

**¿Hospedero o altitud?: Análisis ecológico de redes de artrópodos asociados a semillas de leguminosas en un bosque seco tropical colombiano**



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Bogotá

**Mariana Camacho Erazo**

Trabajo de Grado para optar por el título de Ecóloga

**Ángela R. Amarillo-Suarez, Ph-D**

Directora del Trabajo de Grado

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES**  
**CARRERA DE ECOLOGÍA**  
**BOGOTÁ, D.C.**

**2017**

## *Dedicatoria*

A mi mamá, por su amor y apoyo incondicional.

A mi abuelo, ejemplo de superación y fortaleza.

## **Agradecimientos**

A Dios y la Virgen, gracias a ellos este sueño se realizó.

A mi mamá, Patricia Erazo por ser la fuerza, el motor y el apoyo en este camino.

A mi abuelo, Campo Eraso por su apoyo moral y financiero, quién me enseñó que a pesar de todos los obstáculos se pueden cumplir los sueños.

A la profesora Ángela Amarillo por sus enseñanzas, apoyo y cariño, gracias por ser como una mamá en todo este proceso.

A Carlos Sarmiento, Carlos Ancizar y Fernando Fernández por la ayuda en la identificación taxonómica.

A Santiago Bustamante por su ayuda en la colecta de insectos.

A Juan Felipe Suarez, Juan Sebastián Páez, Juan Sebastián Delgado y Juan Sebastián Cortes por sus consejos y todo su apoyo durante esta etapa.

## **¿Hospedero o altitud?: Análisis ecológico de redes de artrópodos asociados a semillas de leguminosas en un bosque seco tropical colombiano**

### **Pregunta de investigación:**

¿Cómo varía la estructura topológica de redes ecológicas y riqueza de escarabajos brúquidos y sus enemigos naturales asociados a semillas de diferentes leguminosas (exótica y nativa) y en diferente elevación en Bs-T colombiano?

### **Preguntas específicas:**

- ¿Cómo varía la composición de morfo especies de escarabajos brúquidos y sus enemigos naturales asociados a semillas de diferentes leguminosas y en diferente elevación en Bs-T colombiano?
- ¿Cómo varía la diversidad de morfo especies y gremios tróficos asociados a asociados a semillas de diferentes leguminosas y en diferente elevación en Bs-T colombiano?
- ¿Cómo varía la estructura topológica de redes ecológicas de los escarabajos brúquidos y sus enemigos naturales asociados a semillas de diferentes leguminosas y en diferente elevación en Bs-T colombiano?

### **Objetivo general:**

- Analizar y comparar la variación de la estructura topológica de redes ecológicas y riqueza de escarabajos brúquidos y sus enemigos naturales asociados a semillas de diferentes leguminosas (exótica y nativa) y en diferente elevación en Bs-T colombiano

### **Objetivos específicos:**

- Caracterizar la composición de las morfoespecies de escarabajos brúquidos, sus enemigos naturales y competidores asociados a semillas de diferentes leguminosas (exótica y nativa) y en diferente elevación en Bs-T colombiano
- Comparar la diversidad de gremios tróficos asociados a semillas de diferentes leguminosas (exótica y nativa) y en diferente elevación en Bs-T colombiano
- Comparar la variación de la estructura topológica de las redes de escarabajos brúquidos, sus enemigos naturales y competidores asociados a semillas de diferentes leguminosas (exótica y nativa) y en diferente elevación en Bs-T colombiano

## ***Tabla de Contenido***

1. Manuscrito
2. Anexos
  - 2.1 Marco teórico y antecedentes
  - 2.2 Área de estudio
  - 2.3 Materiales y métodos
  - 2.4 Referencias citadas
3. Lineamientos de publicación según Journal of Arid Environments

# ***1.MANUSCRITO***

# ¿HOSPEDERO O ALTITUD?: ANÁLISIS ECOLÓGICO DE REDES DE ARTRÓPODOS ASOCIADOS A SEMILLAS DE LEGUMINOSAS EN UN BOSQUE SECO TROPICAL COLOMBIANO

## HOST OR ALTITUDE? ECOLOGICAL ANALYSIS OF ARTHROPOD NETWORKS ASSOCIATED WITH LEGUME SEEDS IN A DRY TROPICAL COLOMBIAN FOREST

Mariana Camacho-Erazo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Carrera de Ecología. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de estudios ambientales y rurales.

Transv.4° No.42- 00. Edificio J. Rafael Arboleda. Piso 8. Bogotá, Colombia

[marianacamachoerazo@gmail.com](mailto:marianacamachoerazo@gmail.com)

### Resumen

Las interacciones insecto-planta son la base de los ecosistemas. Estas interacciones pueden variar entre plantas hospederas en la misma altitud o entre altitudes en la misma especie. Este es el primer estudio que compara las redes ecológicas de artrópodos asociados a semillas de leguminosas y su riqueza en función de diferentes hospederos y altitudes en Bs-T en Colombia. Comparamos las redes ecológicas de artrópodos y la riqueza de morfoespecies asociados a semillas de tres especies de leguminosas (dos nativas *P. dulce* y *P. saman* y una exótica: *L. leucocephala*) en un sector de Bs-T colombiano, cuando comparten la misma altitud y cuando están a diferentes altitudes. Encontramos que el hospedero exótico (*L. leucocephala*) posee una mayor riqueza de morfoespecies que *P. saman* y *P. dulce* en la misma localidad, la red general de insectos asociados a las tres leguminosas tuvo baja densidad. La riqueza de morfoespecies en *P. guachapele*, se obtuvo un 50% más de especies a menor altitud que a mayor. Sin embargo, la cantidad de gremios tróficos fue la misma en las dos altitudes su red ecológica se obtuvo alta densidad, pero bajo anidamiento. Comparando la riqueza de *L. leucocephala* a diferentes altitudes se obtuvo un 60% más de especies a menor altitud que a mayor; los gremios tróficos también disminuyeron a medida que aumentaba la latitud. Es decir, el cambio en la riqueza y la estructura de las redes de morfoespecies de artrópodos depende más del tipo de hospedero que de la altitud a la que se encuentren.

**Palabras clave:** brúquidos, parasitoides, redes ecológicas, altitud, hospedero, especie exótica.

### Abstract

Insect-plant interactions are the basis of ecosystems. These interactions can vary between host plants at the same altitude or between altitudes in the same species. This is the first study that compares the ecological networks of arthropods associated with legume seeds and their richness as a function of different hosts and altitudes in Bs-T in Colombia. We compared the ecological networks of arthropods and the richness of morphospecies associated with seeds of three legume species (two native *P. dulce* and

*P. saman* and one exotic: *L. leucocephala*) in a sector of Colombian Bs-T, when they share the same Altitude and when they are at different altitudes. We found that the exotic host (*L. leucocephala*) has a greater richness of morphospecies than *P. saman* and *P. dulce* in the same locality, the general network of insects associated to the three legumes had low density. The richness of morphospecies in *P. guachapele*, 50% more species were obtained at lower altitudes than higher. However, the number of trophic guilds was the same at both altitudes their ecological network was obtained high density but low nesting. Comparing *L. leucocephala* richness at different altitudes, 60% more species were obtained at lower altitudes than at higher altitudes; The trophic guilds also declined as the latitude increased. That is, the change in the richness and structure of arthropod morphospecies networks depends more on the type of host than on the altitude at which they are found.

**Key words:** Bruchids, parasitoids, ecological networks, altitude, host and exotic species.



## ***1. Introducción***

Las interacciones entre especies son los ladrillos sobre los que se construyen las diferentes dinámicas ecosistémicas (Darwin, 1859). Específicamente, las interacciones planta-animal representan la base de los ecosistemas, cumpliendo así un papel fundamental en la estructura de la biodiversidad (Ehrlich & Raven, 1964). Es por esto que no se podrá comprender el funcionamiento de comunidades o ecosistemas centrándose en el estudio aislado de las especies (Jordano & Bascompte, 2013; Medel, Aizen, & Zamora, 2009). Cambios en la abundancia y riqueza de las especies pueden alterar la presencia e intensidad de las interacciones planta-animal generando efectos en cascada en el funcionamiento de los ecosistemas (Barbour et al., 2016; Ings et al., 2009).

Dentro de las interacciones planta-animal, la más abundante es la que se da entre insectos y plantas, existiendo relaciones benéficas como polinizador-planta o antagonistas como herbívoro-planta. Entre ellas, la herbivoría que es la base de las cadenas tróficas, dado que afecta la cantidad de energía que llegará a los niveles superiores a través de procesos como depredación y parasitismo (Cebrian, 2004; Lehndal & Agren, 2015).

Existen diversas formas de herbivoría, tales como los fitófagos y xilófagos. Específicamente, los comedores de semillas son considerados uno de los agentes que más impacto tiene en la supervivencia de las plantas (Hulme & Kollmann, 2005; Nakagawa, Takeuchi, Kenta, & Nakashizuka, 2005; Nurse, Booth, & Swanton, 2003). A través del consumo, estos organismos reducen significativamente la cantidad de semillas producidas por las plantas así como su calidad y germinación (Johnson et al., 2004; Louda, Potvin, & Collinge, 1990). Sin embargo, en el caso de la asociación brúquido-leguminosa se ha encontrado que estos escarabajos en ocasiones cumplen un rol fundamental en el proceso de germinación de las semillas, al incrementar su viabilidad a través de la escarificación mecánica, dado que los insectos que se desarrollan en las semillas dejan después de su emergencia orificios que facilitan la entrada de agua (Fox, Bush, & Messina, 2010; A.M. Sanabria-Silva & Amarillo-Suárez, 2017).

Los escarabajos brúquidos son a su vez, parasitados por avispas ejerciendo una forma de control “Top-Down” de la herbivoría (Amarillo-Suarez, 2010). Es decir, los enemigos naturales como depredadores y parasitoides son los principales entes que controlan la diversidad y abundancia de las poblaciones. Esta interacción planta-brúquido-parasitoide conforma una red ecológica a la que se le suman otros gremios tróficos como los depredadores, y descomponedores, entre otros.

De otra parte, procesos de transformación antrópica como la fragmentación y la pérdida de hábitat pueden alterar la estructura de las redes ecológicas como resultado entre otros de la pérdida de especies o la introducción de especies exóticas que generan impactos negativos en las especies nativas (Clavero & Garcia-Berthou., 2005), por ejemplo al volverse invasoras (Richardson et al., 2000). Para que una especie exótica pueda colonizar un ecosistema, sobrevivir y reproducirse debe superar condiciones tanto bióticas como abióticas que también regulan a las especies nativas (Mitchell-Olds & Schmitt, 2006). Una vez naturalizada, la especie exótica establece interacciones con especies nativas integrándose y en consecuencia transformando las redes ecológicas preestablecidas (Medel et al., 2009). Esta unión puede tener efectos considerables en la estructura y composición de las comunidades ya que se generan

interacciones que alteran los procesos ya conformados (Heard & Sax, 2013; Seabloom, Harpole, Reichman, & Tilman, 2003).

De esta manera, las especies exóticas además de reclutar comedores de semillas nativos, desvían polinizadores nativos de las plantas nativas, favorecen el aumento de la tasa de herbivoría en las especies de plantas nativas y generan competencia y presión a las especies locales (Didham, Tylianakis, Gemmill, Rand, & Ewers, 2007; Torchin & Mitchell, 2004). Lo anterior puede propiciar cambios en el uso de hospedero de las especies nativas quienes encuentran en la especie exótica recursos de mejor calidad (Harrington, Thorpe, & Alfenas, 2011)

De otra parte, en el caso de especies con distribución amplia, cambios en la elevación pueden modificar las redes tróficas no solamente en plantas que comparten la misma altitud, sino en plantas de la misma especie ubicadas a lo largo de un gradiente altitudinal (Brehm & Fiedler, 2003; Kessler, Kluge, Hemp, & Ohlemüller, 2011; Maunsell, Kitching, Burwell, & Morris, 2015). Gremios tróficos tales como el de los parasitoides y herbívoros disminuyen su riqueza con el aumento de la altitud (Maunsell et al., 2015; Olesen & Jordano, 2002; Van Nouhuys & Lei, 2004), disminuyendo también la conectividad de las redes de interacción (Hance, van Baaren, Vernon, & Boivin, 2007; Olesen & Jordano, 2002). Sin embargo, existen pocos estudios que demuestren como cambian las interacciones insecto-planta-enemigo natural con la altitud y en que difieren cuando los cambios involucran especies exóticas y nativas.

Una de las mejores maneras de comprender estas interacciones y su variación es mediante el análisis de redes complejas. En ellas, la red de interacciones está conformada por un conjunto de nodos conectados por líneas. Los nodos representan las especies y las líneas, las conexiones entre las especies. Existen entonces varios tipos de redes de interacción como las mutualistas, tróficas, de ecosistemas, entre otras (Medel et al., 2009; Solé & Montoya, 2001). Estudios como los de Bascompte & Jordano (2007) Hagen et al. (2012), Maunsell et al. (2015), Sanabria & Amarillo (2017) muestran que las redes ecológicas cambian en función de las perturbaciones antrópicas y las diferentes dinámicas ecosistémicas, como la invasión de especies exóticas, cambios en la altitud y hospedero. El análisis ecológico de redes permite evaluar la magnitud, importancia y variación de las relaciones en un ecosistema producidas por las alteraciones antes descritas (Montoya et al., 2006) e inmersas en un ecosistema como el bosque seco tropical (Bs-T) que es altamente vulnerable a procesos de transformación, colonización y de introducción de especies exóticas (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005; Miles et al., 2006).

Este estudio comparó los cambios producidos por el origen del hospedero (nativo o exótico) en las redes ecológicas de artrópodos y la riqueza de morfoespecies y gremios tróficos asociados a semillas de tres especies de leguminosas (dos nativas: *P. dulce* y *P. saman* y una exótica: *L. leucocephala*) en un sector de Bosque Seco Tropical colombiano. Además, comparó la estructura topológica de las redes de artrópodos y la riqueza de morfo especies asociadas a las semillas estas mismas especies en altitudes diferentes.

## 2. *Materiales y métodos*

### 2.2 *Especies de estudio*

***Pseudosamanea guachapele* (Kunth.):** especie nativa, de la familia Mimosaceae. Alcanza los 25 metros de altura y un metro de diámetro. Su copa es amplia en forma de parasol, con semillas blancas, duras, con alrededor de 10 mm de largo y cinco de ancho (Geilfus, 1989). Habita en regiones templadas y cálidas. En Colombia se distribuye en el Valle de los ríos Magdalena y Cauca, la costa Atlántica y en las cuencas hidrográficas de los ríos Orinoco y Catatumbo entre los 0 y 1500 msnm (Car,2004). Se le ha encontrado en ecosistemas de Bosque Seco Tropical, Bosque Húmedo Tropical y Bosque Húmedo pre Montano. Generalmente su madera es usada como leña. Esta especie también es usada para brindar sombrío a cultivos, como el cacao, el café y al ganado. Es ideal para procesos de restauración en bosques maduros (CorAntioquia, 2008). En este estudio se colectaron semillas a 370 msnm y a 850 msnm.

***Pithecellobium dulce* (Benth.):** Especie nativa, de la familia Mimosaceae. Alcanza los 20 metros de altura y 75 cm de diámetro. Su copa tiene forma de parasol, con semillas negras, brillantes y aplanadas y alargadas, con alrededor de 9.2 mm de largo, 5.7 mm de ancho. Estas semillas se encuentran rodeadas de una pulpa dulce, pegajosa y comestible (CorAntioquia,2008). En Colombia se encuentra en zonas cálidas, por las franjas del río Magdalena, habita entre los 0 y 1500 msnm en ecosistemas como Bosque Seco Tropical y Bosque Húmedo Tropical (Car, 2004). Es un importante pionero de restauración para los bosques maduros. Es usado para dar sombra en lugares abiertos, en algunos casos los campesinos utilizan el residuo de las semillas para alimentar a los animales, también se utiliza para crear cercas vivas. En este estudio se colectaron semillas a 320 msnm.

***Pseudosamanea saman* (Jacq.):** Especie nativa, de la familia Mimosaceae. Alcanza los 25 m de altura y aproximadamente un metro de diámetro, su copa tiene forma un parasol amplio y más ancho que la misma altura del árbol, con semillas de 15 cm de largo por 1 cm de ancho, de forma aplanada y de color café rojizo (Alvear,et al. , 2013). En Colombia habita entre los 0 y 1200 msnm, en el Valle del río Magdalena, en ecosistemas como Bosque Seco Tropical y Bosque Húmedo Tropical. Sus frutos son usados para alimentar el ganado, su madera se utiliza en la elaboración de carbón (Car, 2004). En este estudio se colectaron semillas a 320 msnm.

***Leucaena leucocaphala* (Lam.):** Especie exótica, de la familia Mimosaceae. Alcanza los 15 m de altura y cerca de 30 cm de diámetro, con semillas de ocho mm de largo por cinco mm de ancho, de color marrón (Zarate,1987). En Colombia se encuentra en zonas cálidas y templadas, su distribución va entre los cero y 1300 msnm en ecosistemas como Bosque Seco Tropical y Bosque Húmedo Tropical siendo una especie exótica proveniente de Centroamérica empleada en la recuperación de suelos y control de erosión; también se utiliza como sombrío y cerca viva (CAR, 2004). Es considerada una de las 100 especies exóticas invasoras más nocivas en el mundo (Lowe S., Browne M., Boudjelas S., 2004). En Colombia es usada para dar sombrío al ganado y como cerca viva. En este estudio se colectaron sus semillas a 320 y 600 msnm.

## **2.2 Área de estudio**

En el departamento del Tolima, sobre la vía Melgar-El Espinal, a los 4°15'06''N y 74°44'56''O, a 320 msnm, se colectaron semillas de *P. dulce*, *P. saman* y *L. leucocephala* en un pastizal arbolado de 17.40 ha que se emplea para cuidado de ganado vacuno. Las dos primeras especies se encontraron dispersas al interior del pastizal y la última como cerca viva en uno de los costados.

Con el fin de comparar la artropofauna asociada a las semillas de *P. guachapele* y *L. leucocephala* en diferentes altitudes, se colectaron semillas de la siguiente forma: en la pastura arbolada anteriormente mencionada se colectaron semillas de *L. leucocephala*; La segunda altitud en donde también se colectó *L. leucocephala* está ubicada a en 4°15'15''N y 74°31'25''O a 600 msnm; Para el caso de *P. guachapele*, se colectaron semillas a dos altitudes: la primera a los 4°15'27''N y 74°37'5''O a 370 msnm en una plantación abandonada y la segunda estaba ubicada a los 4°15'38''N y 74°31'52''O a 850 msnm en donde la especie se emplea como cerca viva. Todas las colectas se realizaron en abril de 2015, que corresponde al final de la época seca que es cuando se encuentra la mayor cantidad de frutos maduros.

## **2.3 Muestreo:**

Cada árbol se seleccionó según disponibilidad de semillas. Por cada árbol de cada especie se seleccionaron ramas que tenían vainas maduras, de cada punto cardinal. Las vainas colectadas se dispusieron en bolsas plásticas con cierre hermético con capacidad de un galón Se llenaron como mínimo tres bolsas por especie que fueron transportadas al Laboratorio de Ecología Evolutiva y Conservación de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

## **2.4 Diversidad de artrópodos asociados a las semillas**

Una vez en el laboratorio, se extrajeron todas las semillas y se depositaron en recipientes. Cada 24 horas se revisaron en búsqueda de los artrópodos emergentes almacenándolos en frascos con alcohol al 96%. Todos los individuos se identificaron al nivel taxonómico más bajo posible empleando las claves y libros de Borror & White (1970), White (1983) y Fernandez & Sharkey (2006).

Finalmente, se realizó una lista de las especies con su respectivo gremio trófico y altitud. Los gremios tróficos se asignaron con base en las categorías propuestas por Chará-Serna et al. (2012) adaptado para este estudio y corresponden a: granívoro, parasitoide, depredador, descomponedor, herbívoro, omnívoro y xilófago.

## **2.5 Análisis de datos**

Con el fin de comparar los cambios producidos en la estructura de las redes y la riqueza de artrópodos entre hospederos (nativo o exótico), entre leguminosas en la misma localidad, se calculó la riqueza específica de morfoespecies y el número de morfoespecies de cada gremio trófico por cada especie de leguminosa. Adicionalmente, se realizó una red ecológica para cada especie de leguminosa y una red que combinó las tres especies de leguminosas en una misma área. Para determinar si existían diferencias significativas entre las comunidades de especies de artrópodos de cada leguminosa se realizó una prueba de chi cuadrado.

Para comparar los cambios producidos por la altitud entre leguminosas de la misma especie, se emplearon los mismos análisis que para comparar la variación entre especies en la misma localidad.

Se realizaron dos tipos de redes: la primera unipartita no dirigida en la cual se evidencian las asociaciones de las tres especies de leguminosas con las morfo especies diferenciadas por gremio trófico. La segunda es una red bipartita que muestra la asociación de las tres especies de leguminosas con sus artrópodos. Las mismas redes se generaron para establecer comparaciones entre las leguminosas en la misma localidad, y entre altitudes diferentes.

Se analizaron los siguientes índices topológicos: densidad, que muestra la relación entre las interacciones de la red y el número de vínculos posibles. Este índice se mide de 0 a 100% siendo 0 poca densidad y 100% alta densidad (Delmas et al., 2017; Velázquez Álvarez & Aguilar Gallegos, 2005); centralidad total, que determina el grado de dependencia de la red hacia una especie (S. P. Borgatti, 2005); anidamiento, que es una medida del nivel de la compartimentalización de la red (Barbour et al., 2016; Ings et al., 2009; Jordano & Bascompte, 2013); conectancia, definida como la proporción de interacciones posibles en la red (Harvey, Colwell, Silvertown, & May, 1983; Ings et al., 2009); generalidad, que es el número promedio de enlaces por morfoespecie de artrópodo y vulnerabilidad que es el número promedio de enlaces por especie de leguminosa (Maunsell et al., 2015).

Estos análisis se realizaron con los programas UCINET (Borgatti, Stephen P. , Everett, Martin G., Johnson, 2012). Para la visualización de las redes se empleó Net Draw (S. Borgatti & Everett, 1997) (Borgatti, S.P.2002), Pajek (Nooy, Mrvar & Batagelj, 2005) y R Studio (R Development Core Team, 2011) con el paquete Bipartite (Dormann, Gruber, & Fründ, 2008).

Para establecer la diversidad beta de las especies de leguminosas a diferentes altitudes se realizó un índice similaridad de Bray-Curtis entre *L. leucocephala* en 370 y 600 msnm y *P. guachapele* en 320 y 850 msnm. Este análisis se realizó con el programa PAST (Hammer & Harper, 2006). El mismo análisis se empleó para establecer la diversidad beta de especies en la misma cobertura.

### **3. Resultados**

En total se colectaron 50 morfoespecies de 11 órdenes pertenecientes a 7 gremios tróficos (Tabla 1.)

#### ***3.1 Diversidad y redes ecológicas de artrópodos asociados a las semillas de la especie exótica y las nativas en la misma localidad.***

Se encontró que el hospedero exótico (*L. leucocephala*) posee una mayor riqueza de morfoespecies de artrópodos con 16 morfoespecies seguido por 14 en *P. saman* y finalmente cinco en *P. dulce*. Al comparar gremios tróficos fue también *L. leucocephala* la especie que más gremios tróficos presentó (siete), seguida de *P. saman* con seis y *P. dulce* con cinco. El gremio que más morfoespecies presentó en esta altitud fue el de los parasitoides con siete y los que menos fueron el de los herbívoros y los descomponedores, los dos con una morfoespecie (Tabla 2.). A pesar del bajo número de morfoespecies encontradas en *P. dulce*, se realizó un chi cuadrado entre las comunidades de artrópodos asociados a las leguminosas *L. leucocephala*, *P. saman* y *P. dulce* que indicó que no hay diferencias significativas entre las tres comunidades de artrópodos ( $P > 0.05$ )

Para el caso de las redes ecológicas generadas para esta localidad se obtuvo una red general de baja densidad, con 35 morfoespecies y 7 gremios tróficos (Fig. 2), de anidamiento y conectancia baja (Fig. 3; Tabla 3). En esta red se muestran las 4 morfoespecies de artrópodos compartidas por la especie exótica *L. leucocephala* y la nativa *P. saman* (Phlaeothripidae mf1, *Merobruchus columbinus*, Ichneumonidae mf1 y *Acanthoscelides macrophthalmus*) y *Chryseida sp* presente en las tres especies (Fig.3).

En relación con la diversidad beta se realizó un índice de similaridad de Bray-Curtis donde se obtuvo que las comunidades de artrópodos asociados a semillas de *L. leucocephala* (exótica) y *P. saman* (especie nativa) tienen una similitud del 40%, mientras que *P. dulce* fue la que menor similitud presentó (Fig. 1a). Esto muestra la comunidad de artrópodos asociada a semillas de *P. dulce* es la más diferente frente a las otras, esto puede deberse a su menor número de artrópodos asociados.

### **3.2. Diversidad y redes ecológicas de artrópodos asociados a las semillas de la especie exótica y la nativa a diferentes altitudes.**

Al comparar la riqueza de morfoespecies en *P. guachapele*, se obtuvo un 50% más de especies a menor altitud (370 msnm) que a mayor (850 msnm). Sin embargo, la cantidad de gremios tróficos fue la misma en las dos altitudes (seis) (Tabla 4), siendo los depredadores el gremio que más morfoespecies obtuvo y los xilófagos que menos morfoespecies presentaron. Todos los gremios tróficos redujeron su riqueza de morfoespecies a medida que aumentó la altitud, excepto los herbívoros que aumentaron. (Tabla 2)

Por otra parte, al comparar la riqueza de *L. leucocephala* a diferentes altitudes se obtuvo un 60% más de especies a menor altitud (320 msnm) que a mayor (850 msnm) (Tabla 4). Así mismo, los gremios tróficos también disminuyeron a medida que aumentaba la altitud. Todos los gremios tróficos redujeron su riqueza de morfoespecies a medida que aumentaba la altitud, excepto los xilófagos que aumentaron (Tabla 2).

Para las redes ecológicas de *P. guachapele* a diferentes altitudes (370 y 850 msnm) se obtuvo una red general de alta densidad, siendo del 60% con 40 morfoespecies y siete gremios tróficos (Fig. 4); su anidamiento fue de 3.75 (Fig. 5) y su conectancia de 0.062 (Tabla 3). En esta red se muestran las siete morfoespecies presentes en ambas altitudes (*Stenocorse sp2*, Polyphagidae mf1, Coccinellidae mf1, *Horismenus sp*, *Acanthoscelides macrophthalmus*, Salticidae mf1 y *Stator limbatus*) (Fig.4). Su generalidad fue de 2.12, su vulnerabilidad de 1.35 y su centralidad total fue de 12.04 (Fig. 5; Tabla 3).

Las redes ecológicas generadas para *L. leucocephala* se formaron combinando las morfoespecies de las dos altitudes (320 y 600 msnm) obteniendo una densidad de 65% con 25 morfoespecies y 7 gremios tróficos (Fig. 6); su anidamiento fue de 23.60 (Fig. 7) y su conectancia de 0.65 (Tabla 3). En esta red se muestran las 6 morfoespecies presentes en ambas altitudes (*Chryseida sp*, *Heterospilus sp*, *Horismenus sp*, *Acanthoscelides macrophthalmus*, Salticidae mf1 y Phlaeothripidae mf1) (Fig.6). Su generalidad fue de 1.48, su vulnerabilidad de 13.48 y su centralidad total fue de 7.52 (Tabla 4).

Con relación a la diversidad beta de las comunidades de artrópodos asociados a semillas de las cuatro altitudes (320, 370, 600 y 850 msnm) se realizó un índice de similaridad de Bray-Curtis donde se encontró que existe una mayor similaridad (50%) entre las comunidades de artrópodos de la misma

especie de leguminosa (*L. leucocephala*) comparado con las comunidades de artrópodos de altitud similar (Fig. 1b).

#### 4. *Discusión*

Este es el primer estudio que compara las redes ecológicas de artrópodos asociados a semillas de leguminosas y su riqueza en función de diferentes hospederos y diferentes altitudes en Bosque Seco Tropical en Colombia.

En este estudio la especie exótica, *L. leucocephala* en la altitud 320 fue la leguminosa que más asociaciones con morfoespecies de artrópodos presentó; es decir, que su proceso de colonización fue exitoso. Esto concuerda con los resultados expuestos por Amarillo & Sanabria (2017) que encontraron el mismo número de especies asociadas a esta especie de leguminosa, con la diferencia que encontraron cinco gremios tróficos, siendo los omnívoros y los xilófagos los gremios diferentes. Sin embargo, a pesar de ser la leguminosa que más morfoespecies presentó su red ecológica es igual de densa que las de *P. dulce* y *P. saman*.

En cuanto a las redes ecológicas de esta altitud, se obtuvieron un total 35 morfoespecies asociadas a las tres leguminosas: 16 asociadas a *L. leucocephala*, 14 a *P. saman* y 5 a *P. dulce* pertenecientes a siete gremios tróficos, se encontró que la morfoespecie *Chryseida sp* está presente en las tres leguminosas actuando como especie clave para la integración de estas comunidades. Cinco fueron las morfoespecies que se encontraron asociadas a *L. leucocephala* y *P. saman* (Phlaeothripidae Mf1, *Merobruchus columbinus*, *Acanthoscelides macrophthalmus*, Ichneumonidae Mf1 y *Chryseida sp*), entre *L. leucocephala* y *P. dulce* fue una araña generalista de la familia *Salticidae* y *Chryseida sp* las asociadas y entre *P. dulce* y *P. saman* también *Chryseida sp* y *Stator limbatus*.

En cuanto a la diversidad de artrópodos asociados a las semillas de la especie exótica y la nativa a diferentes altitudes y sus redes ecológicas, numerosos estudios muestran que la riqueza de especies y la estructura de interacciones cambia con el incremento de la elevación. A mayor altitud menor es la riqueza de especies (Brehm & Fiedler, 2003; Kessler et al., 2011; McCain, 2005). Este estudio muestra que se encontraron 50% más especies asociadas a *P. guachapele* en 370 que en 850 msnm, cumpliendo así, el supuesto de que a mayor altitud menor riqueza de especies (Brehm & Fiedler, 2003; Kessler et al., 2011; McCain, 2005). El mismo patrón se dio para *L. leucocephala* con 60% más especies en 320 que en 600 msnm. Lo anterior podría deberse a que los insectos con una amplia distribución altitudinal enfrentan el problema de adaptar su historia de vida, fisiología y alimentación para poder compensar el deterioro que proporcionan las condiciones ambientales del nuevo nicho colonizado (Hodkinson, 2005; Wilson, Gutiérrez, Gutiérrez, & Monserrat, 2007), por su parte las especies exóticas de artrópodos eventualmente se adaptarían a la fenología de la nueva planta hospedera logrando sobrevivir.

En *L. leucocephala* y *P. guachapele* se encontró el género *Stenocorse* braconido parasitoide, cuyo rango de distribución va desde Norte América hasta Argentina; mediante estudios filogenéticos realizados por Ancizar et al. (datos no publicados) se encontró que existen dos especies definidas geográficamente, la primera *Stenocorse sp1* distribuida en Norte América y Centro América, y la segunda *Stenocorse sp2* presente únicamente en Sur America. Las especies exóticas invasoras pueden actuar como foco para el

enlace de especies nativas que pueden utilizarlos como recursos adicionales (Matošević & Melika, 2013), este es el caso de *Stenocorse sp2* nativo colombiano que logró colonizar y parasitar exitosamente *A. macrophthalmus* brúquido exótico asociado a *L. leucocephala* también exótica, integrándose a la red ecológica ya establecida de esta leguminosa y creando un vínculo entre las especies de leguminosas exóticas y nativas.

En cuanto a la disminución de parasitoides una hipótesis alternativa puede ser la disminución del número de herbívoros a medida que aumenta la altitud. Estudios previos muestran que las variaciones en los compuestos secundarios de las plantas están directamente correlacionadas con el aumento de la altitud, es decir, a mayor altitud se incrementan los niveles en los compuestos secundarios (Gershenson, 1984; Humphrey et al., 2016). Esto implica para los herbívoros la maximización de beneficios y costos a través de la innovación de estrategias de defensa cuando el ambiente es cambiante (Chislock, Sarnelle, Olsen, Doster, & Wilson, 2013; Rhoades, 1985). Sería relevante realizar estudios que muestren de qué manera se adaptan los herbívoros, especialmente los comedores de semilla, a los cambios de altitud, en términos de su fisionomía, reproducción y ciclo de vida.

Cuando la especie exótica coloniza un ecosistema puede traer con ella nuevas especies o bien entrar a hacer parte de las interacciones presentes. Es el caso de *Acanthoscelides macrophthalmus* el cual es un brúquido generalista que emplea hospederos nativos en su región nativa, América Central como lo son *Guazuma ulmifolia* y *Aeschynomene scabra* y *L. leucocephala* (De la Cruz Pérez et al., 2013; Sharratt & Olckers, 2012; Tuda et al., 2009). No obstante, en este estudio se registró por primera vez su presencia en las leguminosas nativas (*P. guachapele* y *P. saman*). Esto puede deberse a que la composición química de las semillas de *P. guachapele* es bastante similar a la de *L. leucocephala* (Fig. ¿?). En la actualidad se realizan estudios comparando la reproducción y características de historia de vida asociadas de *A. macrophthalmus* en especies de leguminosas las nativas. Igualmente se está evaluando el potencial de *A. macrophthalmus* para desplazar a otros brúquidos nativos en sus hospederos nativos.

Se ha demostrado que no todas las interacciones tróficas responden de la misma manera ante la influencia de la elevación (Preszler & Boecklen, 2016). En este estudio, se encontró que la riqueza de morfoespecies de parasitoides disminuye con la elevación, a mayor altitud menor riqueza de parasitoides, contrario a Maunsell et al. (2013) y Peré et al. (2013), los cuales no encontraron cambios significativos en el número de parasitoides entre altitudes, pero al igual que Ramos-Jiliberto et al. (2010) que si encontraron una disminución de la riqueza a medida que aumentaba la altitud en redes mutualistas de polinizador-planta. La disminución de las morfoespecies de parasitoides también se puede deber a que el número de morfoespecies de granívoros también disminuye a medida que aumenta la elevación, esto podría estar generando que los parasitoides carezcan de recurso para poder alimentarse y de esta manera se podría justificar su disminución.

Por otra parte, *P. guachapele* (nativa) obtuvo un mayor número de morfoespecies en sus dos altitudes (370 y 850 msnm) sobre las altitudes de *L. leucocephala* (exótica) (320 y 600 msnm) lo que podría indicar que el tipo de hospedero es más importante que la altitud como determinante de la riqueza específica de artrópodos.



Hasta el momento se sabe muy poco acerca de los cambios producidos por el cambio de elevación en las redes ecológicas de artrópodos, ya que las frecuencias de interacción pueden variar dependiendo del tipo de ecosistema y de los organismos implicados. Estudios como el de Ramos-Jiliberto et al. (2010) Maunsell et al. (2013) han sido hasta el momento los únicos que tratan de responder este interrogante. En Colombia este es el primer estudio que analiza el cambio en la estructura topológica de las redes de artrópodos asociados a semillas de diferentes leguminosas en diferentes altitudes con cambio de hospedero.

Se encontró que a pesar de que las redes de *P. guachapele* (nativa) y *L. leucocephala* (exótica) de ambas altitudes poseen la misma densidad, el número de nodos y de interacciones cambia, es decir, a medida que aumenta la altitud las interacciones disminuyen. Únicamente dos índices cambiaron su número a medida que aumentaba la elevación, el primero la centralidad total que en *L. leucocephala* disminuye conforme aumenta la elevación, esto puede deberse a la disminución de la riqueza específica, mientras que en *P. guachapele* se mantuvo igual esto podría ser por que al tener la misma cantidad de gremios tróficos en ambas altitudes hay una redundancia ecológica y no se generan vacíos funcionales, puesto que todas las morfoespecies cumplen su función en el ecosistema.

El otro índice que cambia es la vulnerabilidad, en concordancia con Maunsell et al. 2013 para *P. guachapele* la vulnerabilidad aumentó en las elevaciones más bajas, esto podría ser por que se dio una disminución en el número de morfoespecies de parasitoides con el aumento de la elevación. Se podría afirmar que el factor que influye en el cambio de la estructura topológica es el tipo de hospedero más que el cambio de altitud. Resultaría muy interesante este mismo estudio incluyendo variables como la temperatura para observar como el cambio climático afecta las interacciones planta-insecto.

### **Conclusiones**

*L. leucocephala* está brindando beneficios de alimento y refugio a los artrópodos asociados al Bs-T lo que indica que su proceso de colonización fue exitoso.

*Stenocorse sp2* especie de parasitoide nativo, logró colonizar una especie exótica como *A. macrophthalmus* aumentando su nicho.

El cambio en la riqueza y la estructura de las redes de morfoespecies de artrópodos depende más del tipo de hospedero que de la altitud a la que se encuentren.

En este estudio, *A. macrophthalmus* amplió su rango de distribución al colonizar especies nativas de leguminosas como lo son *P. saman* y *P. guachapele*.

### **Referencias**

**Tabla 1.** Artrópodos asociados a semillas de leguminosas de Bs-T con su respectivo gremio trófico y altitud

Orden	Especie	Gremio Trófico	Hospedero	Altitud (msnm)
Coleoptera	<i>A. macrophthalmus</i>	Granívoro	<i>L. leucocephala, P. guachapele, P.saman</i>	320,370,600,850
Coleoptera	<i>Antichidae Mf1</i>	Omnívoro	<i>L. leucocephala, P. guachapele, P.dulce</i>	320,370
Hymenoptera	<i>Bethylidae</i>	Parasitoide	<i>P. guachapele</i>	850
Blattodea	<i>Blattidae</i>	Descomp.	<i>L. leucocephala</i>	320
Coleoptera	<i>Bostrichidae</i>	Xilófago	<i>P. guachapele</i>	370
Hymenoptera	<i>Brachymeria</i>	Parasitoide	<i>P.saman</i>	320
Hymenoptera	<i>C. erecta</i>	Omnívoro	<i>P. guachapele</i>	370
Hymenoptera	<i>C. minutus</i>	Omnívoro	<i>P. guachapele</i>	370
Hymenoptera	<i>Camponotus sp</i>	Omnívoro	<i>P.dulce</i>	320
Coleoptera	<i>Carabidae Mf1</i>	Depredador	<i>P. saman</i>	320
Coleoptera	<i>Cerambycidae Mf1</i>	Xilófago	<i>L.leucocephala,P.saman</i>	320,600
Chilopoda	<i>Chilopoda Mf1</i>	Depredador	<i>P. guachapele</i>	370
Hymenoptera	<i>Chryseida sp</i>	Parasitoide	<i>L. leucocephala, P. guachapele, P. Saman,P.dulce</i>	320,370,600,850
Coleoptera	<i>Chrysomelidae Mf1</i>	Granívoro	<i>P. guachapele</i>	370
Neuroptera	<i>Chrysopidae Mf1</i>	Depredador	<i>P. guachapele</i>	370
Coleoptera	<i>Coccinelidae Mf1</i>	Depredador	<i>P.guachapele,L.leucocephala</i>	320,370,850
Coleoptera	<i>Coccinelidae Mf2</i>	Depredador	<i>P. guachapele, L.leucocephala</i>	320,370
Hymenoptera	<i>Crematogaster sp</i>	Omnívoro	<i>P.guachapele</i>	850
Coleoptera	<i>Cucujidae Mf1</i>	Xilófago	<i>L.leucocephala,P.saman, P. guachapele</i>	320,370,600
Diplopoda	<i>Diplopoda Mf1</i>	Depredador	<i>P. guachapele</i>	370
Psocoptera	<i>Episcocidae Mf1</i>	Omnívoro	<i>L. leucocephala</i>	600
Hymenoptera	<i>Eupelmus sp</i>	Parasitoide	<i>L.leucocephala,P.guachapele</i>	320,370,850
Hymenoptera	<i>Heterospilus sp</i>	Parasitoide	<i>L. leucocephala,P.guachapele</i>	320,370,600
Hymenoptera	<i>Horismenus sp</i>	Parasitoide	<i>L.leucocephala,P.guachapele</i>	320,370,600,850
Hymenoptera	<i>Ichneumonidae Mf1</i>	Parasitoide	<i>L.leucocephala, P.saman</i>	320
Lepidoptera	<i>Lepidoptera Mf1</i>	Herbívoro	<i>P. guachapele</i>	850
Coleoptera	<i>Lyctidae</i>	Xilófago	<i>P. guachapele, P,saman</i>	320,370
Hemiptera	<i>Lygaeidae</i>	Herbívoro	<i>L. leucocephala</i>	320
Coleoptera	<i>M. columbinus</i>	Granívoro	<i>L.leucocephala, P.saman</i>	320
Coleoptera	<i>Melandryidae Mf1</i>	Omnívoro	<i>P. guachapele</i>	370
Hemiptera	<i>Membracidae Mf1</i>	Herbívoro	<i>P. dulce</i>	320
Hymenoptera	<i>N.azteca</i>	Omnívoro	<i>P.dulce</i>	320
Hymenoptera	<i>Nesomyrmex sp1</i>	Omnívoro	<i>P. guachapele</i>	370
Hymenoptera	<i>Nesomyrmex sp2</i>	Omnívoro	<i>L.leucocephala</i>	320
Hymenoptera	<i>Nesomyrmex sp3</i>	Omnívoro	<i>P. guachapele</i>	850
Coleoptera	<i>Nitulidae Mf1</i>	Herbívoro	<i>P.saman</i>	320
Coleoptera	<i>Phalacridae Mf1</i>	Omnívoro	<i>P. saman</i>	320
Thysanoptera	<i>Phlaeothripidae Mf1</i>	Omnívoro	<i>L.leucocephala,P.guachapele,P.saman</i>	320,370,600

Blattodea	<i>Polyphagidae Mf1</i>	Descomp.	<i>P. guachapele</i>	370,850
Blattodea	<i>Polyphagidae Mf2</i>	Descomp.	<i>P. guachapele</i>	370
Blattodea	<i>Polyphagidae Mf3</i>	Descomp.	<i>P. guachapele</i>	370
	<i>Pseudocaecillidae</i>			
Pscoptera	<i>Mf1</i>	Depredador	<i>P. guachapele</i>	370
Hemiptera	<i>Reduviidae Mf1</i>	Herbívoro	<i>P. guachapele</i>	850
Coleoptera	<i>Ryssomatus sp</i>	Granívoro	<i>P. guachapele</i>	370
Coleoptera	<i>S. limbatus</i>	Granívoro	<i>P. guachapele, P.saman, P.dulce</i>	320,370,850
Hymenoptera	<i>S. molesta</i>	Omnívoro	<i>P. guachapele</i>	850
Aranae	<i>Salticidae Mf1</i>	Depredador	<i>L. leucocephala, P. guachapele</i>	320,370,850
Aranae	<i>Salticidae Mf2</i>	Depredador	<i>L.leucocephala,P.guachapele,P.dulce</i>	320,370,850
Hymenoptera	<i>Stenocorse sp2</i>	Parasitoide	<i>L.leucocephala,P.guachapele</i>	320,370,850
Coleoptera	<i>Trogossitidae Mf1</i>	Omnívoro	<i>L. leucocephala</i>	320

---

**Tabla 2.** Listado de morfoespecies de artrópodos asociados a las semillas de leguminosas de Bs-T en diferentes Altitudes.

	<i>L. leucocephala</i>		<i>P. guachapele</i>		<i>P. dulce</i>	<i>P. saman</i>
	320 msnm	600 msnm	370 msnm	850 msnm	320 msnm	320 msnm
Depredador	3	1	8	2	1	1
Descomponedor	1	0	3	1	0	3
Granívoro	2	1	4	2	1	1
Herbívoro	1	0	0	2	1	1
Omnívoro	4	2	6	3	0	2
Parasitoide	7	3	6	5	1	3
Xilófago	0	2	3	0	1	3



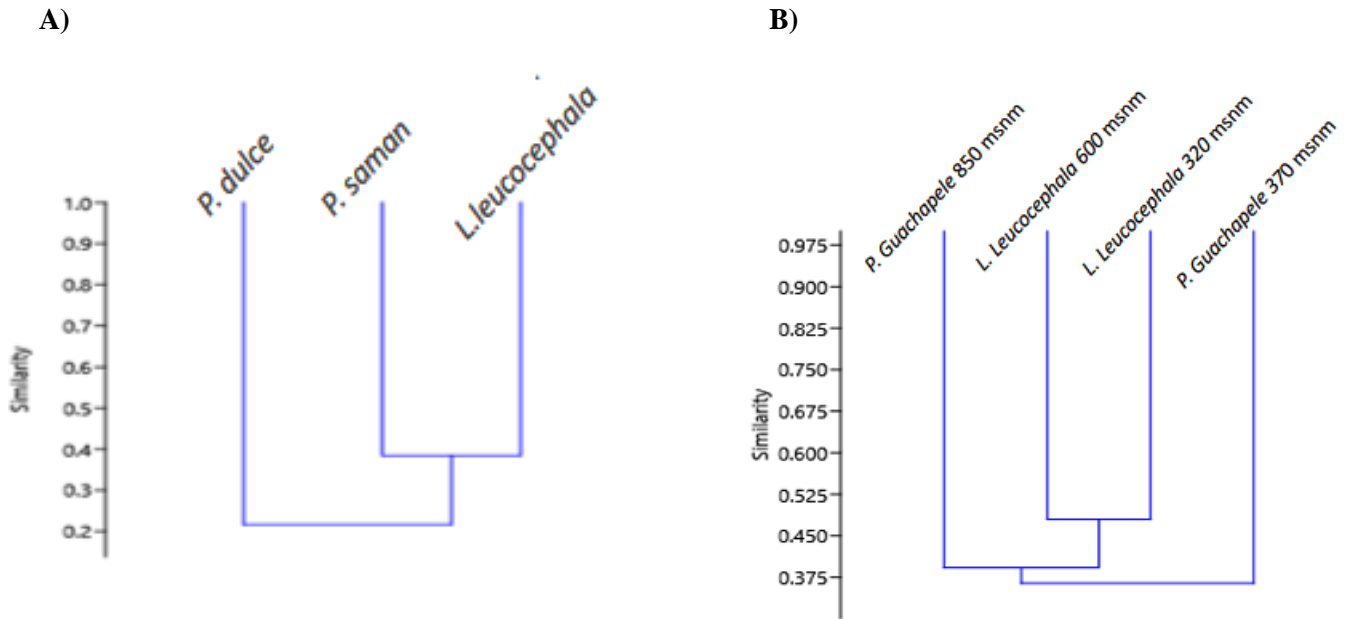
**Tabla 3.** Índices topológicos de las redes ecológicas de los artrópodos asociados a leguminosas del Bs-T.

	# spp	Gremios	Densidad	Cent. Total	Anidamiento	Conectancia	Vulnerabilidad	Generalidad
<i>L. leucocephala</i> 320 msnm	16	6	100%	8	Na	1	1.60	1
<i>L. leucocephala</i> 600 msnm	9	5	100%	4.5	Na	1	9	1
<i>L. leucocephala</i> combinado	25	7	65%	7.52	3.60	0.65	13.48	1.48
<i>P. guachapele</i> 370 msnm	25	6	100%	12.5	Na	1	25	1
<i>P. guachapele</i> 600 msnm	15	6	93%	12.5	Na	0.8	9	1
<i>P. guachapele</i> combinado	40	7	60%	12.04	3.30	0.0606	2.12	1.35
<i>P. dulce</i>	4	5	100%	2.5	Na	1	5	1
<i>P. saman</i>	14	6	100%	7	Na	1	1.40	1
320 msnm	35	7	42%	7.844	3.759	0.042	1.41	1.50

**Tabla 4.** Riqueza taxonómica (Rtx) y riqueza de gremios tróficos (Rgt) de *L. leucocephala* y *P. guachepele* en sus respectivas Altitud.

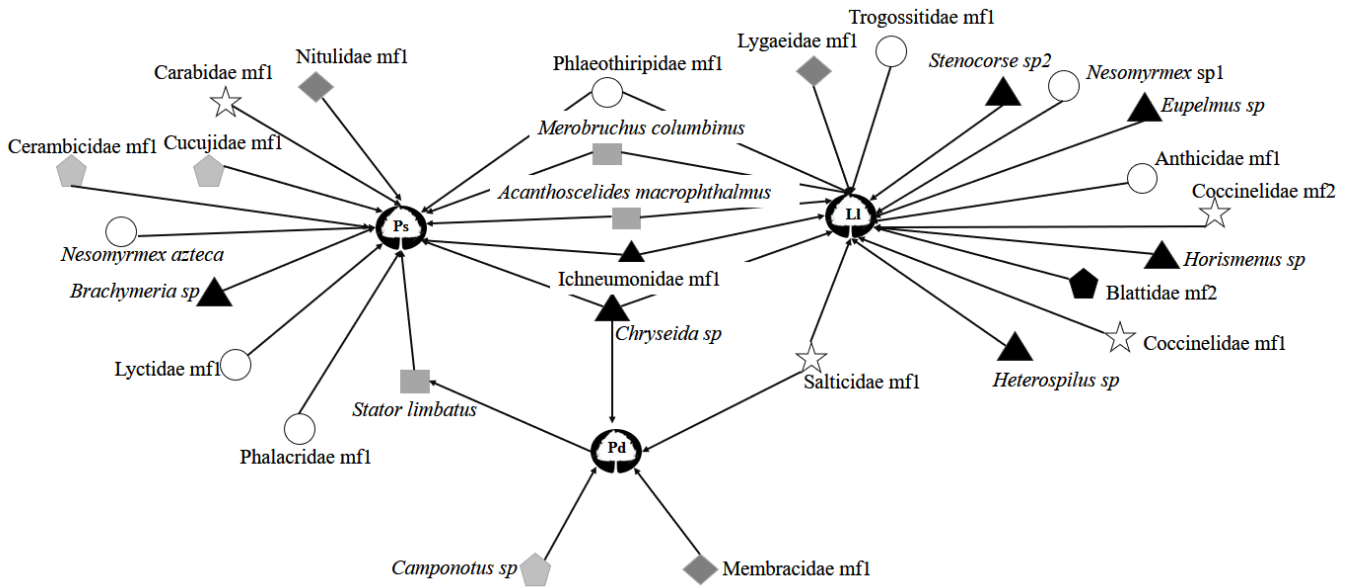
Altitud	Rtx	Rgt
<i>L. leucocephala</i> 320	16	7
<i>L. leucocephala</i> 600	9	5
<i>P. guachepele</i> 370	25	6
<i>P. guachepele</i> 850	15	6

**Fig.1** A) Dendograma que muestra la similitud entre comunidades de insectos asociados a *P. dulce* (especie nativa), *P. saman* (especie nativa) y *L. leucocephala* (especie exótica) en una misma localidad. Índice de agrupamiento: Bray-Curtis B) Dendograma que muestra la similitud entre comunidades de insectos asociados a *P. guachapele* (PG) y *L. leucocephala* (LL) en diferentes altitudes.

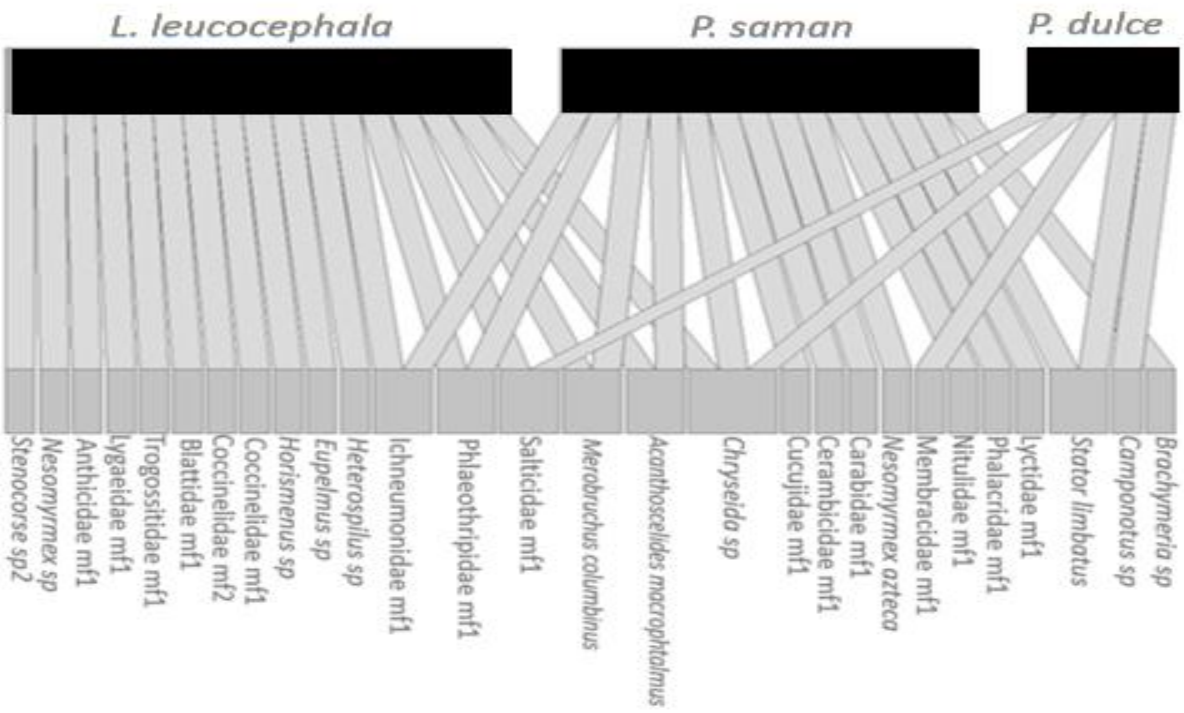




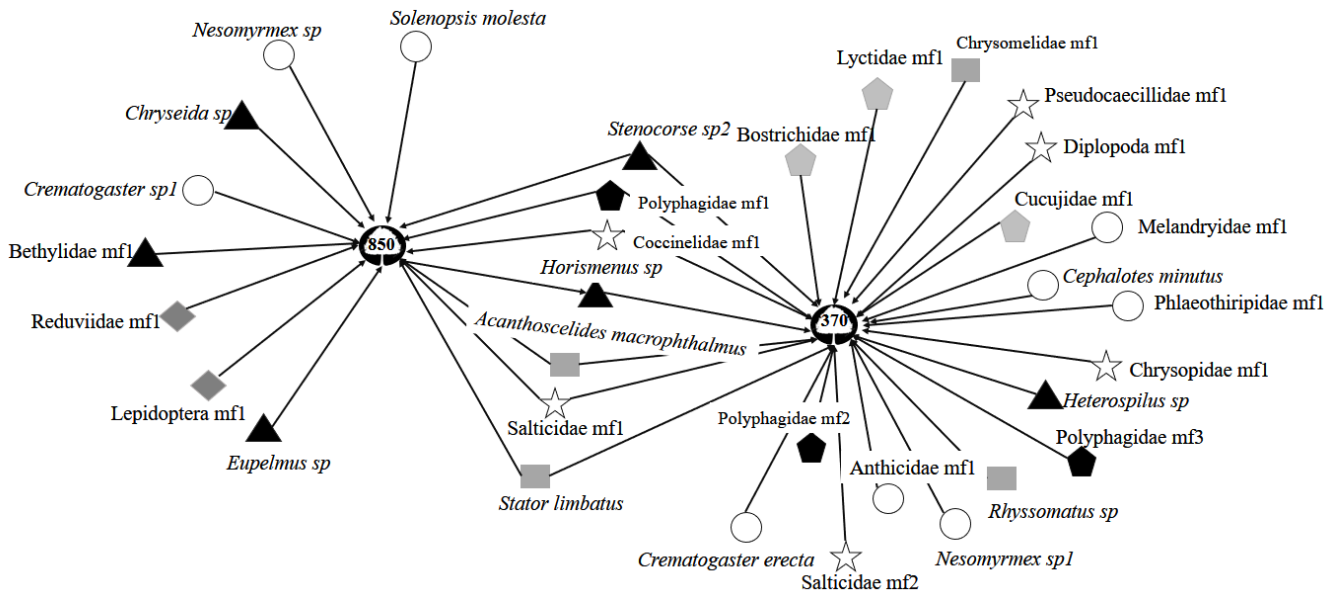
**Fig. 2** Red ecológica de artrópodos asociados a las semillas de *P. saman* (Ps) *L. leucocephala* (Ll) (exótica) y *P. dulce* (Pd) en un Bosque Seco Tropical Colombiano. cuadrado gris: granívoros, círculo blanco: omnívoros, triángulo negro: parasitoides, pentágono negro: descomponedores, pentágono gris: xilófagos, diamante gris: herbívoros y estrella blanca: depredadores.



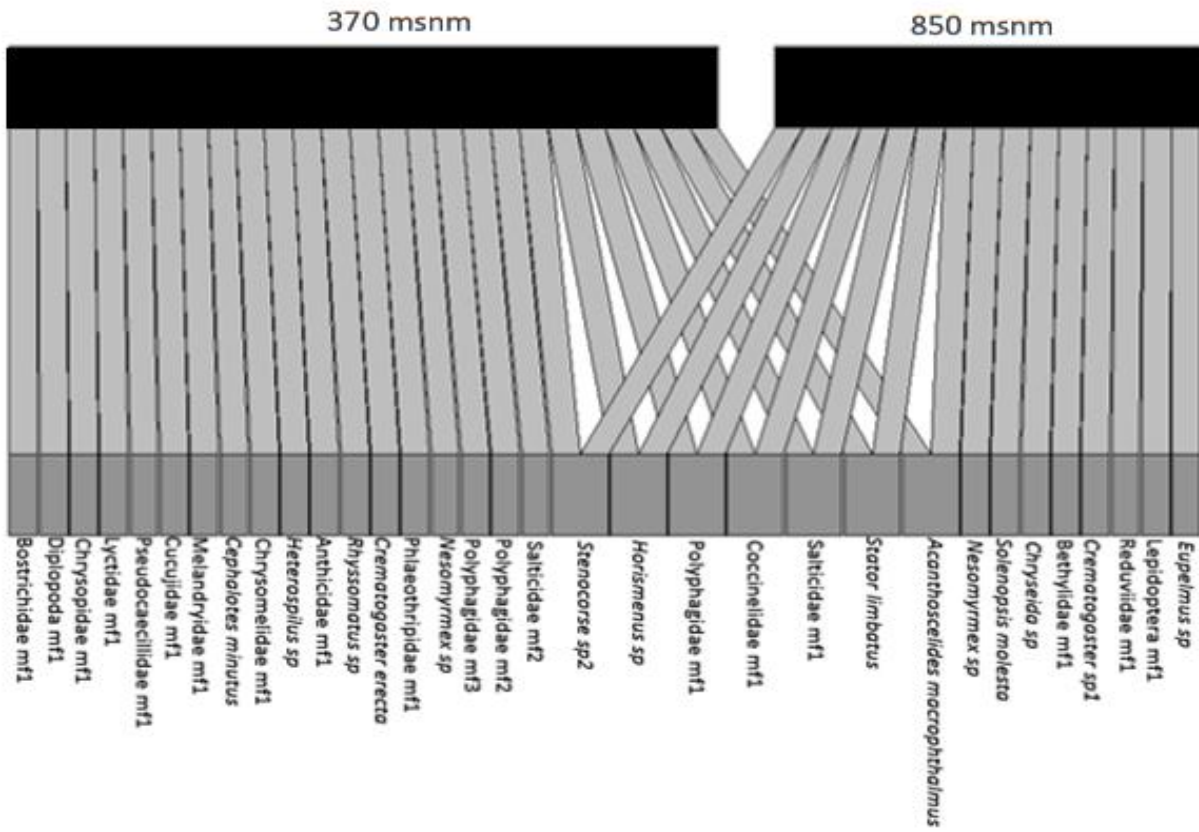
**Fig 3.** Red de anidamiento de las especies de artrópodos asociados a las semillas de *P. dulce*, *P. saman*, y *L. leucocephala* en un Bosque Seco Tropical Colombiano.



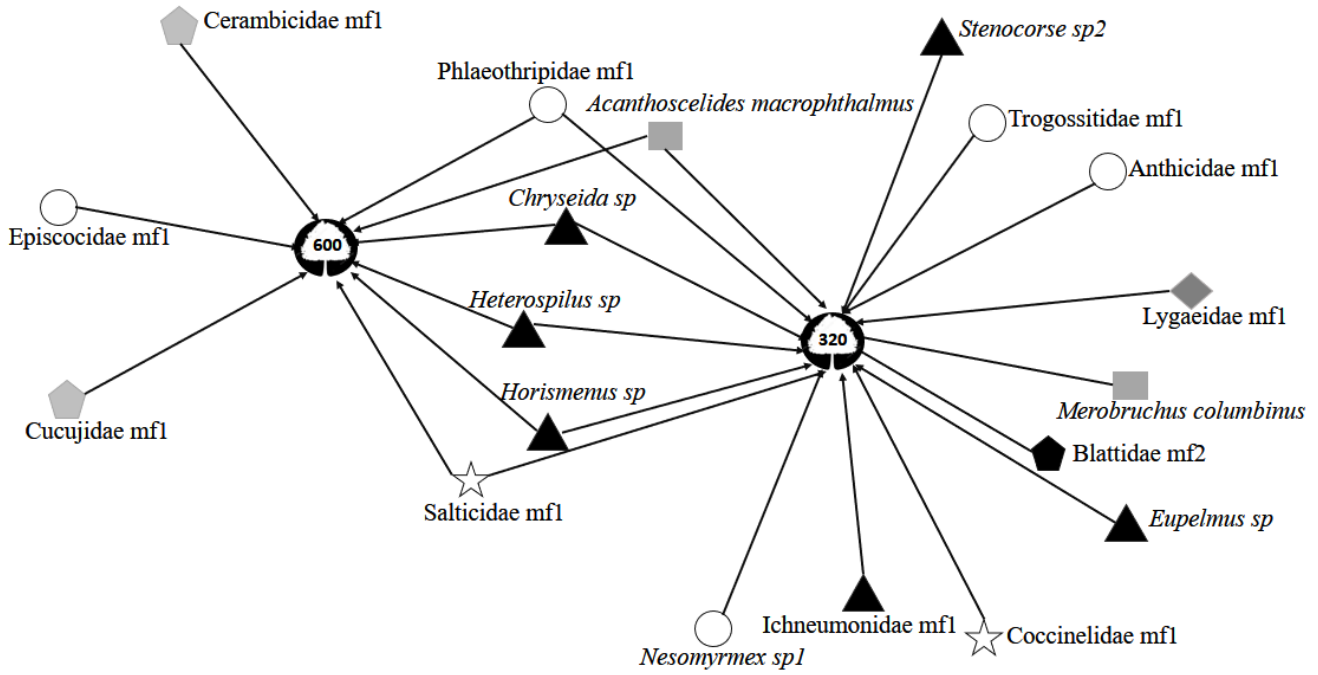
**Fig. 4.** Red ecológica de artrópodos asociados a las semillas *P. guachapele* en dos altitudes diferentes: 370 y 850 msnm en un Bosque Seco Tropical Colombiano. cuadrado gris: granívoros, círculo blanco: omnívoros, triángulo negro: parasitoides, pentágono negro: descomponedores, pentágono gris: xilófagos, diamante gris: herbívoros y estrella blanca: depredadores.



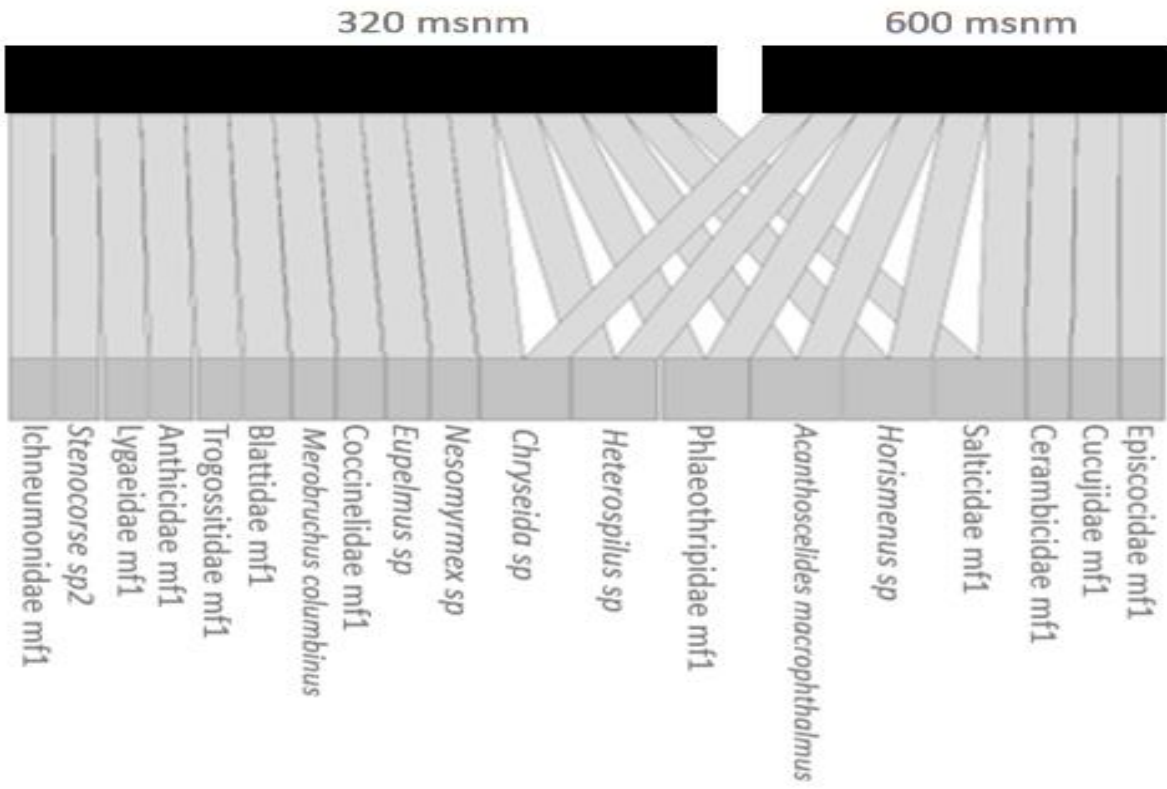
**Fig 5.** Red de anidamiento de las especies de artrópodos asociados a las semillas de *P. guachapele* en diferentes altitudes 370 y 850 msnm en un Bosque Seco Tropical Colombiano.



**Fig. 6.** Red ecológica de artrópodos asociados a las semillas *L. leucocephala* en dos altitudes diferentes: 370 y 850 msnm en un Bosque Seco Tropical Colombiano. cuadrado gris: granívoros, círculo blanco: omnívoros, triángulo negro: parasitoides, pentágono negro: descomponedores, pentágono gris: xilófagos, diamante gris: herbívoros y estrella blanca: depredadores.



**Fig 7.** Red de anidamiento de las especies de artrópodos asociados a las semillas de leucocephala en diferentes altitudes 320 y 600 msnm en un Bosque Seco Tropical Colombiano.



## **2. ANEXOS**

## 2.1 MARCO TEÓRICO

### Especies exóticas

Las especies exóticas son especies foráneas que han sido introducidas fuera de su rango natural, su origen natural ha tenido lugar en otra parte, y por razones antrópicas o accidentales han sido transportadas a otro sitio, bien sea voluntaria o involuntariamente (D M Richardson, Allsopp, D'Antonio, Milton, & Rejmánek, 2000; Rosenzweig, 2001).

No todas las especies exóticas son nocivas para las dinámicas ecológicas del ecosistema, en la mayoría de los casos los organismos transportados se establecen con poblaciones sostenibles en ecosistemas naturales e interactúan de manera negativa con especies nativas, estas especies se denominan especies invasoras (Baptiste et al., 2010). Las especies invasoras se consideran la segunda causa de pérdida de biodiversidad (McNeely, Mooney, & Neville, 2001), puesto que pueden llegar a alterar los flujos ecosistémicos: modifican la dinámica hídrica, alteran regímenes de fuego, el ciclo de nutrientes, entre otros (Baptiste et al., 2010).

Hay múltiples teorías que explican la forma en la que las especies de plantas invasoras se pueden establecer fácilmente en los ecosistemas a los cuales llegan, una de esas hipótesis es la “liberación de enemigos” (HLDE), que propone que las especies de plantas cuando son introducidas a una región exótica, sufren una disminución en la regulación de herbívoros y otros enemigos naturales asociados, lo que conlleva a un aumento elevado en la distribución y la abundancia de las plantas exóticas

Al ser la especie introducida a una nueva región la HLDE predice que: 1. Los enemigos especializados de la especie estarán ausentes en la nueva región, facilitando así, su establecimiento 2. El cambio de hospederos por enemigos especialistas de equivalentes nativos será raro. 3. Los generalistas van a tener un mayor impacto en los competidores nativos que en las especies exóticas. Los enemigos generalistas pueden estar mejor adaptados para atacar especies nativas que especies exóticas.

### Ecología del bosque seco tropical (Bs-T)

El bosque seco tropical es parte del bioma bosque tropical, cerca del 42% de la masa tropical y subtropical es dominada por el BsT, el promedio de temperatura anual media es de 17°C (Murphy & Lugo, 1986) aunque algunos autores aclaran que son 27°C (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005) y su precipitación esta entre 250- 2000 milímetros. Se caracteriza por poseer especies de insectos y de plantas que han desarrollado estrategias adaptativas que les permite sobrevivir a la estacionalidad marcada de lluvias con aproximadamente tres o más periodos de lluvia (Gentry, 1995). Los insectos han generado mecanismos fisiológicos que les



permiten reducir la pérdida de agua por respiración, además de modificar su dieta para alimentarse de plantas ricas en agua (Duncan, Krasnov, & McMaster, 2002). Las estrategias que las plantas han generado son: La pérdida de follaje, la presencia de hojas compuestas y de espinas (Sanchez-Ramos, 1999).

Las principales familias que se encuentran en este ecosistema son: Leguminosae, bignonaceae, malvaceae y capparaceae, estas familias se caracterizan por tener una altura promedio entre los 15 y 25 metros (Gentry, 1995). En Colombia la distribución actual del BsT está ligada a los procesos de deforestación y colonización que se han desarrollado en los últimos años (Etter, McAlpine, & Possingham, 2008), procesos como la agricultura, ganadería, minería, desarrollo urbano y turismo (Portillo-Quintero & Sánchez-Azofeifa, 2010). Adicional a esto el BsT no solo se encuentra fragmentado, sino que también se encuentra en diferentes estados sucesionales los cuales están rodeados por matrices altamente transformadas (Miles et al., 2006).

En Colombia, originalmente se distribuía en las regiones de la llanura del Caribe y en los valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca entre los 0 y 1000 msnm, y aunque no se conoce la extensión original del Bosque Seco Tropical, se estima que cubría la mayor parte de estas regiones. En la actualidad este ecosistema es uno de los más amenazados en el Neotrópico (Janzen 1988) ya que los suelos que posee son muy fértiles y esto ha traído como consecuencia el desarrollo de asentamientos humanos en esta región y por ende una intensa transformación (Janzen 1983, Ceballos 1995) siendo considerado uno de los tres ecosistemas más degradados, fragmentados y menos conocidos, pues se estima que sólo queda menos del 1,5% de su cobertura original (Etter, 1993). La mayoría de los remanentes de bosque seco se encuentran en áreas de intenso uso ganadero y agrícola.

### Ecología de comunidades

Una comunidad es un grupo de organismos de distintas especies que conviven en un lugar y tiempo determinado (Wittaker, 1970), en la cual existen relaciones horizontales que son fundamentalmente la competencia que existe y verticales que son las relaciones tróficas, estas relaciones están limitadas por los procesos que se generan al interior de la comunidad, como el cambio en la riqueza de especies que genera a su vez un cambio en la tasa de colonización y extinción (Putman 1994). Es decir, si la tasa de extinción es muy alta o la de colonización es muy baja se altera la estructura de la comunidad.

La teoría de biogeografía de islas propone que la tasa de inmigración de nuevas especies a nuevas islas disminuye cuando aumenta la riqueza específica mientras que la tasa de extinción

aumenta cuando la misma y la de inmigración se igualan, se crea un punto de equilibrio en el número de especies la isla (MacArthur & Wilson,1967).

### Interacción insecto-planta

Todas las especies interactúan directamente con otras especies a través del consumo de recursos, competencia o interacciones mutualistas (Schimtz,2009). Las interacciones tróficas son resultado de diferentes procesos como: el uso de un organismo como fuente de alimento, las técnicas de obtención del alimento, las estrategias de defensa, la influencia de la alimentación sobre el tamaño de la población y el efecto de evolución o efecto selectivo de las especies (Brewer 1988). Algunas plantas desarrollan defensas químicas que pueden reducir el ataque de los herbívoros, sin embargo, los insectos, a su vez desarrollan una defensa contra estos organismos que les permite volver a atacar a las plantas y tener adaptaciones hacia sus defensas (Camarena,2009).

### Redes ecológicas

La red ecológica es una representación de las interacciones bióticas en un ecosistema (Montoya, Pimm, & Sole, 2006; Solé & Bascompte, 2006) estas redes tienen patrones arquitectónicos que se evidencian en las redes alimenticias reales como la interacción entre el herbívoro y la planta, las mejoran la estabilidad de la comunidad y la coexistencia entre especies (Thébault & Fontaine, 2010).

Existen redes complejas que ayudan de distintas maneras a entender las interacciones ecológicas, dichas redes se caracterizan por estar formadas por múltiples partes que interactúan entre sí (Bascompte & Jordano, 2007; Jordano, 1987). Existen dos tipos de redes, redes unipartitas y redes bipartitas, y estas a su vez pueden ser redes dirigidas o no dirigidas (Jordano & Bascompte, 2013). La mayor parte de las redes se caracterizan por la transferencia de energía (Bascompte, 2008).

El análisis ecológico de redes permite ofrecer herramientas integradoras de diferentes campos del conocimiento, puesto que no se puede comprender el funcionamiento de un ecosistema centrándose en el estudio de las especies aisladas (Levin, 2006; Medel et al., 2009; Solé & Bascompte, 2006).

Para la realización de las redes es necesario crear matrices, donde los valores que van en las filas representen las especies animales y los valores de las columnas representen las especies de plantas. Cuando la especie de animal interactúe con la especie vegetal se registra un valor de 1 y cuando no interactúen se registra un valor de 0.

## **JUSTIFICACIÓN**

Utilizar artrópodos como modelo permite de una forma sencilla la comprensión de los efectos que se generan y los cambios de hospedero y de altura (Carvalho Guimarães, Viana, & Cornelissen, 2014; Sanabria-Silva & Amarillo-Suárez, 2017), los escarabajos brúquidos cumplen un rol fundamental en el proceso de germinación de semillas de leguminosas, el análisis ecológico de redes tróficas permite evaluar la magnitud y la importancia de las relaciones en un ecosistema, cuando existen cambios en el hábitat como fragmentación y disminución de la estructura y composición de las redes tróficas en la comunidad de artrópodos asociados a las leguminosas del Bs-T se ve afectado (Cagnolo & Valladares, 2011; Thébault & Fontaine, 2010).

## **ANTECEDENTES**

A nivel mundial se encontró un solo estudio que evidencia como cambian las redes parasito-huésped a diferentes elevaciones generando una disminución de los parasitoides a elevaciones más altas y generando que cada parasitoide disminuya su rango de distribución abordando así, un solo hospedero (Maunsell et al., 2015) En el plano nacional son pocos los estudios que se han realizado con artrópodos en bosque seco tropical dos de los más destacados son los de Sanabria & Amarillo, 2017 y López & Amarillo, 2014, el primero se enfocó en el análisis ecológico de redes tróficas en dos especies de leguminosas, una exótica y la otra nativa, y encontró que la especie exótica a diferencia de la especie nativa la red generada tenía menos interacciones haciéndola menos compleja. Y el segundo estudio determinó los cambios de la herbivoría y gremios tróficos asociados a herbívoros en *P. guachapele* dependiendo de la cobertura en la que se encuentre, se evidenció que el borde de camino presenta un aumento de la riqueza de herbívoros y una disminución de los enemigos naturales mientras que en interior es, al contrario. (Sanabria-Silva & Amarillo-Suarez, 2017).

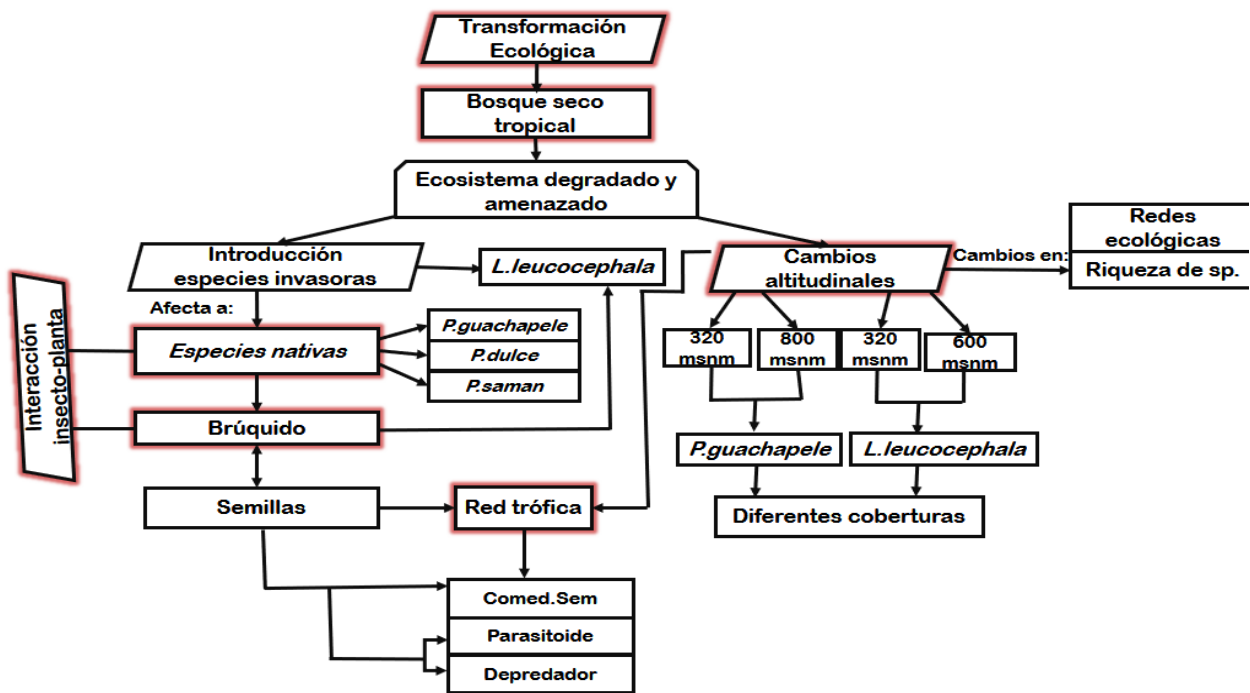
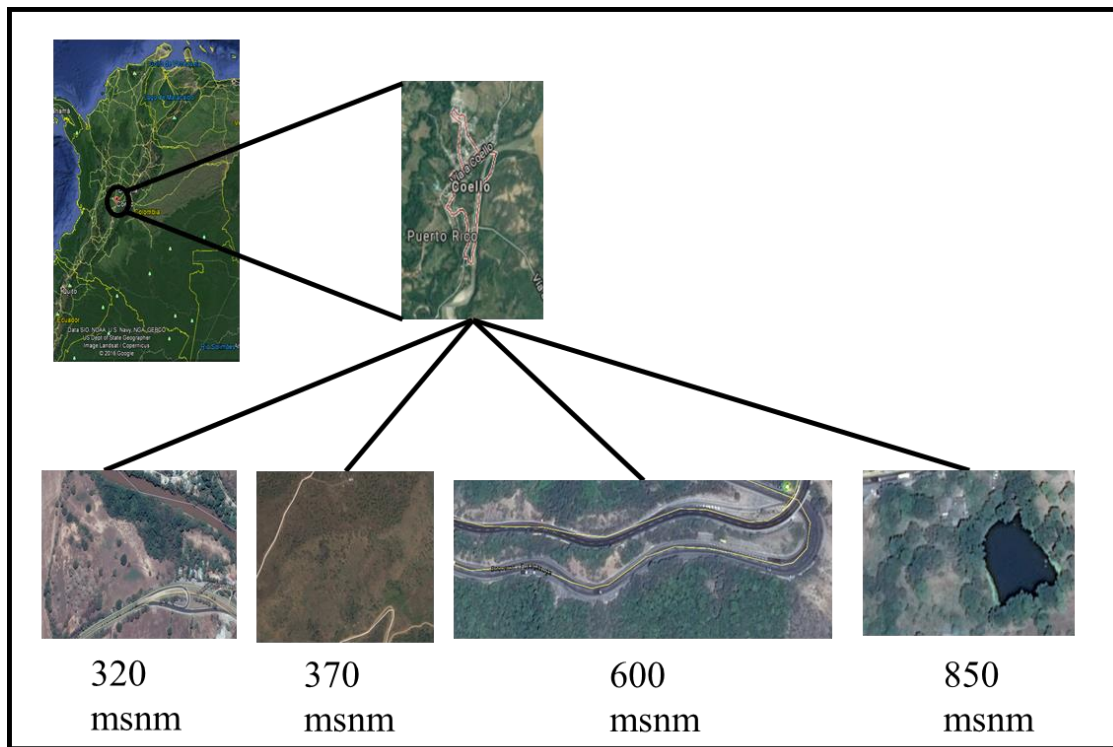


Figura 1. Diagrama general de componentes

## 2.2 ÁREA DE ESTUDIO

En el departamento del Tolima, Colombia, sobre la vía Melgar-El Espinal, a los 4°15'06''N y 74°44'56''O, a 320 msnm, se colectaron semillas de *P. dulce*, *P. saman* y *L. leucocephala*, de la siguiente manera: *L. leucocephala* estaba ubicado como cerca viva separando el área de la carretera, *P. dulce* y *P. saman* estaban ubicados aleatoriamente en el centro del área dispuestos para dar sombrío al ganado. Esto permitió comparar la artropofauna asociada a las semillas de las tres leguminosas en un mismo lugar.

Con el fin de comparar la artropofauna asociada a las semillas de *P. guachapele* y *L. leucocephala* en diferentes altitudes se colectaron semillas de la siguiente forma: la primera, corresponde a la pastura arbolada anteriormente mencionada, en donde se colectaron semillas de *L. leucocephala*, dispuesta como cerca viva; La segunda zona en donde también se colectó *L. leucocephala* corresponde a un separador de vías ubicado a los 4°15'15''N Y 74°31'25''O a 600 msnm; Para el caso de *P. guachapele*, se colectaron semillas a dos altitudes: la primera a los 4°15'27''N y 74°37'5''O a 370 msnm en una plantación abandonada con presencia de otras leguminosas y plantas pioneras y la segunda estaba ubicada a los 4°15'38''N y 74°31'52''O a 850 msnm en una cobertura de cultivo permanente arbóreo usada como cerca viva. Todas las colectas se realizaron en abril de 2015, que corresponde al final de la época seca que es cuando se encuentra la mayor cantidad de frutos maduros.



**Figura 2.** Mapa del área de estudio

## 2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.

Esta investigación estuvo dividida en las siguientes fases:

### Fase 1. Búsqueda de información

En esta fase se realizó una recopilación de bibliografía del cómo el hospedero y la elevación afecta la composición y la estructura de las redes ecológicas de brúquidos comedores de semilla asociados a leguminosas. Paralelamente se realizó la búsqueda de los sitios de muestreo y ubicando las especies de leguminosas.

### Fase 2. Muestreo de leguminosas

se realizó el muestreo de las leguminosas *Pithecellobium dulce*, *Pseudosamanea saman*, *Pseudosamanea guachapele* y *Leucaena leucocephala*, en los sitios anteriormente mencionados en abril del 2015. Por cada árbol seleccionado se tomaron 12 ramas que tenían vainas maduras de la parte baja del dosel ubicadas entre 5 y 18 m de altura, 3 ramas por cada punto cardinal. Cada árbol se seleccionó según disponibilidad de semillas. Las vainas colectadas se dispusieron en bolsas plásticas con cierre hermético con capacidad de 1 galón, estas bolsas fueron enviadas al Laboratorio de Ecología Evolutiva y Conservación.

### Fase 3. Trabajo de laboratorio

De las vainas maduras colectadas se sacaron todas las semillas y se seleccionaron 150 por cada especie, ubicándolas individualmente en cajas de Petri. Las semillas restantes se depositaron masivamente en recipientes más grandes, cada 24 horas se revisaron los recipientes más grandes en búsqueda de los artrópodos emergentes, y al igual que los artrópodos encontrados en las semillas de las vainas se almacenaron en frascos de alcohol al 96%. Finalmente, se realizó una lista de las especies encontradas con su respectivo gremio trófico (GT) y altitud. Todos los ejemplares fueron llevados al nivel taxonómico más bajo posible.

#### Fase 4. Análisis de datos

##### 4.1 Variación en la riqueza de morfoespecies y gremios tróficos

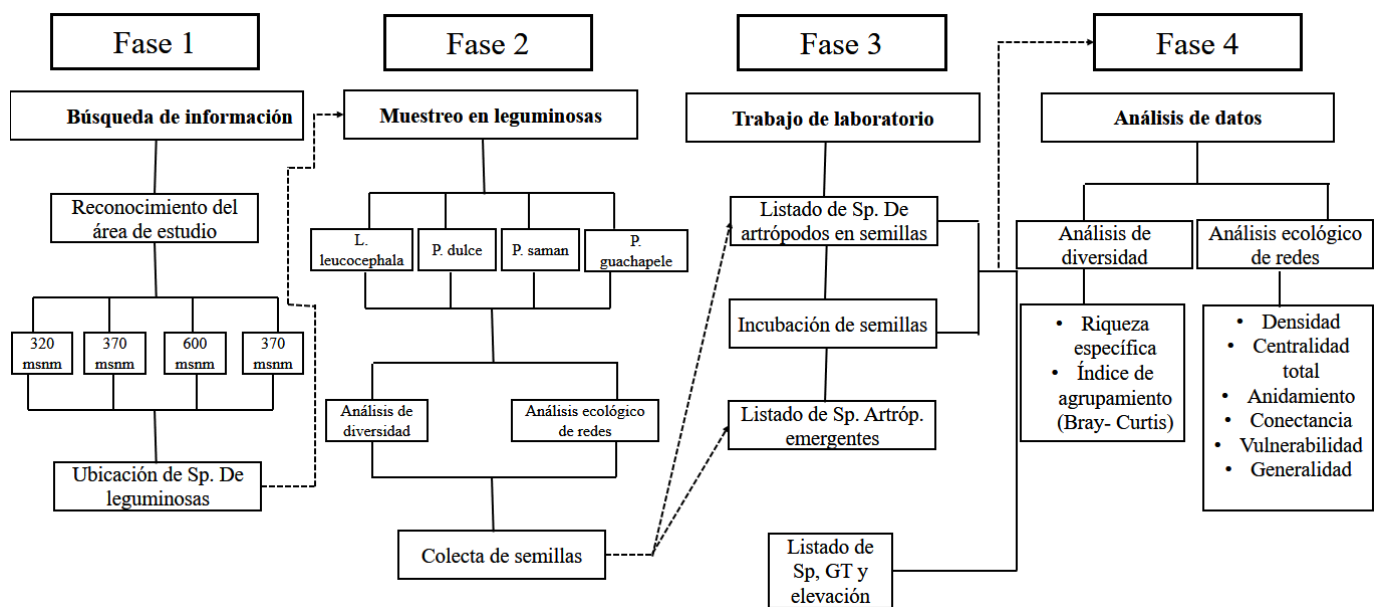
Para el análisis de diversidad taxonómica de morfoespecies por cada especie de leguminosa se estableció la riqueza específica de artrópodos asociados y de gremios tróficos por cada leguminosa. Lo mismo se realizó para las cuatro altitudes de *Pseudosamanea guachapele* y *Leucaena leucocephala*.

Para establecer la diversidad beta de las especies de leguminosas a diferentes altitudes se realizó un índice similaridad de Bray-Curtis entre *L. leucocephala* en 370 y 600 msnm y *P. guachapele* en 320 y 850 msnm. Este análisis se realizó con el programa PAST (Hammer & Harper, 2006). El mismo análisis se empleó para establecer la diversidad beta de especies en la misma cobertura.

##### 4.2 Análisis ecológico de redes

El análisis de redes permite obtener información acerca de los ecosistemas en diferentes niveles: individual, intermedio y de grupo. Para la construcción de las redes tróficas, se realizó un listado de especies encontradas precisando el gremio trófico y la altitud de cada una. Se construyó una matriz presencia/ausencia por cada altitud en la cual se representó la relación que existe entre especies. Con 1 se mostró la asociación entre la morfoespecie de artrópodos de la columna con la especie de leguminosa de la fila y con 0 se mostró la ausencia de esta relación.

La estructura de las redes resultantes se analizó con los parámetros de centralidad total, anidamiento, densidad, conectancia y vulnerabilidad y generalidad. centralidad total que indica si la red depende de alguna especie (S. P. Borgatti, 2005); anidamiento que es una medida del nivel de la compartimentalización de la red (Barbour et al., 2016; Ings et al., 2009; Jordano & Bascompte, 2013); conectancia definida como la proporción de interacciones posibles en la red (Harvey et al., 1983; Ings et al., 2009); Generalidad que es número promedio de enlaces por morfoespecie de artrópodo y vulnerabilidad que es el número promedio de enlaces por especie de leguminosa (Maunsell et al., 2015).



**Figura 3.** Diagrama metodológico

## BIBLIOGRAFIA

- Alvear, C., Melo, W., Apráez, J., Gálvez, A., & Insuasty, E. (2013). Especies arbóreas y arbustivas con potencial silvopastoril en la zona de bosque muy seco tropical del norte de Nariño y sur del Cauca. *Agroforestería Neotropical*, 3, 37–46.
- Amarillo-Suarez, A. R. (2010). Top-down, bottom-up, and horizontal mortality variation in a generalist seed beetle. *Revista Colombiana De Entomología*, 36(2), 269–276.
- Baptiste, M. P., Castaño, N., Lasso, C. a., Cárdenas, D., Gutiérrez, F. D. P., & Gil, D. L. (2010). *Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia*. ... Bogotá, DC, Colombia. Retrieved from <http://www.acictios.org/publi/1.pdf>
- Barbour, M. A., Fortuna, M. A., Bascompte, J., Nicholson, J. R., Julkunen-tiitto, R., Jules, E. S., & Crutsinger, G. M. (2016). Genetic specificity of a plant – insect food web : Implications for linking genetic variation to network complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(8), 2128–2133. <https://doi.org/10.1073/pnas.1513633113>
- Borgatti, Stephen P. , Everett, Martin G., Johnson, J. C. (2012). Analyzing Social Networks, 213.
- Borgatti, S., & Everett, M. (1997). Network analysis of 2-mode data. *Social Networks*, 19, 243–269.
- Borgatti, S. P. (2005). Centrality and network flow. *Social Networks*, 27(1), 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2004.11.008>
- Brehm, G., & Fiedler, K. (2003). Faunal composition of geometrid moths changes with altitude in an Andean montane rain forest. *Journal of Biogeography*, 30(3), 431–440. <https://doi.org/doi:10.1046/j.1365-2699.2003.00832.x>

- Cagnolo, L., & Valladares, G. (2011). Fragmentación del Hábitat y Desensamble de Redes Tróficas. *Ecosistemas*, 20(2), 68–78.
- Carvalho Guimarães, C. D., Viana, J. P. R., & Cornelissen, T. (2014). A meta-analysis of the effects of fragmentation on herbivorous insects. *Environmental Entomology*, 43(3), 537–45. <https://doi.org/10.1603/EN13190>
- Cebrian, J. (2004). Role of first-order consumers in ecosystem carbon flow. *Ecology Letters*, 7(3), 232–240. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00574.x>
- Chará-Serna, A. M., Chará, J., Zúñiga, M. D. C., Pearson, R. G., & Boyero, L. (2012). Diets of leaf litter-associated invertebrates in three tropical streams. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 48(2), 139–144. <https://doi.org/10.1051/limn/2012013>
- Chislock, M., Sarnelle, Or., Olsen, B., Doster, E., & Wilson, A. (2013). Large effects of consumer offense on ecosystem structure and function. *Ecological Society of America Reports*, 94(11), 2375–2380. <https://doi.org/10.2307/41739278>
- Clavero, M., & Garcia-Berthou., E. (2005). Invasive species are a leading cause of animal extinctions. *Trends in Ecology and Evolution* 20(3):110., 19(January), 17071.
- CorAntioquia. (2008). *Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del Bosque Seco Tropical*.
- Darwin, C. (1859). Sexual Selection. *On the Origin of Species*. <https://doi.org/10.4324/9780203509104>
- De la Cruz Pérez, A., Romero Nápoles, J., Carrillo Sanchez, J. L., García López, E., Grether González, R., Sánchez Soto, S., & Pérez de la Cruz, M. (2013). Brúquidos (Coleoptera: Bruchidae) del estado de Tabasco, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(1), 1–95.
- Delmas, E., Besson, M., Brice, M.-H., Burkle, L., Dalla Riva, G. V, Fortin, M.-J., ... Poisot, T. (2017). Analyzing ecological networks of species interactions. *bioRxiv*, 1–20. <https://doi.org/10.1101/112540>
- Dormann, C. F., Gruber, B., & Fründ, J. (2008). Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. *R News*, 8(October), 8–11. <https://doi.org/10.1159/000265935>
- Ehrlich, P. R., & Raven, R. J. (1964). Butterflies and Plants:A Study in Coevolution, 18(4), 586–608.
- Fox, C. W., Bush, M. L., & Messina, F. J. (2010). Biotypes of the seed beetle *Callosobruchus maculatus* have differing effects on the germination and growth of their legume hosts. *Agricultural and Forest Entomology*, 12(4), 353–362. <https://doi.org/10.1111/j.1461->



- Gershenson, J. (1984). Changes in the Levels of Plant Secondary Metabolites. *Phytochemical Adaptations to Stress*, 273–320. [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1206-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1206-2_10)
- Hance, T., van Baaren, J., Vernon, P., & Boivin, G. (2007). Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology*, 52(1), 107–126. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091333>
- Harrington, T. C., Thorpe, D. J., & Alfenas, A. C. (2011). Genetic variation and variation in aggressiveness to native and exotic hosts among Brazilian populations of *Ceratocystis fimbriata*. *Phytopathology*, 101(5), 555–566. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-10-0228>
- Harvey, P., Colwell, R., Silvertown, J., & May, R. (1983). Null Models in Ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 14(14), 189–211. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.14.110183.001201>
- Heard, M. J., & Sax, D. F. (2013). Coexistence between native and exotic species is facilitated by asymmetries in competitive ability and susceptibility to herbivores. *Ecology Letters*, 16(2), 206–213. <https://doi.org/10.1111/ele.12030>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hodkinson, I. D. (2005). Terrestrial insects along elevation gradients: species and community responses to altitude. *Biological Reviews*, 80(3), 489–513. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006767>
- Hulme, P. E., & Kollmann, J. (2005). Seed predator guilds, spatial variation in post dispersal seed predation and potential effects on plant demography: a temperate perspective. *Seed Fate. Predation, Dispersal and Seedling Establishment*, (July). <https://doi.org/10.1079/9780851998060.0009>
- Humphrey, P. T., Gloss, A. D., Alexandre, N. M., Villalobos, M. M., Fremgen, M. R., Groen, S. C., ... Whiteman, N. K. (2016). Aversion and attraction to harmful plant secondary compounds jointly shape the foraging ecology of a specialist herbivore. *Ecology and Evolution*, 6(10), 3256–3268. <https://doi.org/10.1002/ece3.2082>
- Ings, T. C., Montoya, J. M., Bascompte, J., Blüthgen, N., Brown, L., Dormann, C. F., ... Woodward, G. (2009). Ecological networks - Beyond food webs. *Journal of Animal Ecology*, 78(1), 253–269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01460.x>
- Johnson, S. D., Collin, C. L., Wissman, H. J., Halvarsson, E., Johnson, S. D., & Collin, C. L.

(2004). Factors Contributing to Variation in Seed Production among Remnant Populations of the Endangered Daisy *Gerbera aurantiaca* Jon Ågren Published by : Association for Tropical Biology and Conservation Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/30043103> JSTOR is, 36(2), 148–155.

Jordano, P., & Bascompte, J. (2013). *Ecología y Evolución de interacciones planta-animal. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53).  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Kessler, M., Kluge, J., Hemp, A., & Ohlemüller, R. (2011). A global comparative analysis of elevational species richness patterns of ferns. *Global Ecology and Biogeography*, 20(6), 868–880. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00653.x>

Lehndal, L., & Ågren, J. (2015). Latitudinal variation in resistance and tolerance to herbivory in the perennial herb *Lythrum salicaria* is related to intensity of herbivory and plant phenology. *Journal of Evolutionary Biology*, 28(3), 576–589.  
<https://doi.org/10.1111/jeb.12589>

Levin, S. A. (2006). Fundamental questions in biology. *PLoS Biology*, 4(9), 1471–1472.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040300>

Louda, S. M., Potvin, M. A., & Collinge, S. K. (1990). Predispersal seed predation, postdispersal seed predation and competition in the recruitment of seedlings of a native thistle in sandhills prairie. *American Midland Naturalist*, 124(1), 105–113. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2426083>

Lowe S., Browne M., Boudjelas S., D. P. M. (2004). Exóticas Invasoras Más Dañinas. *Aliens*, 12pp.

Matošević, D., & Melika, G. (2013). Recruitment of native parasitoids to a new invasive host: First results of *Dryocosmus kuriphilus* parasitoid assemblage in Croatia. *Bulletin of Insectology*, 66(2), 231–238.

Maunsell, S. C., Kitching, R. L., Burwell, C. J., & Morris, R. J. (2015). Changes in host-parasitoid food web structure with elevation. *Journal of Animal Ecology*, 84(2), 353–363.  
<https://doi.org/10.1111/1365-2656.12285>

McCain, C. M. (2005). Elevational gradients in diversity of small mammals. *Ecology*, 86(2), 366–372. <https://doi.org/10.1890/03-3147>

McNeely, J. A., Mooney, H. A., & Neville, L. E. (2001). *Global Strategy on Invasive Alien Species. IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK.*

Medel, R., Aizen, M., & Zamora, R. (2009). *Ecología y evolución de interacciones planta-*

*animal.*

- Miles, L., Newton, A. C., DeFries, R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., ... Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, *33*(3), 491–505. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>
- Mitchell-Olds, T., & Schmitt, J. (2006). Genetic mechanisms and evolutionary significance of natural variation in *Arabidopsis*. *Nature*, *441*(7096), 947–52. <https://doi.org/10.1038/nature04878>
- Montoya, J. M., Pimm, S. L., & Sole, R. V. (2006). Ecological networks and their fragility. *Nature*, *442*(7100), 259–264. <https://doi.org/10.1038/Nature04927>
- Nakagawa, M., Takeuchi, Y., Kenta, T., & Nakashizuka, T. (2005). Predispersal seed predation by insects vs. vertebrates in six dipterocarp species in Sarawak, Malaysia. *Biotropica*, *37*(3), 389–396. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00051.x>
- Nurse, R. E., Booth, B. D., & Swanton, C. J. (2003). Predispersal seed predation of *Amaranthus retroflexus* and *Chenopodium album* growing in soyabean fields. *Weed Research*, *43*(4), 260–268. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00342.x>
- Olesen, J. M., & Jordano, P. (2002). Geographic patterns in plant-pollinator mutualistic networks. *Ecology*, *83*(9), 2416–2424. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2416:GPIPPM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2416:GPIPPM]2.0.CO;2)
- Preszler, R. W., & Boecklen, W. J. (2016). The influence of elevation on tri-trophic interactions: Opposing gradients of top-down and bottom-up effects on a leaf-mining moth. *ECOSCIENCE*, *3*(1), 75–80.
- R Development Core Team. (2011). R Language Definition. *Web*, *0*, 62. [https://doi.org/10.1016/0164-1212\(87\)90019-7](https://doi.org/10.1016/0164-1212(87)90019-7)
- Ramos-Jiliberto, R., Domínguez, D., Espinoza, C., López, G., Valdovinos, F. S., Bustamante, R. O., & Medel, R. (2010). Topological change of Andean plant-pollinator networks along an altitudinal gradient. *Ecological Complexity*, *7*(1), 86–90. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.06.001>
- Rhoades, D. F. (1985). Offensive-defensive interactions between herbivores and plants: Their relevance in herbivore population dynamics and ecological theory. *American Naturalist*, *125*(2), 205–238. <https://doi.org/10.2307/2461633>
- Richardson, D. M., Allsopp, N., D'Antonio, C. M., Milton, S. J., & Rejmánek, M. (2000). Plant invasions -- the role of mutualisms. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, *75*(1), 65–93. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1999.tb00041.x>

- Richardson, D. M., Pysek, P., Rejmanek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D., West, J., & Mar, N. (2000). Naturalization and Invasion of Alien Plants : Concepts and Definitions  
Naturalization and invasion of alien plants : concepts and definitions, *6*(2), 93–107.
- Rosenzweig, M. L. (2001). The four questions: What does the introduction of exotic species do to diversity? *Evolutionary Ecology Research*, *3*(3), 361–367.
- Sanabria-Silva, A. M., & Amarillo-Suárez, Á. R. (2017). Same but different: Diversity and complexity of an arthropod trophic network and comparative seed viability of an invasive and a native legume species. *Journal of Arid Environments*, 1–8.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.04.004>
- Seabloom, E. W., Harpole, W. S., Reichman, O. J., & Tilman, D. (2003). Invasion, competitive dominance, and resource use by exotic and native California grassland species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *100*(23), 13384–9.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1835728100>
- Sharratt, M. E. J., & Olckers, T. (2012). The biological control agent *Acanthoscelides macrophthalmus* (Chrysomelidae: Bruchinae) inflicts moderate levels of seed damage on its target, the invasive tree *Leucaena leucocephala* (Fabaceae), in the KwaZulu-Natal coastal region of South Afr. *African Entomology*, *20*(1), 44–51. Retrieved from  
[http://reference.sabinet.co.za/webx/access/electronic\\_journals/ento/ento\\_v20\\_n1\\_a6.pdf](http://reference.sabinet.co.za/webx/access/electronic_journals/ento/ento_v20_n1_a6.pdf)
- Solé, R. V., & Bascompte, J. (2006). Complexity in Ecological Systems. *Measures of Complexity*, *40*(chapter 2), 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2007.02.007>
- Solé, R. V., & Montoya, J. M. (2001). Complexity and fragility in ecological networks. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, *268*(1480), 2039–45.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1767>
- Thébault, E., & Fontaine, C. (2010). Stability of ecological communities and the architecture of mutualistic and trophic networks. *Science*, *329*(5993), 853–856.  
<https://doi.org/10.1126/science.1188321>
- Tuda, M., Wu, L. H., Tateishi, Y., Niyomdham, C., Buranapanichpan, S., Morimoto, K., ... Johnson, C. D. (2009). A novel host shift and invaded range of a seed predator, *Acanthoscelides macrophthalmus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae), of an invasive weed, *Leucaena leucocephala*. *Entomological Science*, *12*(1), 1–8.  
<https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2009.00297.x>
- Van Nouhuys, S., & Lei, G. (2004). the causes and Parasitoid-host metapopulation dynamics : of phenological consequences asynchrony. *Society*, *73*(3), 526–535.

- Velázquez Álvarez, O. A., & Aguilar Gallegos, N. (2005). Manual introductorio al análisis de redes sociales. Medidas de centralidad. *REDES-Revista Hispana Para El Análisis de Redes Sociales*, 45. <https://doi.org/10.13140/2.1.4053.7927>
- Wilson, R. J., Gutiérrez, D., Gutiérrez, J., & Monserrat, V. J. (2007). An elevational shift in butterfly species richness and composition accompanying recent climate change. *Global Change Biology*, 13(9), 1873–1887. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01418.x>

**3.LINEAMIENTOS DE  
PUBLICACIÓN SEGÚN JOURNAL  
OF ARID ENVIRONMENTS**



# JOURNAL OF ARID ENVIRONMENTS

## DESCRIPTION

*The Journal of Arid Environments* is an international journal publishing original scientific and technical research articles on physical, biological and cultural aspects of **arid, semi-arid, and desert environments**. As a forum of multi-disciplinary and interdisciplinary dialogue it addresses research on all aspects of arid environments and their past, present and future use.

Research Areas include: **Paleoclimate** and **Paleoenvironments** **Climate** and **Climate Change** **Hydrological processes** and systems **Geomorphological processes** and systems **Soils**

(physical and biological aspects) **Ecology** (Plant and Animal Sciences) **Anthropology** and **human ecology** (archaeology, sociology, ethnobotany, human adaptations, etc. Agriculture Land use grazing, mining, tourism, etc) **Land use** (agronomy, grazing, mining, tourism, etc) **Conservation** (theory, policy, sustainability, economics, heritage) **Land degradation** (desertification) and rehabilitation **Environmental monitoring** and management

## PREPARATION

### NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or lay-out that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

### References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

### Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections.

#### *Figures and tables embedded in text*

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file.

### **REVISED SUBMISSIONS**

#### *Use of word processing software*

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

### **Article structure**

#### *Subdivision - numbered sections*

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

#### *Introduction*

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

#### *Material and methods*

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

#### *Appendices*



If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

### ***Essential title page information***

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

### ***Abstract***

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

### ***Graphical abstract***

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view Example Graphical Abstracts on our information site.

Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements: Illustration Service.

### ***Highlights***

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a

separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). You can view example Highlights on our information site.

## **Keywords**

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

## *Acknowledgements*

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

## **Tables**

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules.

## **References**

### *Citation in text*

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Regular research papers have a reference limit of 50 cites and short communications should not exceed 20 cites.

### *Reference links*

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

A DOI can be used to cite and link to electronic articles where an article is in-press and full citation details are not yet known, but the article is available online. A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <http://dx.doi.org/10.1029/2001JB000884i>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

### *Web references*

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

### *References in a special issue*

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

### *Reference management software*

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation Style Language styles, such as Mendeley and Zotero, as well as EndNote. Using the word processor plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide.