opiliones en el área de estudio. HB: Hierba Buena; SP: San Pedro; LS: La Secreta.

Fuente: Autores.

Diversidad Taxonómica

En total, 671 opiliones pertenecientes a 24 especies, 13 géneros, 11 familias, 7 subfamilias, cinco superfamilias y tres subórdenes fueron registrados (Material suplementario 1). La superfamilia Gonyleptoidea fue la más diversa en subfamilias, géneros y especies, mientras que los géneros más ricos fueron Phareicranaus y Geaya (4 especies cada uno), seguido de Stygnus (S=3), Cynorta (S=2). La composición taxonómica registrada por estación incluyó ocho géneros, siete subfamilias y cuatro superfamilias en el LS; siete géneros, siete subfamilias y cinco superfamilias en SP; y 10 géneros, nueve subfamilias y cuatro superfamilias en HB.

Teniendo en cuenta la diversidad taxonómica (Δ), el mayor valor se determinó en HB (69.61), seguido de LS con 59.22; mientras que en SP se registró el menor valor (45.09). El promedio de diferenciación taxonómica ($\Delta+$) más alto se encontró en SP (80.75), seguido de LS (73.70) y HB (73.17) (Fig. 6A). Teniendo en cuenta los valores de $\Delta+$, solo la variación determinada en HB fue estadísticamente significativa ($p=0.044$), mientras que la mayor variación en la diferenciación taxonómica ($\Lambda+$) se encontró en LS ($\Lambda+ = 789.05$), seguido de HB (622.06) y SP (396.05) (Fig. 6B). Teniendo en cuenta la $\Lambda+$, si hay diferencias significativas entre LS con HB y SP ($p=0.026$), ya que este punto se encuentra fuera de la campana del intervalo de confianza al 95 %.

Variables ambientales

Teniendo en cuenta la altitud de cada parcela por estación, la LS presentó un promedio de altitud de 797.5m ($\pm 6,40$), SP con 1418.5m (± 20.49) y HB con 2000.75m ($\pm 4,72$). Teniendo en cuenta la temperatura, el mayor promedio fue registrado para LS ($28.33^{\circ}\text{C} \pm 0.37$), seguido por SP con $19.73^{\circ}\text{C} (\pm 0.37)$ y el valor más bajo en HB ($14.69^{\circ}\text{C} \pm 0.24$); mientras que la humedad relativa presentó el mayor valor en LS ($95.42\% \pm 6.81$), seguido por SP con $89,03\% (\pm 1,55)$ y, por último, HB con $85\% \pm 7.23$. Con la rutina BEST-BIOENV, se observó una correlación significativa entre la estructura de la comunidad de opiliones y las variables ambientales ($\rho=0.54$; $p=0.03$). Según la escala de correlación de Spearman, se tuvieron en cuenta las dos mejores combinaciones de las tres variables ambientales. En la primera combinación se determinó que una sola variable (altitud: $r_s = 0.735$) presentó la mejor correlación con la variación de las variables bióticas, mientras que para la segunda combinación se determinó que dos variables (temperatura y altitud: $r_s = 0.7350$) fueron las que presentaron la mayor correlación.

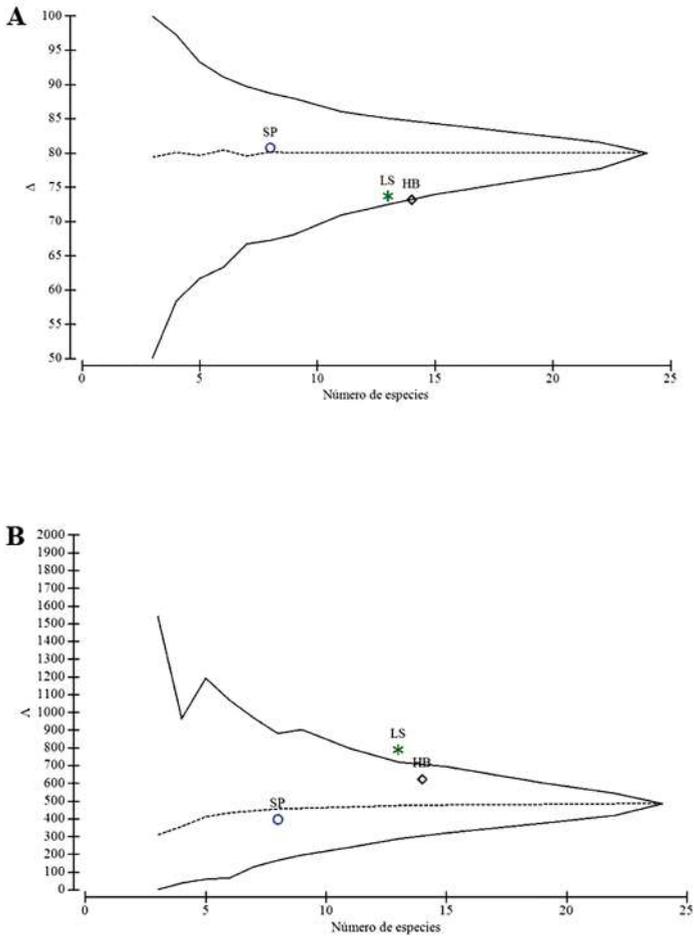


Figura 6.

Valores de diversidad de la diferenciación taxonómica promedio ($\Delta+$) y variación de la diferenciación taxonómica ($\Lambda+$) en relación al número de especies de opiliones, para las tres estaciones de muestreo (La Secreta=LS, San Pedro= SP y Hierba Buena=HB). El promedio (línea discontinua) y los contornos de confianza de 95 % (líneas continuas) se obtuvieron por la selección al azar (999 iteraciones) de submuestras de números de especies.
Fuente: Autores.

Discusión

El presente estudio es pionero por ser una aproximación ecológica al estatus comunitario y taxonómico del orden Opiliones en la SNSM. Por otro lado, mediante la realización de este trabajo, se logra un primer acercamiento al estudio de patrones de diversidad de un grupo de arácnidos sub estudiados en la SNSM, con el cual se incrementa la riqueza de opiliones en el país. El 54.6 % de las especies capturadas corresponden a especies nuevas para la ciencia, siendo muchas de ellas los primeros reportes de las familias Agoristenidae, Manaosbiidae, Nomoclastidae, Stygnidae y Samoidae para la SNSM. Adicionalmente, se reportan por primera vez las familias Icaleptidae y Kimulidae para el departamento del Magdalena y el suborden Cyphophthalmi para la SNSM.

Adicionalmente, por no existir estudios ecológicos y/o inventarios similares publicados del orden Opiliones en el país, no existen criterios de comparación para evaluar la variación de la diversidad de opiliones en dicha región. Los estudios que tienen este enfoque se limitan a Brasil (Almeida-Neto *et al.*, 2006) y Argentina (Acosta, 2002; González-Reyes *et al.*, 2011), cuya opilionofauna dista de la colombiana si se tiene en cuenta la cantidad de endemismos, la amplia gama de ecosistemas en cada país y, sobre todo, el número considerable de géneros y especies por ser descritas (Perafán *et al.*, 2013; García & Medrano, 2015) y/o que han venido siendo descritas en el último lustro (e.g. Villarreal *et al.*, 2015; Villarreal & García, 2016; García & Kury, 2017; Medrano & Kury, 2017; Kury *et al.*, 2019; Ahumada *et al.*, 2020; García & Kury, 2020; García & Villarreal, 2020; Medrano *et al.*, 2020), aunque son pocos los esfuerzos que se han hecho para comprender los patrones generales de ocurrencia de especies en tiempo y espacio (Curtis & Machado, 2007).

Sobre las técnicas de recolección

Existen seis métodos básicos para recolección de arácnidos que son usados ampliamente en los trópicos: recolecta manual, agitación de follaje, red entomológica, trampas de caída o pitfall, cernido de hojarasca y fragmentación de troncos y cortezas (Coddington *et al.*, 1991). En general, la recolección manual nocturna, la revisión de hojarasca, la agitación de follaje y el uso de embudo Winkler parecen ser excelentes técnicas para recolección de opiliones (Tourinho *et al.* 2014; Tourinho *et al.* 2018).

Para el presente estudio, fueron utilizadas la captura manual (CM), el cernido de hojarasca (CH) y las trampas de caída (TC), pues se pretendió abarcar la mayor cantidad de microhábitats. De estas tres, fue la CM la más efectiva, ya que permitió recolectar individuos de tamaños variados, especialmente medianos y grandes, que

acostumbran tener hábitos cursoriales y predominar en las ramas de los arbustos, troncos de árboles y estratos superiores de la vegetación (e.g. Agoristenidae, Cranidae, Cosmetidae, Nomoclastidae, Stygnidae, Sclerosomatidae); por su parte, los organismos capturados en CH resultaron ser ejemplares pequeños con poca movilidad (i.e. *Huitaca* sp. nov., Kimulidae gen. nov., *Maracaynatum* sp., Samoidae gen. nov.). La baja riqueza obtenida con TC se atribuye a la anacoresis de los opiliones (Gnaspini & Hara, 2007), los cuales suelen vivir en grietas o madrigueras y así, puede disminuir su probabilidad de captura con esta técnica. Estos resultados coinciden con lo encontrado en muestreos en la amazonia brasileña (Pinto-da-Rocha & Bonaldo, 2006; Tourinho *et al.* 2014; Tourinho *et al.* 2018), donde la recolecta manual nocturna fue la técnica que permitió obtener mejores resultados en términos de diversidad de opiliones obtenidos.

Acerca de la dominancia, riqueza y demás parámetros de los opiliones en la SNSM

Los opiliones son organismos con tendencias nocturnas, siendo más activos entre las 20 h y las 3 h, mientras que durante el día permanecen ocultos en cavernas y grietas, ya sea en solitario o formando grupos de incluso miles de individuos (e.g. Machado *et al.*, 1999). Adicionalmente, tienen predilección por áreas boscosas, siendo entonces más diversos en las regiones tropicales, especialmente los andes y la amazonia (Curtis & Machado, 2007). Estos factores, juntos con algunos propios de cada especie, ayudan a explicar, en gran medida, los resultados encontrados.

Dominancia: las diferencias en la dominancia específica en cada estación de muestreo se deben a las altas tendencias endémicas de los opiliones y a los altos valores de diversidad *beta* por recambio obtenidos en este estudio. La dominancia de *Geaya* sp. 1 en La Secreta (LS) (800 m), se debe a que este grupo de Sclerosomatidae se encuentran, en general, tanto en el día como en la noche, lo cual permite que aparezcan muchos representantes de este género cuando la revisión manual se hace en conjunto sin discriminar el día y la noche. Además, es sabido que el suborden Eupnoi (del cual Sclerosomatidae hace parte), es un grupo con amplia distribución latitudinal y altitudinal, logrando ocupar diversos hábitats y, por tanto, aprovechando mayor cantidad de recursos disponibles que los demás subórdenes (Bragagnolo *et al.*, 2007; Curtis & Machado, 2007; Giribet & Kury, 2007). Así mismo, las altas abundancias de este género en las tres estaciones, pueden atribuirse a que *Geaya* tiende más al gregarismo que otros grupos de opiliones, lo cual aumenta las probabilidades de captura (Machado & Macías-Ordóñez, 2007).

La mayor dominancia de *Phareicranaus* sp. en San Pedro (SP), coincide con lo propuesto por Kury (2003), quien afirma que en estudios de opiliones en

Colombia es común la alta frecuencia de este género, y de otros cranoides de gran tamaño, especialmente debido a que las regiones montañosas del país son el epicentro de especiación de Cranidae en el Neotrópico (Mello-Leitão, 1936; Giribet & Kury, 2007). Así mismo, es notoria una predilección por zonas de montaña específicas, i.e. restringidas, de las familias Cranidae, Agoristenidae y Neogoveidae (Curtis & Machado, 2007; Giribet & Kury, 2007).

Finalmente, tenemos el caso de mayor dominancia de *Cynorta* en Hierba Buena (HB), atribuida principalmente a que Cosmetidae es la familia de Laniatores más diversa en Colombia y el neotrópico (Kury, 2003) y por ello, es comunmente encontrada, incluso en cantidades considerables en diversos muestreos (García & Medrano, 2015; Kury & Pinto-da-Rocha, 2002; Pinto-da-Rocha & Bonaldo, 2006). Sin embargo, factores especie-específicos deben influir sobre su distribución altitudinal, lo que debe ser explorado más a fondo.

Abundancia: los altos valores de abundancia en LS en comparación de otras zonas de BST (De Armas, 2010), está relacionado a los mayores valores de humedad relativa, parámetro ambiental que más influye en los opiliones, debido a su condición higrofílica y tendencia a la deshidratación (Curtis & Machado, 2007). La baja riqueza en la estación intermedia (SP) se debe a que el ecosistema original está constituido por un mosaico de remanentes de bosque, cultivos y algunos caseríos, lo que sugiere un mayor grado de intervención antrópica en esta estación. Lo anterior influye en la dinámica ecosistémica, ya que altera la disponibilidad de microhábitats, la conectividad entre parches por pérdida de vegetación nativa y las relaciones tróficas, lo cual incide en la disminución de especies.

En HB se observó una menor intervención antrópica en comparación con las otras estaciones y, consecuentemente, mejor conservación de los bosques y mayor cobertura vegetal. De esta manera, la cantidad de luz solar que llega a los estratos bajos es menor, así como un mayor aporte de biomasa desde el dosel hacia el sotobosque y el suelo (formando capas de hojarasca con temperaturas constantes). Esta mayor producción de hojarasca incrementa la disponibilidad de microhábitats que pueden ser colonizados por una mayor diversidad de opiliones que ocupen distintos nichos ecológicos. Además, muchos artrópodos utilizan la hojarasca como refugio y recurso alimenticio, lo cual es importante para muchas especies de Opiliones que habitan en este tipo de microhábitats.

Diversidad: la alta diversidad en HB podría asociarse a las bajas temperaturas reportadas en esta estación, las cuales se acercaron a la temperatura de transición (Pulz, 1987), óptimo térmico en el que la capa lipídica cuticular se hace más permeable, favoreciendo la ganancia de agua hacia el tegumento como mecanismo contra la desecación para estos arácnidos (Santos, 2007). Los altos valores de completitud de

muestreo, demuestran que las técnicas y esfuerzos al momento de la colecta fueron suficientes para tener un alto porcentaje de la diversidad estimada para zona. Sin embargo, se obtuvieron una gran cantidad de *singletons* y *doubletons*, lo cual no es extraño tratándose de inventarios faunísticos de arácnidos según lo descrito por New (1999) y Jiménez-Valverde & Hortal (2003). El alto número de *singletons* y *doubletons* en HB (2000 m s.n.m.) se debe a que la comunidad de opiliones en esta estación sigue el patrón general de artrópodos en gradientes altitudinales, es decir, disminuyen su número a medida que se incrementa la altitud (McCoy, 1990; Rahbek, 1995; McCain, 2005; Almeida-Neto *et al.*, 2006).

Además, al aumentar la altitud disminuye el área del hábitat, lo cual permite que la poca cantidad de individuos se distribuyan en toda el área disponible, permitiendo la coexistencia de un mayor número de especies, debido a la poca competencia intra e interespecífica; de esta manera los individuos pueden aprovechar los recursos sin restringirse en términos de tamaño de hábitat. Por otro lado, la baja abundancia de opiliones en esta misma estación se puede atribuir a una rareza de especies de tipo demográfica (Esparza-Olguín, 2004), razón por la cual se hace necesario realizar estudios de tipo poblacional para demostrar esta hipótesis. Este patrón ecológico existe probablemente en la mayoría de las comunidades, controlado conjuntamente por procesos basados en el nicho, en la configuración espacial y en la neutralidad (Nekola & White, 1999; Soininen *et al.*, 2007).

Riqueza: la mayor riqueza registrada en la estación de mayor altitud y la más baja en la altitud intermedia, contradice el supuesto de acumulación en altitudes intermedias. Lo anterior se puede atribuir al estado de conservación de los bosques y los respectivos usos del suelo en la estación baja e intermedia. En términos generales, los resultados obtenidos en este estudio concuerdan en la disminución de las abundancias a medida que aumenta la altitud, como lo reportan Almeida-Neto *et al.* (2006). Sin embargo, en ese mismo estudio, los autores afirman que el patrón de decrecimiento de la abundancia es seguido por la riqueza, acumulándose la mayoría de especies en zonas bajas e intermedias. Por otro lado, la variación de la vegetación entre las tres estaciones puede influir en la diversidad, ya que se recolectaron opiliones en tres tipos de bosques con comunidades vegetales diferentes en estructura y fenología; por lo que es posible asumir que ciertas especies son propias de cierto tipo de bosque. Sin embargo, al no contar con estudios previos de interacciones planta-opilión, no se puede establecer si la vegetación limita la distribución de los opiliones o si existe relación específica entre especies de opiliones y especies vegetales.

El alto número de especies exclusivas para la estación de menor (LS con nueve) y mayor altitud (HB con seis), se atribuye a la biología de estas especies; ya que algunas han sido reportadas para tierras bajas (e.g. *Avima* Roewer, 1948, *Maracaynatum* Roewer, 1949 y *Quindina* Roewer, 1914) con distribución altitudinal que oscila entre

7-1200 msnm, con excepciones específicas que son endémicas de zonas altas (2000-3800 msnm) (Kury, 2003). Otras especies son típicas de alta montaña, por ejemplo, la nueva especie *Icaleptes* sp. nov., que correspondería a la tercera especie de este género y la primera para el departamento del Magdalena (*Icaleptes malkini* Kury & Pérez, 2002 fue descrita para la Serranía del Perijá a 2000 m) (Kury & Pérez, 2002). El bajo número de especies compartidas entre las tres estaciones (*Phareicranus* sp. nov. 1., *Stygnus* sp. nov. 1. y *Geaya* sp. 2.), se debe a que muchas especies son menos tolerantes a los cambios microclimáticos cuando hay localidades con un diferencial de altitud (Curtis & Machado 2007). Además, un gradiente altitudinal acarrea consigo gradientes ambientales (térmicos y de humedad) y biológicos (productividad), por lo que las especies responderán a estos gradientes según su óptimo ecológico y al tratarse de un grupo con alta estenoicidad, en general, es de esperarse que cada localidad de muestreo tenga su opilionofauna característica.

Por otro lado, estas tres especies pertenecen al suborden Eupnoi, los cuales tienen mayor distribución a nivel mundial y tienen mayor vagilidad que otros opiliones, lo que les ha permitido la colonización de múltiples microhábitats (Curtis & Machado 2007, Bragagnolo *et al.* 2007, Giribet & Kury 2007). Además, la mayor variedad de dieta de Sclerosomatidae, en comparación con otras familias de Opiliones, también es un factor determinante para que el género *Geaya* esté presente en todas las estaciones (De Armas *et al.*, 2010).

También el patrón espacial observado se puede explicar, teniendo en cuenta la historia y evolución de la orografía y geomorfología de la SNSM, así como la antropización a la que ha sido sometida el macizo montañoso (sobre todo en las zonas bajas); lo cual ha generado una distribución de la vegetación original en forma de parches aislados (Martínez *et al.*, 2009), provocando el confinamiento de muchas especies de opiliones a una determinada altitud. La falta de conectividad entre los parches de bosques, representaría una barrera geográfica para dichos organismos, ya que su capacidad de dispersión es baja e incluso, en bosques conservados, estos arácnidos suelen restringirse a pequeñas regiones geográficas y no colonizan grandes extensiones (Pérez-González com. pers.), incidiendo en un alto endemismo de la diversidad entre diferentes altitudes. Adicionalmente, la variación espacial también es producto del tamaño geográfico y la restricción del hábitat (Harrison *et al.*, 1992; Morrone & Escalante, 2016), puesto que las especies por ser específicas en sus requerimientos tienen distribuciones restringidas, lo cual genera agrupamientos con diferencias mayores entre sí (Rodríguez *et al.*, 2007; Morrone & Escalante, 2016). Por último, es importante tener en cuenta que las preferencias que tiene cada especie por su hábitat o por ciertas condiciones ambientales, no solo se debe a los recursos que le brindan estos factores para su supervivencia, sino también a la respuesta evolutiva que han desarrollado para coexistir y disminuir la competencia a lo largo de procesos de especiación alopátrica y simpátrica.

De esta manera, se plantea la hipótesis de que estas causas macroecológicas también modelan las diferencias espaciales observadas en este estudio (Morrone & Escalante 2016).

Diversidad taxonómica: las diferencias en los índices $\Delta+$ y $\Lambda+$, demuestran cambios significativos en la estructura taxonómica del orden Opiliones a escala espacial en la vertiente noroccidental de la SNSM, debido a que la medida de diferenciación taxonómica promedio, como la medida de variación taxonómica, son independientes del esfuerzo de muestreo y de la riqueza de especies de cada sitio (Clarke & Warwick, 1998). Las diferencias presentadas en HB, se deben a la elevada estabilidad del patrón taxonómico de la comunidad de opiliones en esta estación, debido a la muy baja actividad antrópica y la incidencia de otras variables ambientales. En este contexto, se supone que a mayor altitud se pueden dar efectos positivos en dependencia del estado en la cual se encuentra la zona (e.g. nivel de contaminación y de actividades humanas) y por las condiciones ambientales que prevalecieron durante los muestreos (bajas temperaturas). Por otro lado, los valores que se encontraron por debajo de los límites de confianza de la distinción taxonómica promedio ($\Delta+$), y con alto número de taxones, implica que HB tiene mayor número de grupos inferiores pertenecientes a una misma categoría superior, lo que indica un ambiente más favorable para el desarrollo y diversidad dentro de este taxón.

La mayor variación de la diferenciación (distinción) taxonómica ($\Lambda+$) en LS, indica que en esta estación la mayoría de los grupos pertenecen a pocos taxones superiores, así como una baja equitatividad en sus árboles taxonómicos, debido esto último a la existencia de una distribución poco homogénea de las especies en el árbol taxonómico. Lo anterior se relaciona con una mayor representación de algunos grupos taxonómicos (e.g. *Quindina* sp. nov.) y la representación insuficiente de otros, particularmente a nivel de especies, ya que muchas especies están representadas por bajas abundancias (e.g. *Avima* sp. nov, Samoidae sp. 3, *Geaya* sp. 2). Esto evidencia las condiciones en que se encuentra expuesta esta zona, como la influencia de cultivos de café y la disminución de las zonas boscosas. Además, este valor se debe a la pérdida de categorías taxonómicas superiores y a una baja equitatividad en el árbol taxonómico, dado a una distribución poco homogénea de las especies en las diferentes categorías supra específicas en LS. También es posible deducir que este índice ($\Lambda+$) esté detectando evidencias, de forma más efectiva, de cómo los efectos inducidos por el hombre influyen en la diversidad de estos arácnidos. Aunque las medidas utilizadas de diversidad taxonómica se basan en información básica de taxonomía Linneana, constituyen una aproximación a las relaciones filogenéticas entre las especies de opiliones, por lo que reflejan la influencia de procesos evolutivos y biogeográficos de estos arácnidos en la SNSM.

De manera general, la SNSM tiene características que permiten definirla como un sitio de “cruce de caminos biogeográficos”, lo que significa que tiene alta riqueza específica y diversidad *beta*. En este caso, los procesos evolutivos como especiación y coevolución son constantes, lo que lo hace un sitio con alta prioridad de conservación (Spector, 2002). Por último, esta investigación enfatiza la importancia de los estudios faunísticos que no solo tengan en cuenta la riqueza absoluta (S), sino que permitan una aproximación taxonómica, involucrando también la diversidad taxonómica. Con lo anterior y sensu Graham & Fine (2008) y García-López *et al.* (2013), se pueden demostrar procesos ecológicos y evolutivos que permiten establecer los patrones de diversidad de las especies a diferentes escalas espaciales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los miembros del semillero de Investigación NEOPTERA y demás estudiantes de la Universidad del Atlántico que hicieron parte de la fase de campo. A la Fundación Alejandro Ángel Escobar por otorgar la beca Colombia Biodiversa 2018-2, fondos que financiaron la ejecución de esta investigación. Al profesor Abel Pérez González y a la división de aracnología del MACN por su ayuda en la identificación. Igualmente, a la labor editorial de Julián A. Salazar.

Contribución de los autores

Natalia De Moya y Neis Martínez realizó el diseño de muestreos.

Natalia De Moya ejecutó el trabajo experimental en campo.

Natalia De Moya, Neis Martínez y Andrés García realizaron el análisis de los datos y escribieron el manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Acosta, L. E., Machado, G. (2007). Diet and foraging. In: Pinto-da-Rocha R., Machado G., Giribet G. (eds.). *Harvestmen: The Biology of Opiliones* (pp. 309–338). Harvard Univ. Press.
- Ahumada, C. D., García, A. Fy Navas, S. G. R. (2020). The spiny Agoristenid genus *Barinas* (Arachnida: Opiliones), with the description of a new species from the Colombian Caribbean. *Arachnology*, 18 (6): 632–641.
- Almeida-Neto, M., Machado, G., Pinto-da-Rocha, R., Giaretta, A. (2006). Harvestman (Arachnida: Opiliones) species distribution along three Neotropical elevational gradients: ¿an alternative rescue effect to explain Rapoport's rule? *Journal of Biogeography*, 33: 361–375. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01389.x>
- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 5, 134–143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>
- Baselga, A. y Orme, D. (2012). Betapart: An R package for the study of beta diversity. *Methods in ecology and Evolution*, 3, 808–812. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00224.x>
- Bragagnolo, C., Nogueira, A., Pinto-da-Rocha, R., Pardini, R. (2007). Harvestmen in an Atlantic forest fragmented landscape: Evaluating assemblage response to habitat quality and quantity. *Biological Conservation*, 139, 3–4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.008>
- Camero, E. (2003). Caracterización de la fauna de carábidos (Coleoptera: Carabidae) en un perfil altitudinal de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 27: 491–516. http://www.accefyn.com/revista/Vol_27/105/3-CARACTERIZACION.pdf
- Chao, A. y Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93, 2533–2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>

- Clarke, K. y Gorley, R. (2001). PRIMER: User manual/tutorial. (Versión v5) [Programa de computación]. Plymouth, Reino Unido: PRIMER-E Ltd.
- Clarke, K. y Warwick, R.M. (1998). A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *J Appl Ecol.*, 35: 523–531.
- Clarke, K. y Warwick, R.M. (2001). A further biodiversity index applicable to species list: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 265–278.
- Coddington, J., Griswold, C., Silva, D., Peñaranda, E. y Larcher, S. (1991). Designing and testing sampling protocols to estimate biodiversity in tropical ecosystems. *Critical issues in biodiversity*, 2, 44–60.
- Curtis, D. y Machado, G. (2007). Ecology. In: Pinto-da-Rocha R., Machado G., Giribet G. (eds.). *Harvestmen: The Biology of Opiliones* (pp. 280–308). Harvard Univ. Press.
- Cumming, G., Fidler, F. y Vaux, D. L. (2007). Error bars in experimental biology. *J. Cell Biol.*, 21, 7–11. <https://doi.org/10.1083/jcb.200611141>
- De Armas, L. (2010). Nuevos arácnidos de Puerto Rico (Arachnida: Amblypygi, Araneae, Opiliones, Parasitiformes, Schizomida, Scorpioles). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 47, 55–64. <http://sea-entomologia.org/PDF/BSEA47ARACNO/B47055.pdf>
- Dixon, P. y McKinlay, G. (1989). Aphid predation by harvestmen in potato fields in Scotland. *The Journal of Arachnology*, 17, 254.
- Ferreira, L. (2007). Diversidad de arañas orbitelares (Araneae: Orbiculariae) en tres formaciones vegetales de la Sierra Nevada de Santa Marta (Magdalena, Colombia) (Tesis de pregrado). Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
- Franco, T. (2017). Diversidad y distribución de escorpiones a lo largo de un gradiente altitudinal en la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia (Tesis de pregrado). Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
- Galvis, W. (2017). New species and records of lyssomanines (Araneae: Salticidae: Lyssomaninae) from the Caribbean and Pacific coasts of Colombia. *Zoology and Ecology*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/21658005.2017.1304188>
- García, A. F. y Medrano, M. (2015). Orden Opiliones. En: Flórez E., Romero C., López D. (eds). *Los artrópodos de la reserva Natural río Nambí* (pp. 111–126). Universidad Nacional de Colombia.
- García-López, A., Mico, E., Múrrica, C., Galante, E. y Vogler, A. P. (2013). Beta diversity at multiple hierarchical levels: explaining the high diversity of scarab beetles in tropical montane forests. *Journal of Biogeography*, 40, 2134–2145. <https://doi.org/10.1111/jbi.12148>
- Giribet, G. y Kury, A. B. (2007). Filogenia y Biogeografía. In: Pinto-da-Rocha R., Machado, G. (eds.). *Harvestmen: the biology of the Opiliones* (pp. 62–87). Harvard University Press.
- Gnaspini, P. (1996). Population ecology of *Goniosoma spelaeum*, a cavernicolous harvestman from south-eastern Brazil (Arachnida: Opiliones: Gonyleptidae). *J. Zool. Lond.*, 239, 417–435.
- Gnaspini, P. y Hara, M. (2007). Mecanismos de defensa. En Pinto-da-Rocha R., Machado, G. & Giribet, G., (eds). *Harvestmen, Biology of Opiliones* (pp. 374–399). Harvard University Press.
- Guerrero, R. y Sarmiento, C. (2010). Distribución altitudinal de hormigas (Hymenoptera, Formicidae) en la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *Acta Zoológica Mexicana*, 26, 279–302. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262699>
- Halfiter, G., Moreno, C. y Pineda, E. (2001). Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera. *Manuales & Tesis*, 2, 1–77.
- Harrison, S., Ross, S. J. & Lawton, J. H. (1992). Beta diversity on geographic gradients in Britain. *Journal of Animal Ecology*, 61, 151–158.
- Hill, M. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, 54, 427–432.
- Jiménez-Valverde, A. y Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8, 151–161.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113, 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Kury, A. B. (2003). Annotated catalogue of the Laniatores of the New World (Arachnida, Opiliones). *Revista Ibérica de Aracnología*, 31(1), 5–337. <http://sea-entomologia.org/PDF/RIA1special.pdf>
- Kury, A. B. (2016). A classification of the penial microsetae of Gonyleptoidea (Opiliones: Laniatores). *Zootaxa*, 4179, 144–150. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4179.1.13>
- Kury, A. B. (2018). Familiar nomina in harvestmen (Arachnida, Opiliones). *Bionomina*, 13, 1–27. <https://www.biotaxa.org/Bionomina/article/view/bionomina.13.1.1>
- Kury, A. B., García, A. F. y Medrano, M. A. (2019). A new genus of Kimulidae, being the first record of the family from Colombia (Opiliones, Grassatores). *Comptes Rendus Biologies*, 342(5–6), 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2019.07.003>
- Kury, A. B., Mendes, A. C., Cardoso, L., Kury, M. S. y Granado, A. A. (2020). WCO-Lite: online world catalogue of harvestmen (Arachnida, Opiliones). Version 1.0 — Checklist of all valid nomina in Opiliones with authors and dates of publication up to 2018. Self-published. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4025288>
- Kury, A. B. y Medrano, M. (2016). Review of terminology for the outline of dorsal scutum in Laniatores (Arachnida, Opiliones). *Zootaxa*, 4097(1), 130–134. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4097.1.9>
- Kury, A. B. y Pérez-G, A. (2002). A new family of Laniatores from Northwestern South America (Arachnida, Opiliones). *Revista Ibérica de Aracnología*, 6, 3–11.
- Kury, A. B. y Pinto-da-Rocha, R. (2002). Opiliones. En: Adis, J. (ed.). *Amazonian Arachnida and Myriapoda* (pp. 245–362). PENSOFT Publishers.
- Kury, A. B. y Villarreal, M. (2015). The prickly blade mapped: establishing homologies and a chaetotaxy for macrosetae of penis ventral plate in Gonyleptoidea (Arachnida, Opiliones, Laniatores). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 174, 1–46. <https://doi.org/10.1111/zooj.12225>
- Lieberman, D., Liberman, M., Peralta, R. y Hartshorn, G. (1996). Tropical forest structure on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *The Journal of Ecology*, 84, 137–152.
- Lomolino, M. (2001). Elevation gradients of species-density historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 10(1), 3–13.
- Martínez, N., García, H., Pulido, L., Ospino, D. y Narváez, J. (2009). Escarabajos Coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) de la Vertiente Noroccidental, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Neotropical Entomology*, 38, 708–715. <http://dx.doi.org/10.1111/zooj.12225>

- org/10.1590/S1519-566X2009000600002
- Martínez, L., Villarreal, E. y Martínez, N. (2017). A new species of the genus *Parachemmis* Chickering, 1937 from Colombia (Araneae, Corinnidae, Corinninae). *ZooKeys*, 679, 29-35. <https://doi.org/10.3897/zookeys.679.12421>
- McCain, C. (2005). Elevational gradients in diversity of small mammals. *Ecology*, 86, 366-372. <https://spot.colorado.edu/~mccain/PDFs/McCainECOLOGY2005.pdf>
- MacCoy, E. (1990). The distribution of insects along elevational gradients. *Oikos*, 58, 313-332.
- Machado, G., Raimundo, R. y Oliveira, P. (1999). Daily activity schedule, gregariousness, and defensive behaviour in the Neotropical harvestman *Goniosoma longipes* (Opiliones: Gonyleptidae). *Journal of Natural History*, 34, 587-596.
- Morales, C. y Pinto-da-Rocha, R. (2020). Two new Colombian harvestmen of the genus *Quindina* Roewer, 1914 (Opiliones: Nomoclastidae). *Zootaxa*, 4748(3), 531-547. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4748.3.7>
- Morrone, J. J. y Escalante, T. (2016). *Introducción a la biogeografía*. Editorial Las prensas de Ciencias. UNAM, México. (316 pp.)
- Nekola, J. y White, P. (1999). The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *Journal of Biogeography*, 26, 867-878.
- New, T. (1999). Untangling the web: spiders and the challenges of invertebrate conservation. *J. Insect Conserv.*, 3, 251-256.
- Pinto-da-Rocha, R. y Bonaldo, A. (2006). Un inventario estructurado de los Opiliones (Arachnida) del altiplano del Río Juruti. *Revista Ibérica de Aracnología*, 13, 155-162.
- Pinto-da-Rocha, R. y Giribet, G. (2007). Taxonomía. En: Pinto-da-Rocha, R., Machado, G., Giribet, G. (eds). *Harvestmen: the biology of the Opiliones* (pp. 88-246). Harvard University Press.
- Pinto-da-Rocha, R. y Giribet, G. (2007). Taxonomía. En Pinto-da-Rocha, R., Machado, G., Giribet, G. (eds). *Harvestmen: the biology of the Opiliones* (pp. 88-246). Harvard University Press.
- Pulz, R. (1987). Thermal and water relation. En Nentwig, W. (ed.). *Ecophysiology of Spiders* (pp. 26-55). Springer-Verlag.
- Rahbek, C. (1995). The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography*, 18, 200-205.
- Rodríguez, J. P., Brotons, L., Bustamante, P. y Seoane, J. (2007). The application of predictive modelling of species distribution to biodiversity conservation. *Diversity and Distributions*, 13, 243-251. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00356.x>
- Santos, F. H. (2007). Ecophysiology. In: Pinto-da-Rocha, R., Machado, G., Giribet, G. (eds.). *Harvestmen: the biology of Opiliones* (pp. 473-488). Harvard University Press.
- Soininen, J., McDonald, R. y Hillebrand, H. (2007). The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography*, 30, 3-12. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2007.04817.x>
- Tourinho, A. L., Dias, S. C., Lo-Man-Hung, N. F., Pinto-da-Rocha, R., Bonaldo, A. B. y Baccaro, F. B. (2018). Optimizing survey methods for spiders and harvestmen assemblages in an Amazonian upland forest. *Pedobiologia - Journal of Soil Ecology*, 67, 35-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pedobi.2017.11.002>
- Tourinho, A. L., Lanza, L., Baccaro, F. B. y Dias, S. C. (2014). Complementarity among sampling methods for harvestman assemblages. *Pedobiologia*, 57, 37-45.
- Townsend, V., Viquez, C., Vanzandt, P., Proud, D. (2010). Key to the Species of Cosmetidae (Arachnida, Opiliones) of Central America, with Notes on Penis Morphology and Sexual Dimorphisms. *Zootaxa*, 2414, 1-26. <https://www.mapress.com/j/zt/article/view/8009>
- Villarreal, M. y García, A. (2016). Unveiling the diversity of *Phalangodus* Gervais, 1842 (Opiliones: Cranidae): descriptions of four new species from Colombia. *European Journal of Taxonomy*, 242: 1-41. <https://doi.org/10.5852/ejt.2016.242>
- Vuilleumier, F. (1969). Pleistocene speciation in birds living in the high Andes. *Nature*, 223: 1179-1180.
- Wells, S. M., Pyle, R. M. y Collins, N. M. (1983). The IUCN invertebrate red data book. IUCN.

Material Suplementario 1

Lista de diversidad taxonómica de los Opiliones de la vertiente Occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia.

Especies	Género	Subfamilia	Familia	Superfamilia	Suborden
<i>Avima</i> sp. nov.	<i>Avima</i>	Leiosteninae	Agoristenidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Phareicranaus</i> sp. nov. 1	<i>Phareicranaus</i>	Cranainae	Cranidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Phareicranaus</i> sp. nov. 2	<i>Phareicranaus</i>	Cranainae	Cranidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Phareicranaus</i> sp. 3	<i>Phareicranaus</i>	Cranainae	Cranidae	Gonyleptoidea	Laniatores

<i>Phareicranus</i> sp. 4	<i>Phareicranus</i>	Cranainae	Cranaidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Agathocranus</i> sp. 1	<i>Agathocranus</i>	Stygnicraninae.	Cranaidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Cynorta</i> sp. 1	<i>Cynorta</i>	Cosmetinae	Cosmetidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Cynorta</i> sp. 2	<i>Cynorta</i>	Cosmetinae	Cosmetidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Stygnus</i> sp. nov. 2	<i>Stygnus</i>	Stygninae	Stygnidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Stygnus</i> sp. nov. 3	<i>Stygnus</i>	Stygninae	Stygnidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Stygnus</i> sp. nov. 1	<i>Stygnus</i>	Stygninae	Stygnidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Quindina</i> sp. nov	<i>Quindina</i>	Nomoclastinae	Nomoclastidae	Gonyleptoidea	Laniatores
Samoidae gen. nov. sp. 1	Samoidae gen. nov.		Samoidae	Samooidea	Laniatores
<i>Maracaynatum</i> sp.	<i>Maracaynatum</i>		Samoidae	Samooidea	Laniatores
Samoidae sp. 3	Samoidae sp 3		Samoidae	Samooidea	Laniatores
Kimulidae gen. nov. sp 1	Kimulidae gen. nov.		Kimulidae	Zalmoxoidea	Laniatores
Kimulidae gen. nov. sp. 2	Kimulidae gen. nov.		Kimulidae	Zalmoxoidea	Laniatores
<i>Rhopalocranus</i> sp. nov	<i>Rhopalocranus</i>		Manaosbiidae	Gonyleptoidea	Laniatores
<i>Icaleptes</i> sp. nov.	<i>Icaleptes</i>		Icaleptidae	Zalmoxoidea	Laniatores
<i>Geaya</i> sp. 1	<i>Geaya</i>	Gagrellinae	Sclerosomatidae	Phalangoidea	Eupnoi
<i>Geaya</i> sp. 2	<i>Geaya</i>	Gagrellinae	Sclerosomatidae	Phalangoidea	Eupnoi
<i>Geaya</i> sp. 3	<i>Geaya</i>	Gagrellinae	Sclerosomatidae	Phalangoidea	Eupnoi
<i>Geaya</i> sp. 4	<i>Geaya</i>	Gagrellinae	Sclerosomatidae	Phalangoidea	Eupnoi
<i>Huitaca</i> sp. nov.	<i>Huitaca</i>		Neogoveidae	Ogoveoidea	Cyphophthalmi

Fuente: Autores.