

# Red de interacción entre murciélagos frugívoros (Phyllostomidae) y plantas en bosque seco tropical, Colombia

Rubén D Naranjo Lara<sup>1</sup>, Jesús Ballesteros Correa<sup>2</sup>, Julio J Chacón Pacheco<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Biología, Universidad de Córdoba. E-mail: [naranjoruben18@gmail.com](mailto:naranjoruben18@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Grupo de Investigación Biodiversidad Unicórdoba. Carrera 6 No. 77- 305 Montería - Córdoba, Colombia. E-mail: [jballescor@yahoo.com](mailto:jballescor@yahoo.com)

<sup>3</sup>Institución Educativa José María Córdoba, Grupo de Investigación AMDAC. Calle 29 No 16b-43 Barrio San José, Cod. Postal 230002, Montería, Córdoba, Colombia. E-mail: [jchacon\\_bio@hotmail.com](mailto:jchacon_bio@hotmail.com)

Trabajo de grado en modalidad investigación para optar al título de Biólogo en la Universidad de Córdoba

## Resumen

Los ambientes fragmentados conducen a una reducción de especies, causando cambios en la estructura de las redes de interacción, promoviendo modificaciones en los procesos de dispersión de semillas, reproducción de las plantas y mantenimiento de los bosques. A pesar de su importancia, son escasos los estudios que caractericen la estructura de las redes de interacción planta-animal en bosque seco tropical. El objetivo de este trabajo, fue caracterizar la estructura de la red de interacción murciélagos-plantas en fragmentos de bs-T en Colombia. La información fue proveniente de 11 localidades de las provincias biogeográficas Cinturón Árido Pericaribeño (Córdoba), Choco-Magdalena (Córdoba-Caldas), y Norandina (Tolima, Santander, Huila y Valles del cauca). En Colombia se encontró que la red de interacción es modular, con cinco módulos dentro de ella, aunque poco anidada, con 576 interacciones, y un tamaño de red de 44 ( $S = M+P$ ). Para las plantas se identificó a *Cecropia* como el género con mayor preferencia en la red de interacción, el cual interactuó con 15 especies de murciélagos. *Carollia perspicillata* mostró interacción con 14 géneros de plantas, resultando ser la especie con más interacción en la red, y a su vez, con un valor de Centralidad de grado normalizado ( $ND$ ) = 0.75 ejerce un papel central, siendo la especie importante para mantener la estructura de la red y garantizar la dispersión de semillas de un mayor número de especies vegetales. Las especies de murciélagos que presentaron pocas interacciones no afectan la estructura de la red, sin embargo, su abundancia puede determinar la importancia de la especie. Este trabajo aporta información importante para el diseño e implementación de proyectos dirigidos a la conservación de los ecosistemas, en especial el ecosistema de bs-T.

**Palabras clave:** Chiroptera, interacciones mutualistas, dispersión de semillas, provincias biogeográficas.

## INTRODUCCIÓN

El bosque seco tropical (bs-T) es reconocido por ser uno de los ecosistemas que debido a sus favorables condiciones climáticas y gran fertilidad en los suelos ha sufrido mayor amenaza y transformación antrópica (Pizano et al. 2016), condición que permite señalarlo como uno de los ecosistemas más fragmentados, degradados, destruidos y poco reconocido, con solo 8% de la cobertura original (García et al. 2014, Pizano et al. 2016, González et al. 2018). En este tipo de ecosistemas se ha estimulado el establecimiento de sistemas agropecuarios bajo manejo no sostenibles, ocasionando procesos de fragmentación, deforestación, sobreexplotación y destrucción de hábitats (Collinge 2009, Ballesteros 2015), causando disminución de especies (Sobral et al. 2019); y, parte de la fauna asociada al bs-T ha desarrollado adaptaciones morfológicas, fisiológicas y comportamentales que permiten su supervivencia y reproducción (Pizano & García 2014). Bajo este escenario de transformación del hábitat y nuevas condiciones ambientales, se pone en riesgo interacciones mutualistas importantes en procesos ecológicos como la dispersión de semillas, de gran importancia para el mantenimiento y recuperación de la estructura de la vegetación (Galindo et al. 2000).

Una manera de cuantificar y conocer las características de la red mutualista en bs-T es a través del análisis de redes de interacción, que describen la forma como se encuentra estructurada la comunidad en los ecosistemas (Bascompte & Jordano 2006); y proporcionan información de los procesos ecológicos que generan servicios ecosistémicos (Bascompte et al. 2014, Zapata et al. 2017). Estas redes de interacción varían su estructura de acuerdo con el grado de transformación en que se encuentra el ecosistema (Proulx et al. 2005, Soares et al. 2017), y son una herramienta fundamental para el estudio de interacciones entre especies (Kaiser-Bunbury & Blüthgen 2015). La pérdida de hábitat puede reducir la posibilidad de que una especie se relacione con otra, por lo que, las interacciones entre las especies pueden disminuir (Tylianakis et al. 2017, Sobral et al. 2019). Entender el origen y el efecto de la pérdida de estas interacciones en la dinámica de los ecosistemas, mejora el conocimiento del porqué y cómo varía el funcionamiento de la comunidad al enfrentarse a una perturbación (Tylianakis et al. 2010, Valiente-Banuet et al. 2015), lo cual mejora la comprensión de la problemática que se presenta en los ecosistemas. Por

esto, es fundamental comprender las interacciones en la comunidad del bs-T, para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad (Aroca et al. 2016).

Se ha demostrado que las especies relevantes en las redes de dispersión de semillas están determinadas por variables como la especialización de la dieta, un aspecto clave para comprender qué hace que una especie frugívora sea fundamental en las redes de dispersión de semillas (Mello et al. 2015); de igual forma el tamaño y la abundancia también juegan un papel importante para determinar la relevancia de las especies en la red de interacción (Montoya-Arango et al. 2016; Muñoz 2016), en cambio, la biodiversidad de los frugívoros en las redes de interacción mejora la función de dispersión de semillas a escala de paisaje (García et al. 2018). A pesar de ello, los estudios que analizan la estructura de las redes de interacción planta-animal son escasos (Montoya et al. 2016).

En Colombia, este tipo de estudios vienen cobrando un interés reciente (Acevedo & González 2019, Montoya et al 2019, Acevedo-Quintero et al 2020); y el análisis de las interacciones murciélagos-plantas, se abordado tradicionalmente en el análisis de las preferencias alimenticias de los murciélagos, sin profundizar en el conocimiento de la estructura de la red (Ríos-Blanco & Pérez-Torres, 2015, Suárez-Castro & Montenegro 2015, Aroca et al. 2016). Recientemente, se ha buscado entender cómo las redes de interacción murciélagos-plantas permiten comprender los efectos de la transformación del paisaje y pueden afectar procesos de restauración, analizando interacciones entre plantas y dispersores de semillas o polinizadores (Mora-Beltrán & López-Arévalo 2018). Por otro lado como manera de hipótesis tenemos que el bs-T, aunque es un bosque altamente fragmentado con poca conectividad (González et al. 2018), presentará una estructura anidada y modulada, características encontradas en otras redes de interacción murciélago-planta (Velásquez et al 2019), sin embargo, el número de interacciones murciélagos-plantas de una red, se establece de acuerdo a la disponibilidad de recursos en el ecosistema, por lo tanto, el número de estas interacciones en ecosistema de bs-T será mayor en especies con alta plasticidad ecológica, en especial especies generalistas, destacándose como especies núcleo dentro de la red y presentando un alto grado de centralidad. Así, en este trabajo se caracteriza la estructura de la red de interacción murciélagos-plantas en fragmentos de bs-T en Colombia, con el fin de analizar su estructura, con el objetivo de determinar anidamiento, modularidad y tamaño de la red de interacción, identificar los géneros de plantas con mayor preferencia en la red, y

conocer el papel que cumplen los murciélagos frugívoros en las redes de interacción. La principal pregunta que nos formulamos fue ¿Cuáles son las características de la estructura de la red de interacción entre murciélagos frugívoros y plantas en bsT de Colombia?, este estudio servirá como línea base de posteriores investigaciones encaminadas a la conservación de los procesos funcionales en áreas transformadas de bs-T.

## METODOLOGÍA

**Área de estudio.** El estudio se realizó con información proveniente de 11 localidades de las provincias biogeográficas Cinturón Árido Pericaribeño (Córdoba), Choco-Magdalena (Córdoba-Caldas), y Norandina (Tolima, Santander, Huila y Valles del cauca) en Colombia (Tabla 1). Estas áreas de bs-T se localizan entre los 0-200 m de altitud, con temperatura promedio anual de 28°C, distribución unimodal de las precipitaciones, con un período de sequía de diciembre-abril y un periodo lluvioso de mayo-noviembre (Ballesteros et al., 2007). Gran parte de la extensión original del bs-T ha sido transformada para la implementación de sistemas de producción agrícola y ganadera (Pineda-Guerrero, González-Maya, & Pérez-Torres, 2015); y en consecuencia, la mayor parte de las formaciones vegetales de bs-T han sido drásticamente alteradas, y los fragmentos remanentes generalmente están inmersos en matrices de ganadería extensiva (Ballesteros-Correa, 2015).

**Tabla 1.** Información de los estudios consultados para este trabajo de redes de interacción murciélagos-plantas en áreas de bosque seco tropical de Colombia.

Localidad	Municipio	Depto.	Área	Localización		Tiempo muestreo	Fuente
El Refugio	Pueblo Nuevo	Córdoba	160 ha	08°32'44.3" N	75°20'39.9" W	Enero-marzo 2009	Calonge, 2009
La Española	La Dorada	Caldas		05°22'02.9" N	74°47'36.8" W	Marzo 2015	Aroca et al. 2016
Guacamayas	Buenavista	Córdoba	15 ha	08°11'72.0" N	75°32'78.0" W	Enero-marzo 2010	Ríos & Pérez 2015
Guacamayas	Buenavista	Córdoba	34 ha	08°11'05.3" N	75°31'49.2" W	Agosto 2011-julio 2012	Ballesteros, 2015
Chimborazo	Canalete	Córdoba	55 ha	08°44'32.4" N	76°19'23.4" W	Agosto 2011-julio 2012	Ballesteros, 2015
Las Palmeras	Montería	Córdoba	35 ha	08°30'37.1" N	76°06'12.9" W	Agosto 2011-julio 2012	Ballesteros, 2015
San Lorenzo	Los Córdoba	Córdoba	86 ha	08°53'20.0" N	76°18'42.6" W	Agosto 2011-julio 2012	Ballesteros, 2015
El Edén	San S. de Mariquita	Tolima	18 ha	5°17'10.86" N	74°51'30.0" W	Agosto y diciembre 2010	García et al. 2019
Las Vueltas	Curití	Santander				Junio 2012 y junio 2013	Alviz, 2014
Pueblo Robles	Ciudad de Jamundí	Valle del Cauca		3°07.0'42.0" N	76°35'34.0" W	Junio-noviembre 2014	Montoya et al. 2016
Las Delicias	Villavieja	Huila		3°17.0'00.0" N	74°58'00.0" W	Agosto 1993-julio 1994	Ruiz et al. 2000

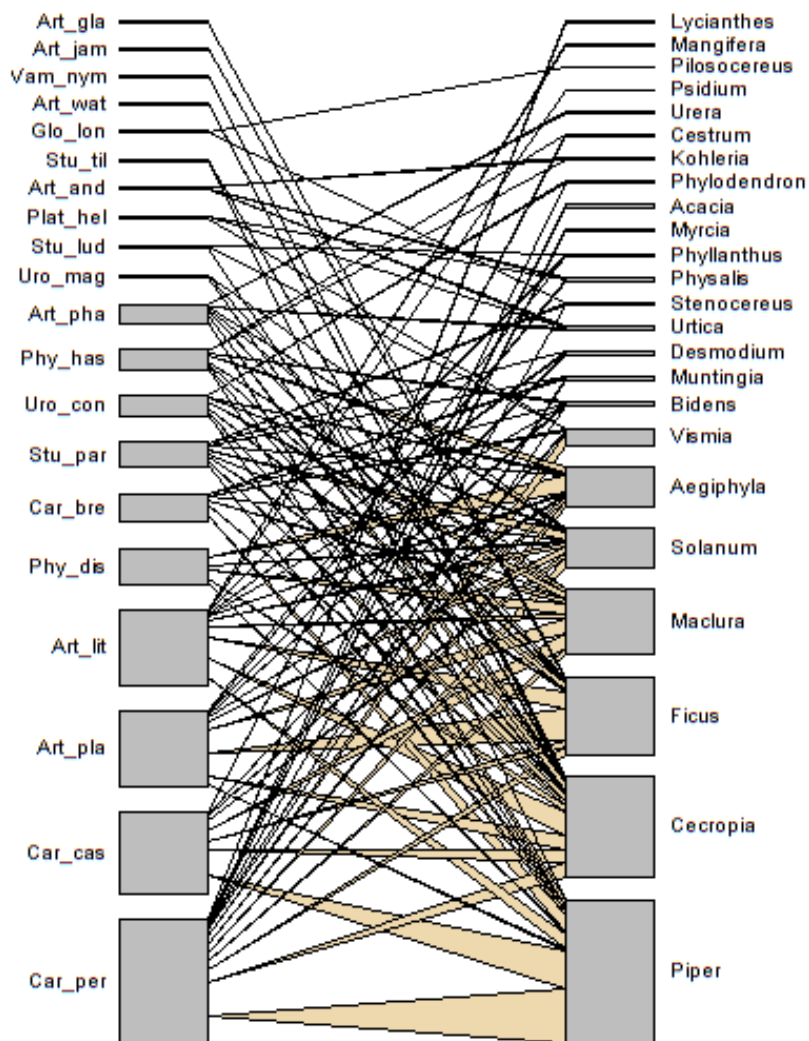
**Recolección de información.** Para la construcción de la base de datos sobre dieta de los murciélagos frugívoros en fragmentos de bs-T en Colombia, se tomó información proveniente del trabajo de campo realizado en 11 localidades de las provincias biogeográficas Cinturón Árido-Pericaribeño Chocó-Magdalena y Norandina. Con la información obtenida, se construyó una matriz ponderada, donde cada registro de consumo en la dieta se asignó a la matriz, el cual se define como la suma de la presencia de semillas de una especie de plantas encontrada en las muestras fecales de cada especie de murciélago capturado (Castaño 2009).

**Análisis de la información.** Para analizar la estructura de la red de interacción se usaron cuatro medidas: 1) riqueza de especies y tamaño de la red ( $S = M + P$ ), donde P es la riqueza de géneros de plantas y M la riqueza de especies de murciélagos. 2) El anidamiento se calculó por medio del índice (WNODF), que mide que tan fuertemente se agrupan las interacciones entre especies de especies de pocas conexiones dentro de aquellas de especies que presentan muchas conexiones (Almeida-Neto y Ulrich 2011), que varía de 0 (no anidado) a 100 (completamente anidado). Para probar si las estimaciones de WNODF son estadísticamente significativas, se comparó la anidación observada con la anidación de 1000 redes aleatorias basadas en un modelo nulo de Patefield (Dormann et al. 2009). 3) La Modularidad se determinó con el algoritmo QuanBiMo (Dormann & Strauss 2014), aspecto utilizado para conocer la formación de módulos o grupos de especies con determinadas características dentro de la red de interacción.

Para conocer el papel de los murciélagos en términos de dinámica, organización y estabilidad de la red de interacción, se utilizaron métricas que permiten establecer la posición de cada especie de murciélago dentro de la red: 1) Centralidad de grado normalizado (ND), que mide el número de interacciones de una especie, basado en el nivel de qué tan específica o generalista es. 2) Centralidad de cercanía (CC), que expresa la media del menor número interacciones de una especie o de las especies participantes en la red, con números más altos que producen puntajes de centralidad de proximidad más bajos. 3) Centralidad intermediación (BC), esta métrica fue usada para medir el nivel en que una especie procede como conector en el menor número de interacciones directas o indirectas entre otros pares de especies (Palacio et al. 2016). Con el fin de identificar los géneros de plantas con mayor preferencia en la red de interacción, se replicó la métrica Centralidad de grado normalizado (ND). Los análisis de estructura y centralidad fueron estimados utilizando el paquete *bipartite* versión 2.13 del software R-Project.

## RESULTADOS

Dentro de los registros analizados se encuentran 20 especies de murciélagos (M) y 24 géneros de plantas (P), para un tamaño de la red ( $S = M+P$ ) de 44. La red bipartita indica que la especie de murciélago que presentó mayor interacción con las plantas de bs-T fue *Carolia perspicillata*, que interactuó con 14 géneros de plantas (Figura 1). Los murciélagos que mostraron menos eventos de interacción fueron *A. glauca*, *A. jamaicensis* y *Vampyriscus nymphaea*, quienes mostraron interacción con solo un género de planta.



**Figura 1.** Red interacción bipartita de murciélagos frugívoros y plantas del bs-T en área de bs-T. A la derecha los géneros de plantas, a la izquierda especies de murciélagos. El alto de los rectángulos representa la cantidad de frutos consumidos, y el ancho de enlace la frecuencia de cada interacción trófica. *Art\_and* (*Artibeus anderseni*), *Art\_gla* (*A. glauca*), *Art\_jam* (*A. jamaicensis*), *Art\_lit* (*A. lituratus*), *Art\_pha* (*A. phaeotis*), *Art\_pla* (*A. planirostris*), *Art\_wat* (*A. watsoni*), *Car\_bre* (*Carollia brevicauda*), *Car\_cas* (*C. castanea*), *Car\_per* (*C. perspicillata*), *Glo\_lon* (*Glossophaga longirostris*), *Phy\_dis* (*Phyllostomus discolor*), *Phy\_has* (*P. hastatus*), *Plat\_hel* (*Platyrrhinus helleri*), *Stu\_lud* (*Sturnira ludovici*), *Stu\_par* (*S. parvidens*), *Stu\_til* (*S. tildae*), *Uro\_con* (*Uroderma convexum*), *Uro\_mag* (*U. magnirostrum*), y *Vam\_nym* (*Vampyriscus nymphaea*).

En 576 registros de interacción entre Quirópteros y plantas en bs-T, se encontraron 20 especies de murciélagos de ocho géneros de la familia Phyllostomidae. *Carollia perspicillata*, *Carollia castanea*, *Artibeus planirostris* y *Artibeus lituratus* fueron las especies con más registros de

interacción (Tabla 2). Las plantas registradas en las interacciones pertenecen a 24 géneros de 15 familias botánicas. Los géneros *Piper*, *Cecropia* y *Ficus* fueron los que mayores eventos de interacción registraron, con 159, 112 y 85, respectivamente (Tabla 2).

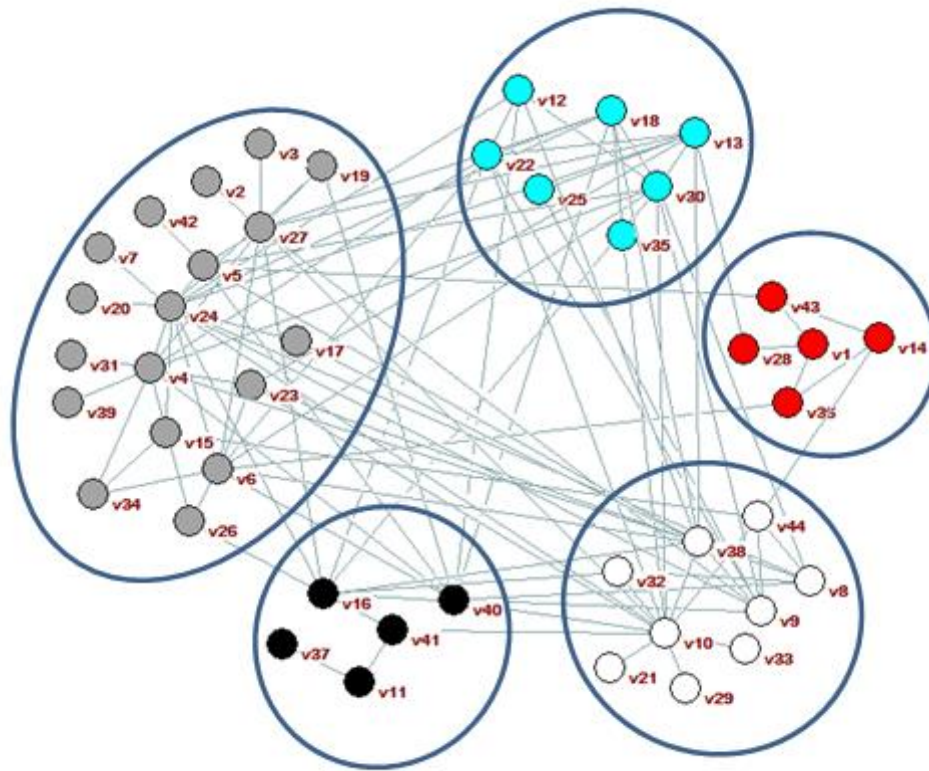
Los géneros de plantas que más interacciones fue *Cecropia*, interactuando con 15 especies de murciélagos, seguido de *Ficus* y *Piper*, que interactuaron con 11 especies de murciélagos. Los géneros de plantas con menos interacciones fueron *Acacia*, *Lycianthes*, *Mangifera*, *Mircia*, *Pilosocereus*, *Psidium* y *Urera*, los cuales interactuaron con solo una especie de murciélago (Figura 1).

La red de interacción mostro los valores de (WNODF= 37.33, (Z) WNODF= 38.14,  $P < 0,001$ ) presentando una configuración poco anidada con relación al promedio de las matrices nulas, siendo una red modulada con (Q= 0.28, ZQ= 17.3,  $P < 0,001$ ) con cinco módulos dentro de la red (Figura 2). La especie de murciélago con mayor grado de centralidad fue *Carollia perspicillata* con ND= 0.58, seguida de *Artibeus lituratus* con ND= 0.45; y entre las plantas, *Cecropia* con ND= 0.75 fue el género más central, seguido de *Ficus* y *Piper* con valor ND= 0.55 (Tabla 3).

**Tabla 2.** Matriz de número de interacción por cada especie de murciélago, y géneros de plantas en fragmentos de bosque seco tropical evaluados en Colombia.



Familias de plantas	Géneros de plantas	<i>Artibeus anderseni</i>	<i>Artibeus glauca</i>	<i>Artibeus jamaicensis</i>	<i>Artibeus lituratus</i>	<i>Artibeus phaeotis</i>	<i>Artibeus planirostris</i>	<i>Artibeus watsoni</i>	<i>Platyrrhinus helleri</i>	<i>Sturnira ludovici</i>	<i>Sturnira parvidens</i>	<i>Sturnira tildae</i>	<i>Uroderma convexum</i>	<i>Uroderma magirostrum</i>	<i>Vampyriscus nymphaea</i>	<i>Carollia brevicauda</i>	<i>Carollia castanea</i>	<i>Carollia perspicillata</i>	<i>Glossophaga longirostris</i>	<i>Phyllostomus discolor</i>	<i>Phyllostomus hastatus</i>	Total
Fabaceae	<i>Acacia</i>																	3				3
	<i>Desmodium</i>				2		1			1												4
Lamiaceae	<i>Aegiphyla</i>				2		4			1		1					3	7		18	7	43
Asteraceae	<i>Bidens</i>				1		1									1		1			1	5
Urticaceae	<i>Cecropia</i>				27	8	16	2		2	6	1	3	2	1	5	13	17		6	3	112
	<i>Urera</i>					1																1
	<i>Urtica</i>	1				1			1													3
Solanaceae	<i>Cestrum</i>																1				1	2
	<i>Physalis</i>	1					1		1													3
	<i>Solanum</i>				6	2	5				8		2	1		2	6	10		1		43
	<i>Lycianthes</i>																	1				1
Moraceae	<i>Maclura</i>				6	1	15			2		6				4	16	9		10	4	73
	<i>Ficus</i>		1	1	20	2	35			2		6	1				5	9			3	85
Gesneriaceae	<i>Kohleria</i>	1																			1	2
Anacardiaceae	<i>Mangifera</i>				1																	1
Muntingiaceae	<i>Muntingia</i>									1						1		2				4
Myrtaceae	<i>Myrcia</i>																	3				3
	<i>Psidium</i>				1																	1
Euphorbiaceae	<i>Phyllanthus</i>				1		1			1												3
Araceae	<i>Phylodendron</i>												1					1				2
Cactaceae	<i>Stenocereus</i>										1								1	1		3
	<i>Pilosocereus</i>																		1			1
Piperaceae	<i>Piper</i>				15	6	3			5	1	4				18	42	60		4	1	159
Hypericaceae	<i>Vismia</i>								1	1						1	3	13				19
<b>Total</b>		3	1	1	82	21	82	2	3	4	27	2	23	4	1	32	89	137	2	39	21	576



**Figura 2.** Modularidad en la red de murciélagos frugívoros de los fragmentos de bosque seco tropical seleccionados. Los murciélagos están representadas de la v1-v20: (V1) *Artibeus anderseni*, (V2) *Artibeus glauca*, (V3) *Artibeus jamaicensis*, (V4) *Artibeus lituratus*, (V5) *Artibeus phaeotis*, (V6) *Artibeus planirostris*, (V7) *Artibeus watsoni*, (V8) *Carollia brevicauda*, (V9) *Carollia castanea*, (V10) *Carollia perspicillata*, (V11) *Glossophaga longirostris*, (V12) *Phyllostomus discolor*, (V13) *Phyllostomus hastatus*, (V14) *Platyrrhinus helleri*, (V15) *Sturnira ludovici*, (V16) *Sturnira parvidens*, (V17) *Sturnira tildae*, (V18) *Uroderma convexum*, (V19) *Uroderma magnirostrum*, (V20) *Vampyriscus nymphaea*. Las plantas de la v21-v44: (V21) *Acacia*, (V22) *Aegiphyla*, (V23) *Bidens*, (V24) *Cecropia*, (V25) *Cestrum*, (V26) *Desmodium*, (V27) *Ficus*, (V28) *Kohleria*, (V29) *Lycianthes*, (V30) *Maclura*, (V31) *Mangifera*, (V32) *Muntingia*, (V33) *Myrcia*, (V34) *Phyllanthus*, (V35) *Phylodendron*, (V36) *Physalis*, (V37) *Pilosocereus*, (V38) *Piper*, (V39) *Psidium*, (V40) *Solanum*, (V41) *Stenocereus*, (V42) *Urera*, (V43) *Urtica*, (V44) *Vismia*. Cada módulo está identificado con un color diferente. Las especies más centrales en la red se ubican en el centro de la figura. Los números de las especies siguen el orden en la matriz de interacciones. La figura fue dibujada manualmente usando Pajek 5.09.

**Tabla 3.** Métricas de centralidad de los murciélagos frugívoros y plantas de los fragmentos de bs-T: (ND) Centralidad de grado normalizado, (BC) Centralidad intermediación, (CC) Centralidad de cercanía.

<b>Géneros de plantas</b>	<b>ND</b>	<b>BC</b>	<b>CC</b>	<b>Especies de murciélagos</b>	<b>ND</b>	<b>BC</b>	<b>CC</b>
<i>Cecropia</i>	0.750	0.119	0.051	<i>Car_per</i>	0.583	0.225	0.057
<i>Ficus</i>	0.550	0.119	0.051	<i>Art_lit</i>	0.458	0.024	0.054
<i>Piper</i>	0.550	0.119	0.051	<i>Art_pla</i>	0.417	0.144	0.057
<i>Maclura</i>	0.500	0.119	0.051	<i>Stu_par</i>	0.375	0.168	0.055
<i>Solanum</i>	0.500	0.100	0.050	<i>Car_cas</i>	0.333	0.060	0.055
<i>Aegiphyla</i>	0.400	0.071	0.049	<i>Phy_has</i>	0.333	0.108	0.055
<i>Bidens</i>	0.250	0.071	0.049	<i>Art pha</i>	0.292	0.144	0.057
<i>Vismia</i>	0.250	0.039	0.045	<i>Car_bre</i>	0.292	0.027	0.052
<i>Desmodium</i>	0.150	0.014	0.041	<i>Uro_con</i>	0.292	0.024	0.054
<i>Muntingia</i>	0.150	0.005	0.042	<i>Phy_dis</i>	0.208	0.000	0.051
<i>Phyllanthus</i>	0.150	0.005	0.039	<i>Art_and</i>	0.125	0.003	0.035
<i>Physalis</i>	0.150	0.010	0.039	<i>Plat_hel</i>	0.125	0.021	0.040
<i>Stenocereus</i>	0.150	0.196	0.043	<i>Stu_lud</i>	0.125	0.027	0.052
<i>Urtica</i>	0.150	0.007	0.036	<i>Uro_mag</i>	0.125	0.024	0.054
<i>Cestrum</i>	0.100	0.002	0.036	<i>Glo_lon</i>	0.083	0.000	0.032
<i>Kohleria</i>	0.100	0.004	0.036	<i>Stu_til</i>	0.083	0.000	0.051
<i>Phylodendron</i>	0.100	0.000	0.041	<i>Art_gla</i>	0.042	0.000	0.045
<i>Acacia</i>	0.050	0.000	0.041	<i>Art_jam</i>	0.042	0.000	0.045
<i>Lycianthes</i>	0.050	0.000	0.041	<i>Art_wat</i>	0.042	0.000	0.051
<i>Mangifera</i>	0.050	0.000	0.037	<i>Vam_nym</i>	0.042	0.000	0.051
<i>Myrcia</i>	0.050	0.000	0.041				
<i>Pilosocereus</i>	0.050	0.000	0.024				
<i>Psidium</i>	0.050	0.000	0.037				
<i>Urera</i>	0.050	0.000	0.032				

## DISCUSIÓN

En los ecosistemas de bs-T estudiados en este trabajo, el hecho de que *C. perspicillata* presente un mayor número de interacciones es atribuido a su mayor abundancia en los ecosistemas (Bascompte & Jordano 2003, Vázquez *et al.* 2009, Mendoza 2015), lo que indica que es una especie con un alto valor de importancia para la estructura de la red de interacción, debido a su elevado número de interacciones. En tanto que, las especies que mostraron poca interacción en la red, es probable que su población este baja sin mucha presencia de generalistas y presentan variación en su alimentación, como lo es el caso de *Artibeus jamaicensis* que, aunque su descripción dietaría fue descrita como frugívora (Fleming 1986, Marinho-Filho 1992, Flores *et al.* 2000), utiliza otros recursos alimenticios como insectos, hojas y néctar (Faria 1995, Kunz e Ingalls 1994, Kunz & Díaz 1995).

Para la especie *A. glauca*, igualmente resulto con poca interacción, es probable que, por su ecología denominado recolector de follaje, donde consume frutos del dosel (Loayza *et al.* 2006), pudo verse influenciado a poca interacción dentro del bosque. En los resultados se observa que *Vampyriscus nymphaea* mostró solo una interacción, al igual que las dos especies mencionadas anteriormente; especie considerada como rara o poco común (LaVal & Rodríguez-H 2002, Rodríguez-Herrera & Tschapka 2005), condición que pudo ser la causa de su poca interacción en la red; sin embargo, estas características no afectaran de forma directa a la estructura de la red de interacción (Nielsen y Bascompte 2007). La red de interacción indica un grado de anidamiento  $WNODF= 37.33$ ,  $(Z) WNODF= 38.14$ , lo que explica la formación de subconjuntos o módulos en la red; esto sugiere que especies generalistas no están interactuando entre ellas, y las especies especialistas no se están relacionando con las especies generalistas; resultados contrarios son reportados por Velásquez *et al.* (2019).

La Modularidad de 0.28 con respecto al promedio de las matrices nulas ( $ZQ= 17.3$ ) en la red plantas-murciélagos en fragmentos de bs-T en Colombia, indica que muchas conexiones están relacionándose entre los elementos de sus módulos, en vez de relacionarse con los demás módulos (Palacio 2014). Esto es característico en las redes de dispersión que presentan de cuatro a cinco módulos, y una Modularidad entre 0.20 y 0.42 (Mello *et al.* 2011). Al detallar los módulos se observa que las especies no parecen estar estrechamente

conectadas a un módulo específico, esto es debido al alto nivel de especies especialistas. En cambio, que especies de un mismo género se encuentran ubicadas en el mismo módulo, debido a la redundancia funcional de las especies, como es el caso de las especies del género *Artibeus* (Palacio 2014). El resultado de red modular encontrado en este estudio, concuerda con los obtenidos por (Velásquez et al. 2019) donde la red de interacción en bs-T mostró Modularidad.

*Carollia perspicillata* es la especie más central de la red de interacción en el escenario de bs-T. Estudios previos han mostrado resultados similares, indicando que especies generalistas, como lo es *Carollia brevicauda* resultó ser la más central en los ecosistemas boscosos fragmentados y continuos en ecosistemas premontanos (Castaño et al. 2020). De este modo, se evidencia que las especies de murciélagos frugívoros dominantes y las especies con alto número de interacciones (especies núcleo) refuerzan el papel funcional del gremio (Ríos et al. 2015).

Los géneros de plantas con mayor grado de Centralidad son *Cecropia*, *Ficus* y *Piper*, lo cual es explicado por la producción de frutos durante todo el año (Hammel 1986a, Hammel 1986b, Greig 1993a, Greig 1993b); por lo tanto, los murciélagos prefieren consumir los frutos de las plantas que fructifiquen a lo largo del año (Fleming 1988). Los resultados de este trabajo evidencian la importancia de los procesos mutualistas en los ecosistemas boscosos, especialmente en bs-T, donde gracias a estas interacciones se presenta un equilibrio en los procesos de interacción. Los resultados de este estudio y otros realizados anteriormente por Mello et al. (2011), donde se realizó el análisis de nueve bases de datos que contenían información sobre interacciones entre murciélagos-plantas, son de crucial importancia para destacar el valor funcional que tiene relaciones mutualistas en los ecosistemas.

## **CONCLUSIONES**

Trabajos sobre redes de interacción murciélagos-plantas, se convierte en un estudio de línea base para posteriores investigaciones encaminadas a la conservación del bs-T y de los murciélagos dispersores de semillas. La construcción de redes de interacción mutualistas murciélagos-plantas y su estructura, permite identificar las especies más centrales y abundantes responsables de mantener la dispersión de semillas de diferentes especies vegetales, y comprender la alta importancia funcional de estas interacciones en ecosistemas altamente transformados como ocurre con el bs-T.

## **RECOMENDACIONES**

Sería bueno esfuerzo de investigación a nivel de paisaje como el tamaño y la conectividad de los fragmentos, lo cual generará información importante para la conservación en términos espaciales. Por otro lado, comprender las redes murciélago-planta en un mayor número de fragmentos, permitiría tener una visión amplia de las interacciones en bs-T en Colombia, implementando métricas de redes y resultados más robustos, para implementarlos en planes de restauración y conservación de bs-T. Falta información básica sobre dieta de los murciélagos y su rol funcional en la dispersión efectiva de semillas, la diversidad y redundancia funcional de los murciélagos frugívoros, así como de los efectos del manejo de los sistemas productivos agropecuarios sobre la diversidad de especies y las interacciones mutualistas murciélagos-plantas en esas áreas transformadas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Acevedo M, González J (2019). Red de interacciones entre plantas y aves del género tangara (Passeriformes thraupidae) presentes en el parque natural los tunos, San Antonio del Tequendama, Cundinamarca-Colombia. Trabajo de grado.
- Acevedo-Quintero JF, Zamora-Abrego JG, García D (2020). From structure to function in mutualistic interaction networks: Topologically important frugivores have greater potential as seed dispersers. *The Journal of Animal Ecology*: 10.1111 / 1365-2656.13273.
- Almeida-Neto M, Ulrich W (2011). A straightforward computational approach for measuring nestedness using quantitative matrices. *Environ. Model. Software* 26: 173–178.

- Aroca A, González L, Hurtado M, Murillo O (2016). Preferencia en la dieta de murciélagos frugívoros (Phyllostomidae) en un fragmento de bosque seco tropical. *Revista de ciencia*, 20(2): 139-146.
- Ballesteros, J.; Racero, J. & Núñez, M. 2007. Diversidad de murciélagos en cuatro localidades de la zona costanera del departamento de Córdoba Colombia. *Rev.MVZ Córdoba* 12(2): 1013-1019.
- Ballesteros J (2015). Efecto del manejo Silvopastoril y convencional de ganadería extensiva sobre el ensamblaje de murciélagos asociados a fragmentos de bosque seco tropical en Córdoba, Colombia. [Tesis doctoral]. [Bogotá]: Pontificia Universidad Javeriana. URL: <http://hdl.handle.net/10554/19650>
- Bascompte J, Jordano P. (2006). The structure of plant-animal mutualistic networks. *Ecological networks*. p. 143-159.
- Bascompte J, Jordano P, Melián CJ, Olesen JM (2003). The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (16): 9383-9387.
- Bascompte J, Jordano P (2014). *Mutualistic networks*. Princeton University Press. New Jersey, United States. 206 pp.
- Castaño JH, Carranza JA, é-Torres J (2020). Bat-fruit networks structure resist habitat modification but species roles change in the most transformed habitats. *Acta Oecologica*, 105: 103550.
- Castaño JH (2009). Murciélagos frugívoros y plantas quiropterocoras: descubriéndola estructura de sus interacciones-caducifolia. Universidad de Los Andes.
- Collinge SK (2009). *Ecology of fragmented landscapes: Foreword by Forman RT*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press. Volume 16, number 2.
- Dormann CF, Fründ J, Blüthgen N, Gruber B (2009) Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. *The Open Ecology Journal* 2: 7-24.
- Dormann CF, Strauss R (2014). A method for detecting modules in quantitative bipartite networks. - *Methods Ecol. Evol.* 5: 90–98.
- Faria DM (1995). Os morcegos da Santa Genébra, p. 100-106. In: P.L.C. Morellato y H.F. Leitão-Filho (Eds). *Ecologia e Preservação de uma floresta tropical urbana*. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 136 pp.
- Fleming TH (1986). Opportunism versus specialization: evolution of feeding strategies in frugivorous bats, p. 105-118. In: Estrada A. and T.H. FLEMING (Eds). *Frugivores and seed dispersal*. Dordrecht, W. Junk Publisher, XIII+392 pp.
- Fleming TH (1988). *The short-tailed fruit bat*. The University of Chicago, Chicago, Illinois, USA. 365p.
- Flores J, Ortega J, Ibarra-Manríquez G (2000). El hábito alimentario del murciélago zapotero (*Artibeus jamaicensis*) en Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología*. 4: 22-39.
- Galindo-González J, Guevara S, Sosa VJ (2000). Bat-and bird-generated seed rains at isolated trees in pastures in a tropical rainforest. *Conserv. Biol.* 14:1693–1703.
- García D, Donoso I, Rodríguez-Pérez J (2018). Frugivore biodiversity and complementarity in interaction networks enhance landscape-scale seed dispersal function. *Functional Ecology*, 32(12): 2742–2752.
- García H, Corzo G, Isaacs P, Etter A (2014). Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de bosque seco tropical en Colombia: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. p. 228–251.

- González-M R, García H, Isaacs P, Cuadros H, López-Camacho R, Rodríguez N, Pérez K, Mi-jares F, Castaño-Naranjo A, Jurado R, Idarra-ga-Piedrahíta A, Rojas A, Vergara H, Pizano C (2018). Disentangling the environmental heterogeneity, floristic distinctiveness and current threats of tropical dry forests in Colombia. *Environmental Research Letters*, 13(045007).
- Greig N (1993a). Predispersal seed predation on five species of co-occurring *Piper* in tropical rainforest. *Oecologia* 93: 412-420.
- Greig N (1993b). Regeneration mode in neotropical *Piper*: habitat and species comparisons. *Ecology* 74: 2125-2135.
- Hammel BE (1986a). The vascular flora of La Selva Biological Station, Costa Rica-Cecropiaceae. *Selbyana* 9: 192-195.
- Hammel BE (1986b). The vascular flora of La Selva Biological Station, Costa Rica-Moraceae. *Selbyana* 9: 243-259.
- Kaiser-Bunbury CN, Bluthgen N (2015). Integrating network ecology with applied conservation: a synthesis and guide to implementation. *AoB Plants* 7: plv076; doi:10.1093/aobpla/plv076.
- Kunz TH, Díaz CA (1995). Folivory in fruit-eaten bat with new evidence from *Artibeus jamaicensis* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Biotropica*, 27: 106-120 pp.
- Kunz TH, Ingalls KA (1994). Folivory in bats: An adaptation derived from frugivory. *Functional Ecology*, 8: 665-668.
- Laval RK, Rodríguez-H B (2002). *Murciélagos de Costa Rica*. Editorial INBio. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica, 320 pp.
- Loayza AP, Ríos RS, Larrea-Alcazar DM (2006). Disponibilidad de recurso y dieta de murciélagos frugívoros en la Estación Biológica Tunquini, Bolivia. *Ecología en Bolivia* 41:7-23
- Marinho-Filho J (1992). Mamíferos da Serra do Japi, p. 264-286. In: L.P.C. Morellato (Ed.). *História natural da Serra do Japi*. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 321 pp.
- Mello MAR, Rodríguez FA, Costa LDF, Kissling WD, Şekerciöglu ÇH, Marquitti FMD, Kalko EKV (2015). Keystone species in seed dispersal networks are mainly determined by dietary specialization. *Oikos*, 124(8): 1031–1039.
- Mello MAR, Marquitti FMD, Guimarães (Jr.) PR, Kalko EKV, Jordano P, Aguiar, M.A.M. (2011). The modularity of seed dispersal: differences in structure and robustness between bat– and bird–fruit networks. *Oecologia*, 167:131– 140.
- Montoya S, Rojas V, Torres A (2016). Interactions between frugivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) and *Piper tuberculatum* (Piperaceae) in a tropical dry forest in Valle del Cauca, Colombia. *Biologia tropical*, 64 (2): 701-713.
- Montoya-Arango S, Acevedo-Quintero JF, Parra JL (2019). Abundance and size of birds determine the position of the species in plant-frugivore interaction networks in fragmented forests. *Community Ecology*, 20(1): 75–82.
- Mora-Beltrán C, López-Arévalo HF (2018). Interactions between bats and floral resources in a premontane forest, Valle del Cauca, Colombia. *Therya*, 9(2): 129-136.
- Nielsen A, Bascompte J (2007). Ecological networks, nestedness and sampling effort. *Journal of Ecology*, 95: 1134–1141.
- Palacio RD (2014). Estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y aves frugívoras en el bosque nublado de san antonio -km 18, valle del cauca Trabajo de Grado



- Palacio RD, Valderrama-Ardila C, Kattan GH (2016). Generalist Species Have a Central Role In a Highly Diverse Plant–Frugivore Network. *Biotropica* 48(3):349-355.
- Pizano C, García H (2014). El Bosque Seco Tropical en Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, DC, Colombia. Pp.
- Pizano, C., González-M, R., López, R., Jurado, R.D., Cuadros, H., Castaño-Naranjos, A., Rojas, A., Pérez, K., Vergara-Varela, H., Idarraga, A. y García, H. (2016). El bosque seco tropical en Colombia: distribución y estado de conservación. *Biodiversidad 2015. Estado y tendencias de la bio-diversidad continental de Colombia*. Bogotá: Instituto Alexander von Humboldt.
- Proulx SR, Promislow DEL, Phillips PC (2005). Network thinking in ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(6):345-353.
- Ríos-Blanco MC, Pérez-Torres J (2015). Dieta de las especies dominantes del ensamblaje de murciélagos frugívoros en un bosque seco tropical (Colombia) *Mastozoología Neotropical*, 22(1):103-111.
- Rodríguez-Herrera B, Tschapka M (2005). Tent use by *Vampyriscus nymphaea* (Chiroptera: Phyllostomidae) in *Cecropia insignis* (Moraceae) in Costa Rica. *Acta Chiropterologica*, 7:171-174.
- Soares R, Ferreira A, Lopez L (2017). Can plant-pollinator network metrics indicate environmental quality. *Ecological Indicators*, 78:361-370.
- Sobral M, Magrach A (2019). Restaurando la funcionalidad de los ecosistemas: la importancia de las interacciones entre especies. *Ecosistemas*, 28(2):4-10. Doi.: 10.7818/ECOS.1737
- Suárez-Castro AF, Montenegro OL (2015). Consumo de plantas pioneras por murciélagos frugívoros en una localidad de la Orinoquía Colombiana. *Mastozoología neotropical*, 22(1):125-139.
- Tylianakis JM, Laliberte E, Nielsen A, Bascomte J (2010). Conservation of species interaction networks. *Biol. Conserv.* 143:2270-2279.
- Tylianakis JM, Morris RJ (2017). Ecological Networks Across Environmental Gradients. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 48:25-48.
- Valiente-Banuet A, AizenMA, Alcántara JM, Arroyo J, Cocucci A, Galetti M, García MB, García D, Gómez JM, Jordano J, Medel R, Navarro L, Obeso JR, Oviedo R, Ramírez N, Rey PJ, Traveset A, Verdú M, Zamora R (2015). Beyond species loss: the extinction of ecological interactions in a changing world. *Functional Ecology* (29):299-307; doi:10.1111/1365-2435.12356.
- Vázquez DP, Blüthgen N, Cagnolo L, Chacoff NP (2009). Uniting pattern and process in plant-animal mutualistic networks: a review. *Annals of Botany*, 103(9):1445-1457. Doi: [10.1093/aob/mcp057](https://doi.org/10.1093/aob/mcp057)
- Velásquez T, Murillo O (2019). Influence of bat morphology on structural properties of a plant-frugivore network, *Mastozoología Neotropical*, 26(2):440-451
- Zapata M, Bustamante S, García O (2017). Temporal variation in bat-fruit interactions: Foraging strategies influence network structure over time. *Acta Oecologica*, 85: 9-17.