



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y**  
**CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
  
**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

---

**ANÁLISIS DE INTERACCIONES PLANTA - POLINIZADOR**  
**MEDIANTE TEORÍA DE REDES DE UN BOSQUE SIEMPREVERDE**  
**EN ANCUD, REGIÓN DE LOS LAGOS**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**ABRAHAM ANTONIO ALBORNOZ DONOSO**

Profesor Guía: Sr. Rodrigo Ramos Jiliberto, Doctor en Ciencias Naturales

---

Santiago, Chile

2009

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y**  
**CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

**ANÁLISIS DE INTERACCIONES PLANTA - POLINIZADOR**  
**MEDIANTE TEORÍA DE REDES DE UN BOSQUE SIEMPREVERDE**  
**EN ANCUD, REGIÓN DE LOS LAGOS**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**ABRAHAM ANTONIO ALBORNOZ DONOSO**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Rodrigo Ramos Jiliberto	7,0	.....
Prof. Consejero Sr. Manuel Ibarra Martínez	7,0	.....
Prof. Consejero Sr. Horacio Bown Intveen	7,0	.....

A mi estrellita,  
que ha brillado a mi lado  
por toda la eternidad

A mi madre,  
por enseñarme el fascinante mundo  
de las plantas y de la naturaleza

Essentially, all models are wrong,  
but some are useful  
George Box

## AGRADECIMIENTOS

A lo largo de la vida se van cumpliendo etapas, cada una con sus altos y bajos, dejando huellas dentro de nosotros, y diferentes enseñanzas. El término de esta memoria significa el final de una etapa en mi vida, la cual no hubiese sido posible alcanzarla sin un montón de personas que estuvo conmigo a lo largo de este recorrido y a las cuales les agradezco infinitamente.

En primer lugar agradezco a toda mi familia por su constante apoyo durante estos años, ya que sin ellos no habría podido dar por terminada esta etapa. Agradezco especialmente a mi madre y a mi hermano, el gran “Triple T”, por que sin ellos no hubiese entrado a estudiar esta carrera y menos haberla terminado.

Deseo agradecer enormemente a mi profesor guía, Rodrigo Ramos, quien sin siquiera conocerme, me permitió trabajar dentro de su grupo de investigación, confiando en mis capacidades. Agradezco sus consejos, comentarios y su ayuda para guiarme en el ámbito de la investigación científica, y como fruto de este esfuerzo conjunto, han surgido esta memoria y un paper (espero que escribamos muchos más). También agradezco a mis profesores consejeros, Manuel Ibarra y Horacio Bown, por sus comentarios y observaciones dadas para el desarrollo de este trabajo. Por otra parte, agradezco a la Dra. Cecilia Smith, por facilitar algunos de los datos con los cuales desarrollé este estudio, y por los datos publicados en sus investigaciones. También, deseo hacer un agradecimiento especial a Miguel Rodríguez-Gironés y a Roger Guimerà por desarrollar y facilitar los softwares que sirven para analizar las diferentes características topológicas de las redes.

También agradezco a los profesores de esta Facultad, por su apoyo, consejos y los buenos momentos que pasé con ellos tanto en clases como en terreno. En especial a los profesores Juan Caldentey, Juan Pablo Fuentes, Adelina Manríquez, Mila Arellano, María Teresa Serra, Rodolfo Gajardo, Paulette Naulin y Sergio Donoso. Además agradezco a las funcionarias y funcionarios de la Facultad que me han apoyado, compartido buenos momentos y a veces me han salvado sin siquiera saberlo, como a Mariela, Herminia, Claudia, Panchita, Gianinna, Sra. Cristina “Tía pH” y Alex.

Por último, no puedo dejar de agradecer a mis compañer@s y amig@s por todos estos años que hemos compartido juntos, tanto en las buenas como en las malas, en las salas de clases y por supuesto en las salidas a terreno. Agradezco a todos mis compañeros de la 2003, y en forma muy especial agradezco a Pía Vazquez, Jose Arías, Daní Gatica, Eduardo Guajardo, Juan Araya, Mario Alarcón, Nico Morales, Cristina Latorre, René Ramírez, Hernán Retamales, Italo Pérez, Andrés Peñaloza y a Lucho Puz. A todos ellos les deseo mucha suerte en su vida.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Material.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Método.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1. Caracterización de la distribución de grado.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.2. Anidamiento y modularidad.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2.1. Anidamiento.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2.2. Modularidad.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.3. Relevancia de los grupos de plantas y polinizadores.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3.1. Relevancia de los grupos en la distribución de grado.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.3.2. Relevancia de los grupos en el anidamiento.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.3.3. Relevancia de los grupos en la modularidad.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.4. Identificación de las especies clave en la red de Chiloé.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.4.1. Especies clave en la distribución de grado.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.4.2. Especies clave en el anidamiento.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.4.3. Especies clave en la modularidad.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.5. Especies exóticas en la red de Chiloé.....</b>	<b>10</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1. Resultados.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.1. Distribución de grado.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.1.1. Distribución de grado de la red de Chiloé y de las subredes al                     remover los grupos de plantas y polinizadores.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.1.2. Relevancia de las especies en al distribución de grado de la red                     de Chiloé.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1.2. Anidamiento.....</b>	<b>14</b>

3.1.2.1. Anidamiento de la red de Chiloé y de las subredes al remover los grupos de plantas y polinizadores.....	14
3.1.2.2. Especies clave para la conservación de la estructura anidada de la red de Chiloé.....	15
3.1.3. Modularidad.....	16
3.1.3.1. Modularidad de la red de Chiloé.....	16
3.1.3.2. Modularidad de las subredes al remover los grupos de plantas y polinizadores.....	22
3.1.3.3. Especies clave en la conservación de la estructura modular de la red de Chiloé.....	23
3.1.4. Características topológicas de la red sin especies exóticas.....	24
3.2. Discusión.....	25
4. CONCLUSIONES.....	29
5. BIBLIOGRAFÍA.....	30
APÉNDICE 1.....	35
APÉNDICE 2.....	39
APÉNDICE 3.....	41
APÉNDICE 4.....	44
APÉNDICE 5.....	51
ANEXO 1.....	56
ANEXO 2.....	57

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características básicas de la red de Chiloé.....	4
Cuadro 2. Características básicas de las subredes.....	7
Cuadro 3. Distribución de grado de la red de Chiloé y de los grupos de plantas y animales.....	12
Cuadro 4. Anidamiento de la red de Chiloé y de los grupos de plantas y animales.....	15
Cuadro 5. Características de los módulos presentes en la red de Chiloé.....	17
Cuadro 6. Roles en los conjuntos de polinizadores y de plantas.....	20
Cuadro 7. Porcentaje de participación de las especies de los grupos en los distintos roles.....	20
Cuadro 8. Comparación entre los índices de modularidad de la red de Chiloé y de las subredes, en que se retira un grupo de plantas o animales, versus las redes generadas azar.....	22
Cuadro 9. Comparación entre los índices de modularidad de los grupos de plantas y animales versus las redes con eliminación del mismo número de especies al azar.....	22

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de grado para la red entera, las plantas y los polinizadores.....	11
Figura 2. Diferencias en el exponente de la ley de potencia entre las submatrices en que se retira una especie y la red de Chiloé.....	13
Figura 3. Grafo bipartito que muestra la estructura anidada de la red de Chiloé.....	14
Figura 4. Diferencias en temperatura entre las submatrices en que se retira una especie y la red de Chiloé.....	16
Figura 5. Gráfico de porcentaje de los roles de las especies dentro de los distintos grupos.....	21
Figura 6. Diferencias en el índice de modularidad entre las submatrices en que se retira una especie y la red de Chiloé.....	23



## RESUMEN

En este estudio se analiza, mediante teoría de redes, la estructura de interacciones planta-polinizador de un bosque templado localizado en Ancud. Las propiedades topológicas de esta red como distribución de grado, anidamiento y modularidad son examinadas. Además, se analiza la relevancia de diferentes subconjuntos de plantas (clasificados por forma de vida) y de polinizadores (agrupados por orden taxonómico) para la estructura de la red. Para esto, se removió cada grupo de plantas y polinizadores y se analizó los patrones de conectividad resultante. Finalmente, se evaluó la sensibilidad de la estructura de la red a la pérdida de especies individuales para identificar potenciales objetivos para conservación de la estructura de la red. Los resultados muestran que la red planta-polinizador del bosque templado de Chiloé exhibe una distribución de grado mejor descrita por un modelo de ley de potencia, y una estructura de interacciones anidada y modular. Dentro de los grupos de especies de plantas y animales, los árboles, arbustos y los himenópteros son los que mantienen el núcleo de interacciones de la red de polinización y podrían garantizar la persistencia de la mayoría de las especies. Las especies *Tepualia stipularis* y *Bombus dahlbomii*, entre otras, ejercen una gran influencia en la preservación de la estructura de la red. El uso de la teoría de redes permite identificar conjuntos de especies relevantes para la conservación de la estructura de la red, situando a la teoría de redes como una valiosa herramienta para la toma de decisiones y planificación de estrategias de conservación.

**PALABRAS CLAVES:** Anidamiento, bosques templados de Chiloé, distribución de grado, modularidad, redes de polinización.

## SUMMARY

This study analyzes the plant-pollinator interaction structure by means of network theory, in a temperate forest of Ancud, Chile. The topological properties of this network, such as degree distribution, nestedness and modularity are examined. Moreover, the relevance of different subset of plants (classified by life forms) and pollinators (grouped by taxonomic order) for the structure of the network are analyzed. Each group of plants and pollinators were removed, and the resultant connectivity patterns were analyzed. Finally, the sensitivity of network structure to the loss of single species was analyzed, in order to identify potential targets for conservation. The results show that the plant-pollinator network of Chiloe temperate forest exhibits a degree distribution best described by a power law model, and a nested as well as modular interaction structure. The most important groups of plant and animal species were shown to be trees, shrubs and hymenopterans. These groups are predicted to maintain the interaction core of the pollination network and could guarantee the persistence of most species. The species *Tepualia stipularis* and *Bombus dahlbomii*, among others, exert a large influence on the preservation of the network structure. The use of network theory allowed identifying groups of relevant species for the conservation of the community structure, placing network theory as a valuable tool for decision making and planning of conservation strategies.

**KEYWORDS:** Nestedness, Chiloe temperate forest, degree distribution, modularity, pollination networks.

## 1. INTRODUCCIÓN

El término ecosistema fue propuesto por Tansley en 1935, quien lo definió como “un sistema que incluye el complejo de organismos presentes en una región dada, más el complejo de todos los factores físicos de dicha región”. Desde entonces, han surgido numerosas definiciones, como la propuesta por Eugene P. Odum, en 1953, quien señaló que los ecosistemas son “una unidad natural que incluye las partes bióticas y abióticas que interactúan entre sí, produciendo un sistema estable en el cual el intercambio de materiales entre estos componentes sigue un camino circular...”, o la definición más moderna de Levin (1998), la cual señala que los ecosistemas son “sistemas complejos adaptativos” que se encuentran lejos de un equilibrio global, debido a que los componentes de estos sistemas y sus interacciones cambian constantemente. A pesar de las numerosas definiciones existentes, todas poseen en común que el funcionamiento de estos sistemas se basa en una compleja red de interacciones en la cual se intercambia materia, energía e información.

Dentro de un ecosistema, una parte importante de esa red de interacciones ocurre entre sus componentes bióticos. Estos componentes están conformados por las distintas poblaciones animales y vegetales presentes en el área y se denominan comunidades ecológicas (Begon *et al.*, 2006). Algunos ejemplos de estas relaciones son las interacciones tróficas, la competencia intra e interespecífica y las relaciones mutualistas, entre otras.

La composición de especies interactuantes y su patrón de interacciones, conforman la estructura de una comunidad, la cual influye de manera importante en la dinámica, estabilidad y robustez de la misma y del ecosistema del cual forma parte.

La necesidad de comprender los patrones originados por las interacciones a nivel comunitario, como también sus procesos subyacentes, a fin de obtener una mejor aproximación al funcionamiento de los ecosistemas y de la dinámica de estos, ha llevado al desarrollo de nuevas herramientas para tratar la complejidad de los sistemas biológicos. Un avance sustancial y reciente en este sentido es la teoría de redes complejas para el análisis de las relaciones bióticas.

Sin embargo, el uso de redes en ecología no es reciente. Ecólogos como Lindenman y Odum fueron pioneros en el uso de redes para representar y describir redes tróficas (Lindenman, 1942; Odum, 1956). Posteriormente, según lo señalado por Solé y Bascompte (2006), se ha hecho uso de redes para describir los ecosistemas de una manera holística (donde todas las partes, incluido el ambiente son consideradas), mediante la utilización de diagramas de flujos de energía (Odum, 1983) basados en la Teoría General de Sistemas desarrollada por von Bertalanffy.

Hoy en día, la utilización de la teoría de redes complejas para el análisis de relaciones bióticas se centra principalmente en interacciones antagonistas, como redes tróficas y redes parasito-hospedero, y en interacciones mutualistas planta-polinizador y planta-dispersor. En este tipo de redes, las especies son representadas por nodos (o vértices) y las interacciones entre estos nodos son llamadas arcos (o aristas).

Por su parte, las redes de interacciones mutualistas planta-polinizador son representadas por grafos bipartitos (Bascompte y Jordano, 2006). Esto significa que existen dos conjuntos

distintos de nodos: un conjunto que está constituido sólo de plantas y otro sólo de polinizadores. Las interacciones en este tipo de red se dan entre los conjuntos y nunca dentro de éstos. Alternativamente, esta red mutualista se puede representar como una matriz binaria con las plantas como filas y los polinizadores como columnas. Cada elemento de esa matriz puede ser un uno, si la interacción particular entre una planta y un polinizador existe, o cero si no hay interacción (Bascompte *et al.*, 2003).

Recientemente muchas investigaciones se han enfocado en las propiedades estadísticas, las cuales reflejan la estructura (o topología) de las redes planta-polinizador (Bascompte y Jordano, 2006), dentro de las cuales destacan tres: Distribución de grado, anidamiento y modularidad.

El grado es el número de interacciones que una especie posee. La distribución de grado es la frecuencia de especies con un número de interacciones dado. Para este tipo de red, se han descrito distribuciones con funciones tales como leyes de potencia (power law) o leyes de potencia truncadas con caída exponencial (truncated power law) (Jordano *et al.*, 2003; Vázquez, 2005). Las redes que poseen estos tipos de distribuciones tienden a ser más robustas a la pérdida aleatoria de nodos y más frágiles frente a la pérdida de nodos con muchos arcos (Albert *et al.*, 2000; Dunne *et al.*, 2002b).

El anidamiento es un concepto tomado de la teoría de biogeografía de islas (Atmar y Patterson, 1993) y fue usado para ilustrar cómo un grupo de especies se distribuye entre un conjunto de sitios. Bascompte y Jordano (2006) señalan que esta idea permite generar una analogía aplicable a redes de polinización, en la cual cada una de las especies de plantas es una "isla" que alberga varias especies de animales que aprovechan recursos dentro de ellas. La medida del anidamiento de una matriz se denomina temperatura, la cual varía entre 0 a 100, donde cero corresponde a una matriz perfectamente anidada y 100 para una matriz perfectamente desanidada (Atmar y Patterson, 1993). Una matriz mutualista es anidada si las especies generalistas (las que presentan mayor números de interacciones) interactúan tanto con las especialistas (que poseen pocas aristas) como con generalistas; mientras que las especialistas sólo lo hacen con las especies generalistas (Bascompte *et al.*, 2003). De esta manera, un pequeño número de generalistas forman el núcleo de interacciones de la red.

La modularidad de una red, según Olesen *et al.* (2007), es la medida de la organización de las interacciones de las especies en módulos claramente definidos. El grado de modularidad puede medirse a través del índice de modularidad. Los módulos corresponden a regiones densas de arcos (o interacciones) dentro de la red ecológica. Al interior de cada módulo las especies están más estrechamente conectadas entre sí que con especies de otros módulos. La modularidad puede reflejar la heterogeneidad del hábitat, los regímenes de selección divergente, y la agrupación filogenética de especies estrechamente relacionadas, lo que lleva a patrones no aleatorios de interacción. Una estructura modular impide la propagación de defectos deletéreos a través de la red (Olesen *et al.*, 2007). Dentro de una red con estructura modular, se pueden clasificar cada uno de los nodos de acuerdo al número de interacciones que poseen dentro y entre los módulos. De esta clasificación se determinan "roles" para cada especie de acuerdo a su participación en la estructura modular. Guimerà y Amaral (2005a, b) establecieron que en cualquier tipo de red se pueden encontrar siete roles.

Posteriormente, para redes de polinización, Olesen *et al.* (2007) redujo esta clasificación a cuatro roles, la cual será utilizada en este trabajo.

Estas propiedades topológicas tienen implicancias profundas tanto a nivel coevolutivo como a nivel de las dinámicas de las comunidades ecológicas, y para la biología de la conservación (Bascompte y Jordano, 2006). Esto conduce a que el análisis de interacciones mutualistas entre plantas y polinizadores, en base a teoría de redes complejas, ha permitido aumentar nuestra comprensión del rol que poseen las diferentes especies en la estructura, estabilidad y dinámica de las comunidades ecológicas, en diferentes tipos de ecosistemas. Esto posibilita la identificación de las especies o grupos de especies clave para el funcionamiento del ecosistema en estudio, lo cual transforma a la teoría de redes complejas en una herramienta adecuada para la toma de decisiones en el momento de efectuar acciones de conservación dentro de un sistema ecológico.

Dentro de los ecosistemas forestales, las investigaciones de este tipo son escasas. Una limitante fundamental para el desarrollo de este tipo de estudios radica en la escasez de información sobre las redes de interacciones planta-polinizador, a pesar de su importancia para el intercambio genético y la producción de frutos en distintos tipos de bosques.

En Chile, los estudios de las interacciones planta-polinizador en ecosistemas forestales se han limitado, en el mejor de los casos, a la descripción de los polinizadores de las distintas especies vegetales de un bosque (Riveros *et al.*, 1991; Aizen *et al.*, 2002; Smith-Ramírez *et al.*, 2005). Sin embargo, a la fecha existen pocos estudios publicados sobre los patrones estructurales que se originan de estas interacciones y de la importancia de las diferentes especies de plantas y de animales, para el funcionamiento de estos ecosistemas.

Este trabajo tiene como objetivo general analizar, mediante el uso de herramientas de la teoría de redes, la estructura o topología de la red de interacciones planta-polinizador, de un bosque siempreverde ubicado en las cercanías de Ancud, Región de Los Lagos.

Los objetivos específicos planteados son: a) caracterizar la distribución de grado de la red en estudio, tanto para la red completa como para los ensambles de plantas y polinizadores por separado; b) establecer si la red en estudio presenta una estructura de interacciones más anidada y más modular que lo esperado por azar; c) analizar la relevancia, a nivel de topología de la red, de los diferentes grupos de plantas y polinizadores existentes y d) identificar las especies individuales con mayor impacto para la conservación de la estructura de la red.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Material

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó como material de estudio una base de datos publicada por Smith-Ramírez *et al.* (2005), la cual contiene la información necesaria para construir una red de interacción mutualista planta-polinizador. Estos datos fueron tomados en un bosque siempreverde cerca de Ancud, Región de Los Lagos. Esta base de datos presenta una alta resolución taxonómica. Además, esta base de datos fue complementada con información actualizada, proporcionada por la Dra. Cecilia Smith<sup>1</sup>.

Esta red cuenta con 26 especies de plantas y 128 especies de animales, existiendo un total de 311 interacciones. El listado de las especies de plantas y animales, más algunas de sus características biológicas se encuentran en los anexos 1 y 2, respectivamente. Algunos aspectos básicos de esta red de polinización se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características básicas de la red de Chiloé

Especies de Plantas				Especies de Animales			
	Nº de especies	Nº de interacciones	Nº promedio de interacciones		Nº de especies	Nº de interacciones	Nº promedio de interacciones
Árboles	9	197	21,9	Coleópteros	47	91	1,9
Arbustos	11	94	8,5	Dípteros	52	112	2,2
Enredaderas	5	15	3	Himenópteros	21	94	4,5
Herbáceas	1	5	5	Lepidópteros	2	2	1
				Hemípteros	1	2	2
				Megalópteros	1	1	1
				Aves	4	9	2,3
Total	26	311	12,0	Total	128	311	2,4

### 2.2. Método

#### 2.2.1. Caracterización de la distribución de grado

La distribución de grado fue analizada tanto para la red entera como para los conjuntos de polinizadores y de plantas, por separado. Para ajustar la forma de cada distribución, se utilizó la distribución de probabilidad acumulada, la cual evita el problema de la exclusión arbitraria de clases sin información, mejorando la estimación para bases de datos pequeñas y ruidosas (Dunne *et al.*, 2002a), como es esperado para datos ecológicos.

Para cada distribución de grado observada, se ajustaron tres modelos alternativos de distribución, los cuales corresponden a los más usados para la descripción de redes ecológicas (Jordano *et al.*, 2003). Estos modelos corresponden a: (a) modelo exponencial ( $P(k) \sim e^{-\alpha k}$ ), (b) ley de potencia o “power law” ( $P(k) \sim k^{-\gamma}$ ) y (c) ley de potencia truncada o

<sup>1</sup> Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Center for Advances studies in Ecology and Biodiversity (CASEB), Pontificia Universidad Católica de Chile; Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB).

“truncated power law” ( $P(k) \sim k^{-\gamma} e^{-k/kc}$ ). Donde  $k$  corresponde al grado o número de interacciones que poseen una determinada cantidad de especies,  $P(k)$  es la frecuencia acumulada de especies que posee un determinado grado,  $\alpha$  y  $\gamma$  son los parámetros de ajuste y  $kc$  es el valor de truncación que define la caída exponencial.

Para seleccionar el mejor modelo que describa las distribuciones de grados observadas se usó el criterio de información de Akaike (AIC) (Burnham y Anderson, 2004).

El ajuste de los modelos de distribución de grado y la selección de éstos se llevó a cabo con el software estadístico R (R Development Core Team, 2008), utilizando las funciones *nls* y *AIC* (ver apéndice 6).

## **2.2.2. Anidamiento y modularidad**

### **2.2.2.1. Anidamiento**

El anidamiento es una medida del nivel de organización de las interacciones dentro de una red. Una matriz mutualista es anidada si las especies generalistas (las que presentan mayor números de interacciones) interactúan tanto con las especialistas (que poseen pocas aristas) como con generalistas; mientras que las especialistas sólo lo hacen con las especies generalistas, de esta manera, un pequeño número de generalistas forman el núcleo de interacciones de la red (Bascompte *et al.*, 2003). Ejemplos de redes con estructuras anidadas (y otras propiedades topológicas) se pueden encontrar en el apéndice 1.

Para medir el anidamiento de la red de Chiloé, se utilizó el software BINMATNEST, desarrollo por Rodríguez-Gironés y Santamaría (2006). Este software contrasta la medida de anidamiento, o temperatura de la matriz, con la distribución empírica de temperaturas obtenida a partir de la generación de matrices aleatorias generadas mediante un modelo nulo (modelo III de BINMATNEST, que corresponde al modelo II presentado por Bascompte *et al.*, 2003), el cual viene incorporado dentro del software. Este modelo nulo genera una matriz  $A$ , donde cada elemento  $A_{ij}$  de la matriz puede ser igual a uno con probabilidad  $(P_{ri} + P_{cj})/2$ , donde  $P_{ri}$  es la fracción de presencia de interacciones de la matriz en estudio dentro de una fila  $i$  y  $P_{cj}$  es la fracción de presencia de interacciones de la matriz en estudio dentro de una columna  $j$ . La media aritmética y la desviación estándar de las temperaturas de las matrices nulas se utilizan para estandarizar la temperatura de la matriz en estudio. El valor de la temperatura estandarizada se expresa como “z-scores”, y permite calcular el “p-value” asociado (para mayor detalle acerca del cálculo del “p-value” ver apéndice 2).

La representación gráfica de la estructura anidada de la red de Chiloé se realizó con el software PAJEK (Batagelj, 2009)

### **2.2.2.2. Modularidad**

Para analizar la modularidad de la red de Chiloé, se empleó el algoritmo SA, el cual está implementado en el software NETCARTO, desarrollado por Guimerà y Amaral (2005a, b). Este software entrega como resultado, el índice de modularidad, el número de módulos existentes y los roles de cada una de las especies en la red de Chiloé.

El índice de modularidad es básicamente una medida del grado en que las especies tienen más interacciones dentro de sus módulos que lo esperado por azar (Olesen *et al.*, 2007). La ecuación 1, muestra la fórmula para calcular este índice es:

$$M = \sum_{s=1}^{N_m} \left( \frac{I_s}{I} - \left( \frac{k_s}{2I} \right)^2 \right) \quad (1)$$

Donde  $N_m$  es el número de módulos en la red,  $I_s$  es el número de arcos entre todas las especies dentro de un módulo  $s$ ,  $I$  es el número de arcos en la red, y  $k_s$  es la suma de los grados de todas las especies en  $s$ . El valor de  $M$  se encuentra dentro del rango  $[0, 1/N_m]$ . El índice de modularidad de esta red, fue comparado con los índices de modularidad de matrices con estructura aleatoria generadas por este programa, (para este análisis se usaron  $n = 100$  matrices aleatorias, al igual que Olesen *et al.* (2007)). Esto permite saber si el índice de modularidad obtenido para la red de Chiloé, puede ser producto del azar. Para esto se calculó el “p-value” del índice de modularidad de la red de Chiloé, con respecto de la distribución de índices de modularidad de las matrices con estructura aleatoria, de la misma manera que en el punto 2.2.2.1.

En cuanto a los módulos existentes en la red, el programa entrega el número de módulos detectados por la red y las especies de plantas y animales que los componen. De esta manera, se caracterizó cada uno de los módulos existentes, según las características biológicas de las especies que éstos poseen (ver anexos 1 y 2)

Por otra parte, el programa entrega los roles de cada una de las especies, definidos previamente por Guimerà y Amaral (2005a, b). Sin embargo, se utilizó la clasificación de roles para redes de polinización propuesta por Olesen *et al.* (2007). Esta clasificación agrupa a las diferentes especies en cuatro roles, en función de la cantidad de arcos que una especie posee en comparación al resto de las otras especies dentro de su propio módulo y de qué tan conectada esté a las especies de otros módulos. Por lo tanto, el rol de una especie  $i$  puede ser caracterizado por el grado estandarizado dentro del módulo ( $Z$ ) (ecuación 2) y por su conectividad entre módulos ( $C$ ) (ecuación 3).

$$Z_i = \frac{k_{is} - \bar{k}_s}{SD_{k_s}} \quad (2)$$

$$C_i = 1 - \sum_{t=1}^{N_m} \left( \frac{k_{it}}{k_i} \right)^2 \quad (3)$$

Los parámetros de las ecuaciones anteriores se definen como:  $k_{is}$  es el número de arcos de la especie  $i$  a otras especies de su propio módulo  $s$ ,  $k_s$  y  $SD_{k_s}$  corresponde a la media y desviación estándar de los grados dentro del módulo de todas las especies en  $s$ .  $k_i$  es el grados de la especie  $i$ ,  $k_{it}$  es el número de arcos desde  $i$  a las especie del modulo  $t$ -ésimo (incluyendo el propio módulo de  $i$ ) y  $N_m$  es el número de módulos que existen en la red.



Los roles propuestos por Olesen *et al.* (2007) son: especies periféricas, especies “hubs” de módulos, especies conectoras y especies “hubs” de la red. Los tres últimos se denominan como especies generalistas. Las especies periféricas son las especies que poseen pocas interacciones, e interactúan casi exclusivamente con especies de su mismo módulo y poseen un  $Z \leq 2,5$  y  $C \leq 0,62$ . Las especies “hubs” de módulos corresponden a especies altamente conectadas a muchas especies dentro de su propio módulo y por lo tanto son importantes para la coherencia de su propio módulo. Poseen un  $Z > 2,5$  y  $C \leq 0,62$ . Las especies conectoras son especies altamente conectadas a especies de diferentes módulos, actuando como “pegamento” de los diferentes módulos que existen en la red, lo que las convierte en especies importantes para la coherencia de la red. Tienen un  $Z \leq 2,5$  y un  $C > 0,62$ . Por último, las especies “hubs” de la red o supergeneralistas son aquellas especies que actúan tanto de especies conectoras como de especies “hubs” de módulos, lo que es importante para mantener la coherencia tanto de la red como de su propio módulo. Poseen un  $Z > 2,5$  y un  $C > 0,62$ .

### 2.2.3. Relevancia de los grupos de plantas y polinizadores

En cuanto al análisis de la relevancia de los diferentes grupos de plantas y polinizadores presentes en la red, se removieron diferentes grupos de plantas y polinizadores, para posteriormente medir el anidamiento, distribución de grado y modularidad de estas subredes. Estas propiedades estadísticas fueron comparadas con las propiedades de la red de Chiloé, de manera de ver si la remoción de un grupo genera cambios importantes en la estructura de interacciones observadas.

Las plantas se clasificaron en tres grupos, de acuerdo a su forma de vida: árboles, arbustos y enredaderas. A su vez, los polinizadores fueron clasificados en tres grupos de acuerdo al orden taxonómico de las especies: coleópteros, dípteros e himenópteros. A partir de esta clasificación de especies, se crearon seis subredes, las cuales no poseían uno de los grupos anteriormente nombrados. Estas subredes son: la subred sin árboles, la subred sin arbustos, la subred sin enredaderas, la subred sin coleópteros, la subred sin dípteros y la subred sin himenópteros. Algunas de las características de estas subredes son mostradas en el cuadro 2. La clasificación de las distintas especies en estos seis grupos se realizó sobre la base del trabajo realizado por Smith *et al.* (2005) (ver anexo 1 y 2).

Cuadro 2. Características básicas de las subredes.

	Red completa	Subred sin Árboles	Subred sin Arbustos	Subred sin Enredaderas	Subred sin Coleópteros	Subred sin Dípteros	Subred sin Himenópteros
Especies de plantas que presentan interacciones	26	17	15	21	26	24	22
Especies de animales que presentan interacciones	128	66	105	128	81	76	107
Nº de interacciones	311	114	217	296	220	199	217

### **2.2.3.1. Relevancia de los grupos en la distribución de grado**

Para las seis subredes, se calculó la distribución de grado de la misma forma explicada en el punto 2.2.1 para la red de Chiloé con todos los datos.

Posteriormente se comparó la distribución de grado de la red entera y de los ensambles de plantas y polinizadores por separado, de cada subred, con los resultados obtenidos para la red de Chiloé con todos los datos, de manera de observar si existen diferencias en los modelos ajustados. Si existe un cambio en los modelos ajustados, que expliquen la distribución de grado de la red entera, así como para los ensambles de plantas y polinizadores por separado, significa que ese grupo tiene relevancia a nivel topológico para la red de Chiloé.

### **2.2.3.2. Relevancia de los grupos en el anidamiento**

Para medir el efecto de la remoción de los diferentes grupos sobre el anidamiento de la red de Chiloé, se calculó si la temperatura de cada subred se encuentra dentro de la distribución de temperaturas obtenidas de 1.000 matrices con estructura aleatoria. Estas matrices fueron generadas mediante la eliminación de especies al azar de la matriz de datos original que representa a la red. El número de especies eliminadas de estas matrices aleatorias, es igual al número de especies de un grupo (de plantas o animales) con el cual se está comparando. Esto asegura que las matrices aleatorias posean el mismo número de plantas y animales que la subred sin el grupo objetivo a comparar. La temperatura de cada una de las redes se calculó mediante el programa BINMATNEST (Rodríguez-Gironés y Santamaría, 2006).

De esta manera, se puede observar si la eliminación de un grupo provoca una variación significativa en el anidamiento de la red, comparada con una eliminación aleatoria de la misma cantidad de especies (plantas o animales, según sea el caso). Para saber si la temperatura de cada subred se encuentra dentro de la distribución de temperaturas de las matrices aleatorias con similar conectancia, se calcularon los “p-values” correspondientes, de la misma manera que lo expuesto en el punto 2.2.2.1.

### **2.2.3.3. Relevancia de los grupos en la modularidad**

Para analizar la relevancia de los diferentes grupos sobre la modularidad de la red de Chiloé, se calculó el índice de modularidad de cada grupo mediante el algoritmo SA (Guimerà y Amaral, 2005a, b), y se comparó si este índice difería significativamente del azar, mediante el “p-value”, al compararlo con 100 matrices de estructura aleatoria, generadas por el programa.

Además, se calculó el índice de modularidad a 100 matrices aleatorias. El número de especies eliminadas de estas matrices aleatorias, es igual al número de especies de un grupo que fueron sacados de una subred. Estos índices fueron comparados con sus respectivos grupos, y mediante el cálculo del “p-value”, se observó si la modularidad de un grupo difiere significativamente de la eliminación al azar del mismo número de especies.

#### **2.2.4. Identificación de las especies clave en la red de Chiloé**

Para identificar las especies clave en la estructura de la red de Chiloé, se generaron submatrices, las cuales fueron obtenidas mediante la eliminación de una especie, con reposición, de la matriz de datos original. Este procedimiento dio origen a 154 submatrices, una por cada especie eliminada (26 especies de plantas y 128 especies de animales).

Las propiedades estadísticas de cada submatriz fueron calculadas, y comparadas con las propiedades de la matriz de datos original. Si una submatriz presentó una anomalía en algunas de las propiedades estadísticas, sustancialmente diferente que las presentadas por la mayoría de las submatrices, entonces se consideró que la especie faltante en esa submatriz es clave para la conservación de la topología de la red.

##### **2.2.4.1. Especies clave en la distribución de grado**

Se calculó la distribución de grado para cada submatriz, de la misma manera que fue explicada en el punto 2.2.1. Sin embargo, de los tres modelos de distribución de grado solamente se ajustó el modelo de la ley de potencia ( $P(k) \sim k^{-\gamma}$ ) para los datos de la red entera (no para los ensambles de polinizadores y plantas por separado), debido a que se desea saber el efecto de cada especie sobre las propiedades topológicas a nivel de la red completa. De esta manera, para poder identificar las especies importantes para la conservación de esta propiedad, se calculó el efecto de cada submatriz en el parámetro de forma  $\gamma$  de la ley de potencia.

Para esto, se calculó la diferencia, o anomalía, entre el valor  $\gamma$  de la matriz original con el valor  $\gamma$  de cada submatriz, obteniendo como resultado una distribución de anomalías. A esta distribución se le calculó un intervalo de confianza del 95%. Si alguna submatriz presentó una anomalía fuera este intervalo de confianza, se consideró que la especie eliminada de esa submatriz es relevante para la conservación de la distribución de grado observada en la red de Chiloé.

##### **2.2.4.2. Especies clave en el anidamiento**

La temperatura de cada submatriz fue calculada mediante el programa BINMATNEST (Rodríguez-Gironés y Santamaría, 2006). Posteriormente, se calculó la diferencia, o anomalía, entre la temperatura de la matriz original con la temperatura de cada submatriz, obteniendo como resultado una distribución de anomalías. A esta distribución se le calculó un intervalo de confianza del 95%. Si alguna submatriz presentó una anomalía fuera este intervalo de confianza, se consideró que la especie eliminada de esa submatriz es relevante para la conservación de la estructura anidada observada en la red de Chiloé.

#### **2.2.4.3. Especies clave en la modularidad**

A cada submatriz se le calculó el índice de modularidad mediante el algoritmo SA (Guimerà y Amaral, 2005a, b). A continuación, se calculó la diferencia, o anomalía, entre el valor de índice de modularidad de la matriz original con el valor de cada submatriz, obteniendo como resultado una distribución de anomalías. A esta distribución se le calculó un intervalo de confianza del 95%. Si alguna submatriz presentó una anomalía fuera este intervalo de confianza, se consideró que la especie eliminada de esa submatriz es relevante para la conservación de la estructura modular observada en la red de Chiloé.

#### **2.2.5. Especies exóticas en la red de Chiloé**

Debido a la presencia *Apis mellifera* y *Vespula germanica*, dos especies exóticas en la red de Chiloé, se llevó a cabo un análisis de las propiedades estructurales de la red: distribución de grado, anidamiento y modularidad, de forma similar a lo expuesto en los puntos anteriores, para tener una aproximación de la topología de la red “nativa”. Estos análisis son complementarios a nuestros objetivos centrales y por tanto no se profundiza en este aspecto.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Distribución de grado

##### 3.1.1.1. Distribución de grado de la red de Chiloé y de las subredes al remover los grupos de plantas y polinizadores

El mejor modelo que describió la distribución de grado de la red entera como para el ensamble de animales, fue la ley de potencia, mientras que para el conjunto de plantas, el modelo exponencial es el que mejor se ajusta a la distribución de grado de este grupo (figura 1, cuadro 3).

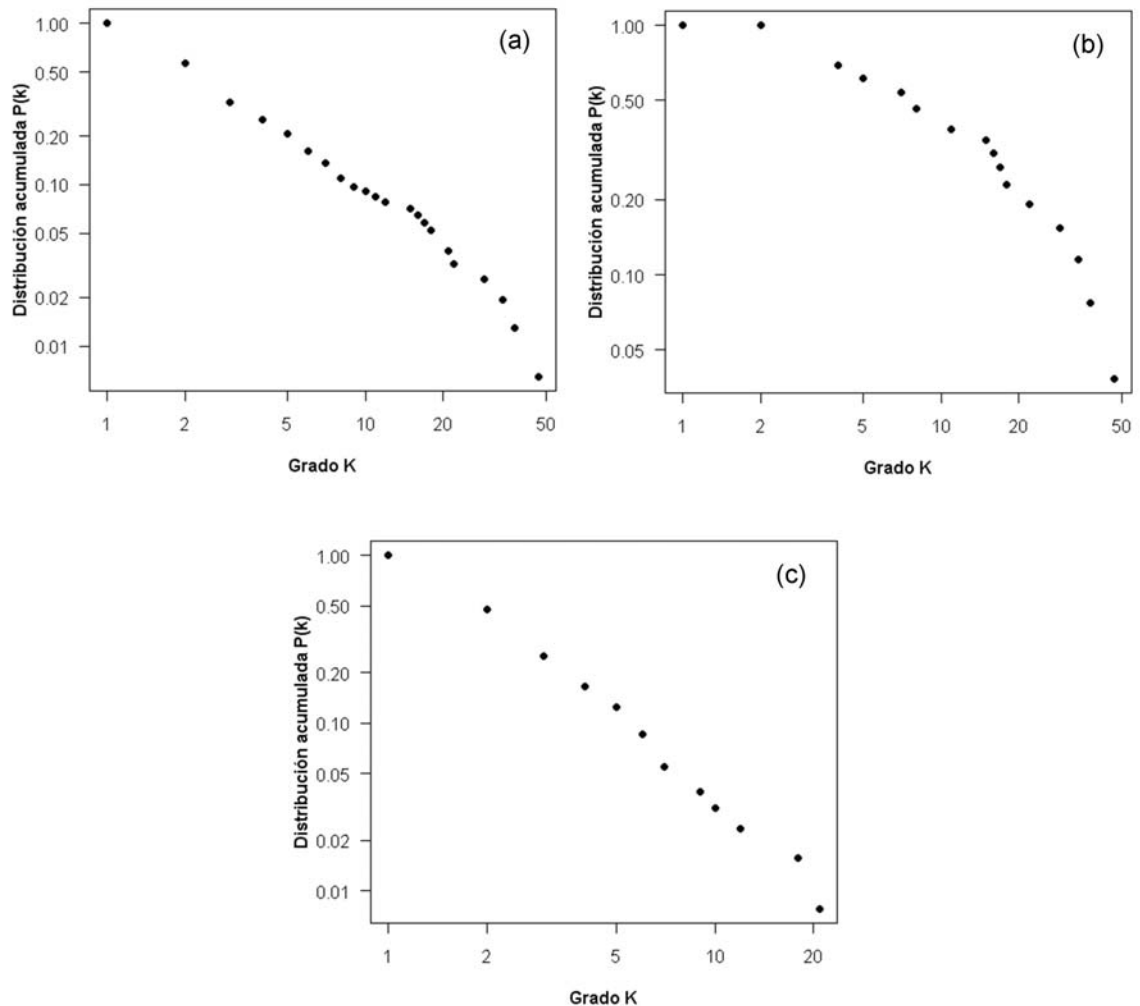


Figura 1. Distribución de grado para la red entera (a), las plantas (b) y los polinizadores (c)

En cuanto al análisis de la distribución de grado al remover los diferentes grupos de plantas y animales se observó que no se produjeron cambios cualitativos al remover los árboles, las

enredaderas y los coleópteros, con respecto a la red original. Sin embargo, la distribución de grado de la red entera cambió desde una ley de potencia a una ley de potencia truncada, al remover las especies de dípteros. En cuanto a la distribución de grado de las plantas, ésta cambió desde modelo exponencial a una ley de potencia, al remover los himenópteros. Por otra parte, la distribución de grado de los animales cambio desde una ley de potencia a un modelo exponencial, cuando se removieron los arbustos e himenópteros. Los valores de los parámetros ajustados y varianza explicada por el modelo se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Distribución de grado de la red de Chiloé y de los grupos de plantas y animales

<b>Red analizada</b>	<b>Mejor modelo ajustado</b>	<b>Valor de los parámetros</b>	<b>Varianza explicada</b>
<b>Red de Chiloé</b>			
Red entera	Ley de Potencia	$\gamma = 0,999$	0,990
Plantas	Exponencial	$\alpha = 0,088$	0,952
Animales	Ley de Potencia	$\gamma = 1,275$	0,993
<b>Red sin Árboles</b>			
Red entera	Ley de Potencia	$\gamma = 1,33$	0,997
Plantas	Exponencial	$\alpha = 0,207$	0,932
Animales	Ley de Potencia	$\gamma = 1,937$	0,996
<b>Red sin Arbustos</b>			
Red entera	Ley de Potencia	$\gamma = 1,081$	0,992
Plantas	Exponencial	$\alpha = 0,059$	0,966
Animales	Exponencial	$\alpha = 0,714$	0,997
<b>Red sin Enredaderas</b>			
Red entera	Ley de Potencia	$\gamma = 1,015$	0,996
Plantas	Exponencial	$\alpha = 0,069$	0,983
Animales	Ley de Potencia	$\gamma = 1,31$	0,991
<b>Red sin Coleópteros</b>			
Red entera	Ley de Potencia	$\gamma = 0,907$	0,987
Plantas	Exponencial	$\alpha = 0,122$	0,971
Animales	Ley de Potencia	$\gamma = 1,19$	0,997
<b>Red sin Dípteros</b>			
Red entera	Ley de Potencia Truncada	$\gamma = 0,733$ $kc = 15,665$	0,999
Plantas	Exponencial	$\alpha = 0,135$	0,987
Animales	Ley de Potencia	$\gamma = 1,198$	0,994
<b>Red sin Himenópteros</b>			
Red entera	Ley de Potencia	$\gamma = 1,137$	0,998
Plantas	Ley de Potencia	$\gamma = 0,559$	0,967
Animales	Exponencial	$\alpha = 0,739$	0,992

### 3.1.1.2. Relevancia de las especies en la distribución de grado de la red de Chiloé

Dentro del conjunto de plantas relevantes para la conservación de la distribución de grado, la especie arbórea *Myrceugenia ovata* y la especie arbustiva *Tepualia stipularis* poseen una papel fundamental para la conservación de la forma de la distribución de grado (figura 2).

Por otra parte, dentro del conjunto de polinizadores, las especies de dípteros: *Melanostoma sp.* (fam: Syrphidae) (figura 2, n°87) y de los himenópteros: *Apis mellifera* (fam: Apidae) (figura 2, n°100), *Bombus dahlbomii* (fam: Apidae) (figura 2, n°101) y *Corynura patagonica* (fam: Halictidae) (figura 2, n°107), ayudan a preservar la forma de la distribución de grado de la red de Chiloé. Estas especies aparecen en la figura 2, ordenadas y numeradas en forma ascendente.

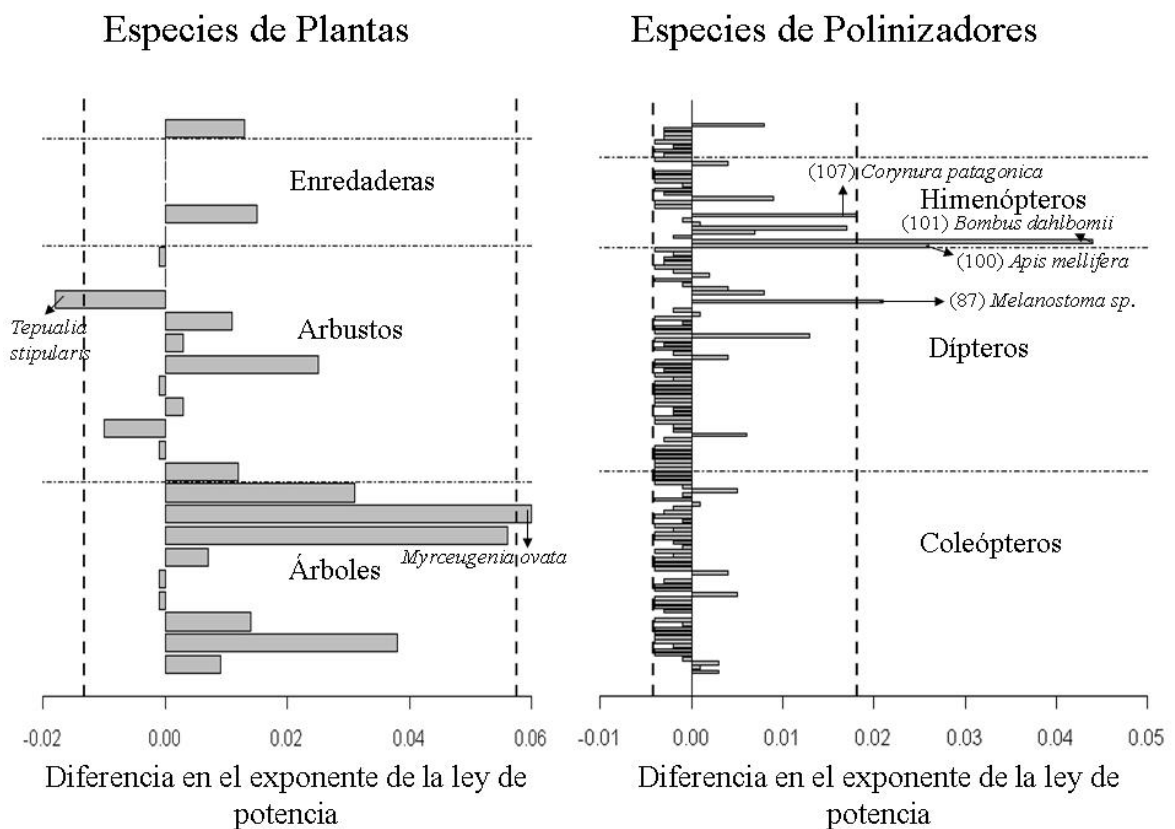


Figura 2. Diferencias en el exponente de la ley de potencia entre las submatrices en que se retira una especie y la red de Chiloé. Las líneas punteadas verticales representan el intervalo de confianza del 95%

### 3.1.2. Anidamiento

#### 3.1.2.1. Anidamiento de la red de Chiloé y de las subredes al remover los grupos de plantas y polinizadores

La red de Chiloé presentó una estructura anidada, la cual fue significativamente diferente a la estructura de las redes aleatorias generadas por el modelo nulo (cuadro 4). En la figura 3 se muestra la representación gráfica de la estructura anidada de la red de Chiloé, en la cual las especies generalistas se ubican en la parte superior de la red formando el núcleo de las interacciones y las especialistas en la parte inferior.

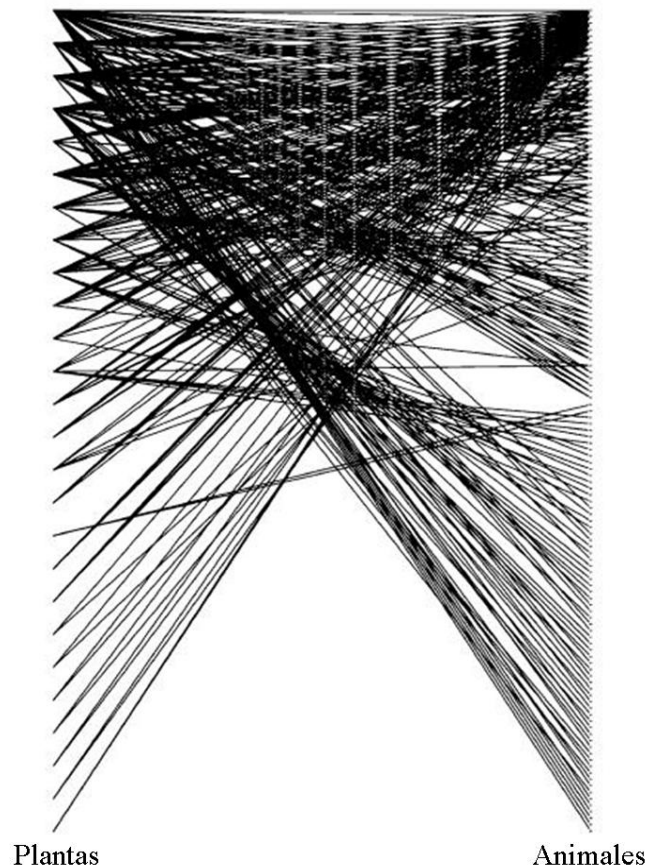


Figura 3. Grafo bipartito que muestra la estructura anidada de la red de Chiloé

La remoción de los distintos grupos de plantas y de polinizadores no altera la estructura anidada de la red, debido a los bajos valores de temperatura obtenidos al analizar estas subredes, aunque la eliminación de los arbustos aumenta ligeramente la temperatura de la red (cuadro 4). Por otra parte, se detectaron efectos cuantitativos en el anidamiento cuando se analizaron las subredes sin árboles, arbustos ni himenópteros. La temperatura de la subred sin árboles fue significativamente menor que las temperaturas obtenidas por eliminación al azar del mismo número de especies. Por otra parte, y al contrario de la subred sin árboles, la temperatura de la subred sin arbustos fue significativamente más alta



que las temperaturas obtenidas por eliminación al azar del mismo número de especies, al igual que la temperatura de la subred sin himenópteros (cuadro 4).

Cuadro 4. Anidamiento de la red de Chiloé y de los grupos de plantas y animales.

Red analizada	Temperatura	Promedio de Temperaturas	Desviación Estandar de las Temperaturas	P-Value
Red de Chiloé	2,80	17,75	4,38	< 0,001
Árboles	1,54	3,55	1,08	< 0,05*
Arbustos	6,99	3,78	1,29	< 0,05*
Enredaderas	4,10	3,14	0,65	0,070
Coleópteros	3,50	3,01	0,61	0,211
Dípteros	3,05	3,06	0,69	0,494
Himenópteros	3,38	2,78	0,30	0,023

(\*) señala la presencia de diferencias significativas.

### 3.1.2.2. Especies clave para la conservación de la estructura anidada de la red de Chiloé

Dentro del conjunto de plantas, la ausencia de la especie arbórea *Myrceugenia planipes* provoca un descenso en la temperatura de la red. Por otra parte, la eliminación de la especie arbustiva *Tepualia stipularis*, generan un decrecimiento en el anidamiento de la red (aumenta la temperatura de la red) (figura 4).

En cuanto al conjunto de polinizadores, la eliminación de las especies de coleópteros *Melanophthalma aff. Seminigra* (fam: Lathididae) (figura 4, n°16), *Especie no identificada I* (fam: Staphylinidae, subfam: Aleocharinae) (figura 4, n°41), provocan una disminución en el anidamiento de la red. En cuanto a los dípteros, la eliminación de la especie *Allograpta hortensis*, (fam: Syrphidae) (figura 4, n°73), provoca un aumento en la temperatura de la red, mientras que la remoción de *Mesograpta philippi* (fam: Syrphidae) (figura 4, n°89) genera una disminución en la temperatura de la red. Por otra parte las remoción de las especies de himenópteros *Diphaglossa gayi* (fam: Colletidae) (figura 4, n°103) y *Cadeguala albopilosa* (fam: Halictidae) (figura 4, n°104) provoca una disminución en la temperatura de la red, al contrario de la eliminación de *Vespula germanica* (fam: Vespidae) (figura 4, n°119), que genera un incremento en la temperatura de la red. Por último dentro de las especies de polinizadores se encontró que la eliminación de la especie de ave *Sephanoides sephanoides* (picaflor común) (figura 4, n°128), provoca una disminución en la temperatura de la red.

Todas estas especies de polinizadores anteriormente nombradas, se encuentra ordenadas y numeradas en forma ascendente en la figura 4.

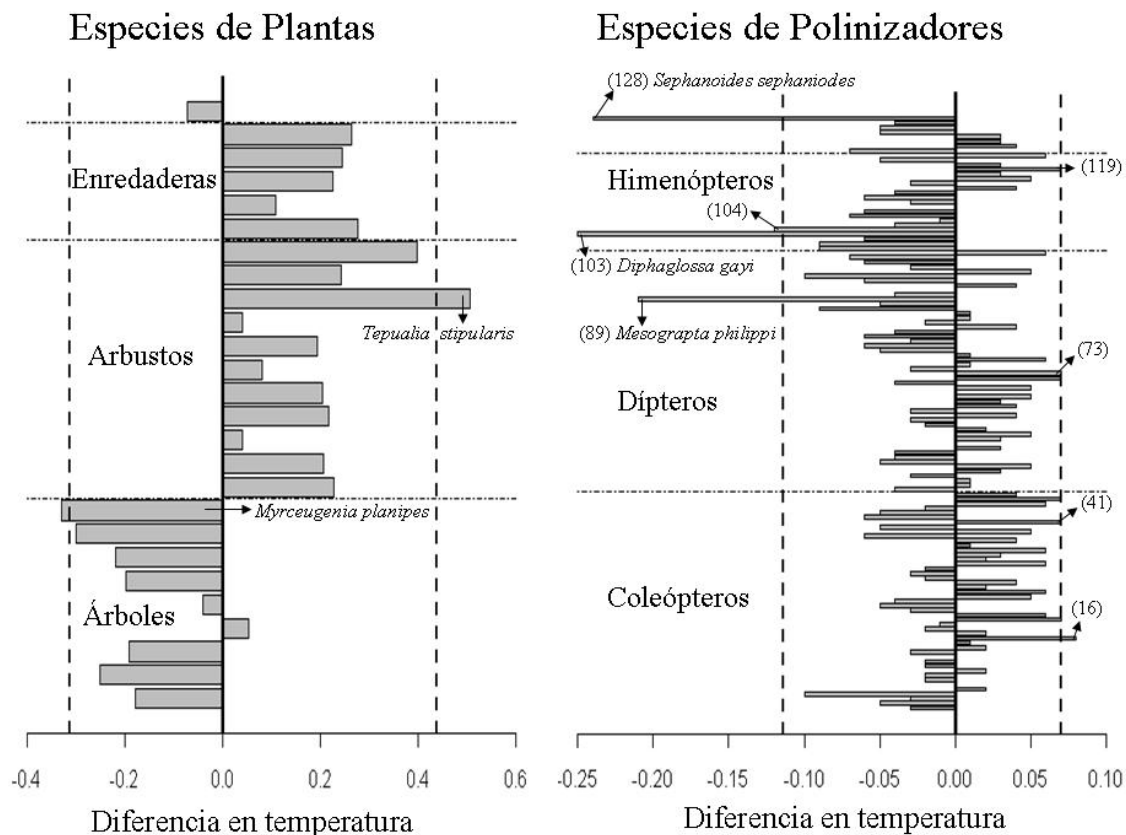


Figura 4. Diferencias en temperatura entre las submatrices en que se retira una especie y la red de Chiloé. Las líneas punteadas verticales representan el intervalo de confianza del 95%

### 3.1.3. Modularidad

#### 3.1.3.1. Modularidad de la red de Chiloé

La red de Chiloé presentó una estructura modular, la cual difiere significativamente de lo esperado por azar, al comparar el índice de modularidad de esta red versus la distribución de índices de modularidad de redes creadas al azar (cuadro 8).

Por otra parte, el algoritmo SA (Guimerà y Amaral, 2005a) detectó la presencia de nueve módulos en la red Chiloé. El cuadro 5 resume algunas características básicas de los módulos. Dentro de este cuadro, la columna cinco (número total de arcos), es igual a la suma de las columnas tres y cuatro (arcos dentro del módulo y arcos desde el módulo a otro, respectivamente).

Cuadro 5. Características de los módulos presentes en la red de Chiloé

N° de Módulo	Número de nodos dentro del módulo	Número de arcos dentro del módulo	Número de arcos desde el módulo a otro	Número total de arcos
1	23	22	23	45
2	22	38	43	81
3	20	19	30	49
4	18	27	49	76
5	13	13	26	39
6	26	25	29	54
7	3	2	0	2
8	16	22	46	68
9	13	12	16	28
<b>Promedio por módulo</b>	17	20	29	49
<b>Desviación estandar por módulo</b>	6,9	10,3	15,6	24,8

En general, la mayoría de los módulos de la red de Chiloé se compone por pocas especies de plantas y numerosas especies de polinizadores, principalmente coleópteros y dípteros (ver apéndice 3). De los nueve módulos, ocho tienen entre una o dos especies con gran cantidad de arcos, dentro y entre módulos. El módulo 7 fue la excepción, debido a que se trató de un módulo aislado del resto de la red (no presenta conexiones con los demás módulos) (cuadro 5). Una descripción de cada uno de los módulos se encuentra a continuación.

El módulo 1 se caracterizó por presentar una única especie de planta, *Eucryphia cordifolia*, un árbol de flores blancas y corola en forma de disco, cuyo rol corresponde a una especie “hub” de red, debido al gran número de interacciones que esta especie posee dentro y entre módulos. Los polinizadores de este módulo, pertenecen mayoritariamente al orden díptera, donde la mayoría de las especies que pertenecen a las familias Calliphoridae y Nemestrinidae se encuentran presente en este módulo. Además, este módulo contiene la única especie de Hemíptero y una de las dos especies de Lepidópteros. Todas las especies de polinizadores de este módulo poseen el rol de especies periféricas.

El módulo 2 es el que contiene la mayor cantidad de especies de plantas (n= 11), donde la mayoría corresponden a enredaderas y arbustos, con corolas en forma de campana, de color blanco y poseen como recursos disponibles a los polinizadores néctar y polen. Sin embargo, todas las plantas de este módulo corresponden a especies periféricas. En cuanto a los polinizadores, este módulo tiene la mayor cantidad de himenópteros (n= 6), de las cuales *Bombus dahlbomii* (fam: Apidae, ID 101) tiene el rol de especie “hub” de red y *Apis mellifera* (fam: Apidae, ID 100), *Cadeguala albopilosa* (fam: Halictidae, ID 104) y *Corynura patagonica* (fam: Halictidae, ID 107) poseen el rol de especies conectoras. En este módulo están presentes todas las especies de aves y una de las dos especies de

Lepidópteros. Los polinizadores que no han sido nombrados poseen el rol de especie periférica.

El módulo 3 posee solo una especie de planta, *Amomyrtus meli*, una especie arbórea de flores blanca en forma de disco, que posee el rol de especie “hub” de red. Entre las especies de polinizadores, este módulo contiene mayoritariamente especies de coleópteros, dentro de los cuales están la mayoría de las especies de la familia Cerambycidae, y algunos Dípteros. Además, está presente la única especie de Megalóptero. En este módulo, las especies de polinizadores que se destacan por la cantidad de interacciones que poseen son: *Rhopalomerus tenuirostris* (fam: Curculionidae, ID 14) *Melanostoma lundbladi* (fam: Syrphidae, ID 86) y *Euneminae* (subf.) *Especie 1* (fam: Vespidae, ID 118) las cuales poseen el rol de especies conectoras. El resto de las especies presentes de este módulo corresponden a especies periféricas.

El módulo 4, posee tres especies de plantas, principalmente especies arbóreas, de corola en forma de disco, de color blanco que ofrecen polen como recurso a los polinizadores. Entre estas especies, se destacan *Gevuina avellana* y *Luma apiculata* con los roles de especie “hub” de módulo y de especie conectora, respectivamente. Como polinizadores, este módulo mayoritariamente posee especies de Dípteros, de diversas familias. Los polinizadores que se destacan por el número de interacciones que poseen son: *Especie no identificada 17* (fam: Scirtidae, ID 40), *Thrypticus especie no identificada 1* (fam: Dolichopodidae, ID 54), *Especie no identificada 1* (fam: Lauxaniidae, ID 56), *Allograpta pulchra* (fam: Syrphidae, ID 74), los cuales poseen el rol de especies conectoras. El resto de las especies que pertenecen a este módulo corresponden a especies periféricas.

El módulo 5, posee solo dos especies de plantas, *Caldcluvia paniculata* y *Hydrangea serratifolia*, una especie arbórea y una enredadera, respectivamente. Ambas especies no poseen corola y sus flores son de color blanco. *Caldcluvia paniculata* es la especie más conectada de este módulo y corresponde a una especie “hub” de módulo. En cuanto a los polinizadores este módulo posee una gran cantidad de especies de Dípteros, siendo la mayoría de la familia Syrphidae. Algunas de las especies de polinizadores, poseen el rol de especies conectoras como es el caso de *Mordella erythrura* (fam: Mordellidae, ID 19), *Melanostoma chalconotus* (fam: Syrphidae, ID 84), *Stilbosona cyanea* (fam: Syrphidae, ID 90), *Corynura rubella* (fam: Halictidae, ID 108) y *Especie no identificada 2* (fam: Vespidae, ID 119). El resto de las especies de este módulo poseen el rol de especies periféricas.

El módulo 6, posee una única especie de planta, *Tepualia stipularis*, un arbusto de flores blancas y corola en forma de disco. Esta especie posee el rol de “hub” de red, siendo la especie más conectada de toda la red. Este módulo posee la mayor cantidad de especies de Coleópteros, estando presente la mayoría de las especies representantes de las familias Lathididae, Mordellidae, Scirtidae y Staphylinidae. El resto de las especies presentes en este módulo corresponden a especies periféricas, a excepción de *Aleocharinae* (subf.) *Especie no identifica 2* (fam: Staphylinidae, ID 42) y *Fazia macquarti* (fam: Syrphidae, ID 82) que corresponden a especies conectoras.

El módulo 7, es el módulo que está aislado del resto de la red. Posee una única especie de planta, *Gaultheria mucronata*, un arbusto de flores blancas y corola en forma de campana. Como polinizadores, posee dos especies de dípteros, pertenecientes a las familias Tabanidae y Tachinidae. Todas las especies de este módulo poseen el rol de especies periféricas.

El módulo 8, posee tres especies de plantas (una especie herbácea y dos especies de árboles). Las tres especies poseen flores de color blanco y las especies arbóreas poseen corola en forma de disco y ofrecen polen como recurso a los polinizadores. Los árboles corresponden a las especies con más interacciones dentro de este módulo, y poseen el rol de especie “hub” de red (*Myrceugenia ovata*) y de especie conectora (*M. planipes*). Por otra parte, la gran parte de las especies de polinizadores son coleópteros, teniendo la mayor cantidad de especies representantes de las familias Cantharidae y Chrysomelidae. Entre estas especies, *Chauliognathus sp.* (fam. Cantharidae, ID 1), *Hyponotum kraussei* (fam: Cantharidae, ID 3), *Aleocharinae* (subf.) *Especie no identifica 3* (fam: Staphylinidae, ID 43), *Eristalis elegans* (fam: Syrphidae, ID 79) y *Caenohalictus movilicornis* (fam: Halictidae, ID 111) corresponden a especies conectoras. El resto de las especies presentes en este módulo corresponden a especies periféricas.

El módulo 9, al igual que el módulo 8, posee tres especies de plantas (una especie arbórea y dos arbustivas). En estas especies predominan las corolas en forma de disco y flores de color blanco y todas ofrecen polen como recurso disponible a los polinizadores. La especie arbórea, *Amomyrtus luma*, es la que tiene más interacciones dentro de este módulo y posee el rol de especie “hub” de módulo. En cuanto a los polinizadores, este módulo posee en su mayoría coleópteros de diversas familias y una especie de himenóptero, *Cadeguala occipitalis* (fam: Halictidae, ID 105), la cual posee el rol de especie conectora. El resto de las especies pertenecientes a este módulo posee el rol de especies periféricas.

Las especies que conforman cada uno de los módulos se muestran en el apéndice 3.

En cuanto a los roles, la mayoría de las especies presentes en la red de Chiloé corresponden a especies periféricas con un 77,3% de las especies, 17,5% son especies conectoras, 3,2% son especies “hubs” de red y solo un 1,9% son especies “hubs” de módulos (cuadro 6). Del total de las especies periféricas, 85,7% corresponden a polinizadores y 14,3% a plantas. Mientras que las especies conectoras están constituidas por un 92,6% de especies polinizadoras y un 7,4% por plantas. Por otra parte las especies “hubs” de red están conformadas por un 20% de polinizadores y un 80% por plantas. Finalmente las especies “hubs” de módulos corresponden en un 100% a especies de plantas (cuadro 6).

Cuadro 6. Roles en los conjuntos de polinizadores y de plantas

Rol	Polinizadores	Porcentaje de polinizadores dentro del rol	Plantas	Porcentaje de plantas dentro del rol	Total	Porcentaje del total de especies
Especies periféricas	102	85,7%	17	14,3%	119	77,27%
Especies "hubs" de módulos	0	0,0%	3	100,0%	3	1,95%
Especies conectoras	25	92,6%	2	7,4%	27	17,53%
Especies "hubs" de red	1	20,0%	4	80,0%	5	3,25%
<b>Total</b>	128	----	26	----	154	100%

Analizando los roles de las especies en forma más detallada, a nivel de grupos dentro de los conjuntos de polinizadores y de plantas, se observó que las especies periféricas están constituidas principalmente por dípteros (36,13%) y coleópteros (32,77%), mientras que las especies "hubs" de módulos están conformadas sólo por árboles. Las especies conectoras se constituyen en su mayoría por dípteros (33,33%), seguidos por coleópteros e himenópteros (ambos en un 29,63%). Finalmente las especies "hubs" de red se conforman en gran medida por árboles (60%), y otra fracción por arbustos e Himenópteros (ambos con un 20%). Toda esta información es presentada en el cuadro 7.

Cuadro 7. Porcentaje de participación de las especies de los grupos en los distintos roles. Entre paréntesis se encuentra el número de especies de cada grupo

Grupo	Especies periféricas	Especies "hubs" de módulos	Especies conectoras	Especies "hubs" de red
Árboles	0,84% (1)	100% (3)	7,41% (2)	60% (3)
Arbustos	8,4% (10)			20% (1)
Enredaderas	4,2% (5)			
Herbáceas	0,84% (1)			
Coleópteros	32,77% (39)		29,63% (8)	
Dípteros	36,13% (43)		33,33% (9)	
Himenópteros	9,24% (11)		29,63% (8)	20% (1)
Lepidópteros	2,52% (3)			
Hemípteros	0,84% (1)			
Megalópteros	0,84% (1)			
Aves	3,36% (4)			
<b>Total</b>	100% (119)	100% (3)	100% (27)	100% (5)

Por otra parte, el análisis de los roles de las especies dentro los distintos grupo arrojó que los grupos de enredaderas, herbáceas, lepidópteros, hemípteros, megalópteros y aves solamente poseen especies periféricas. Por otra parte, los grupos de coleópteros y dípteros se conforman principalmente por especies periféricas (83% y 82,7% respectivamente) y por especies conectoras (17% y 17,3% respectivamente). A su vez, el grupo de los himenópteros es constituidos por especies periféricas (55%), especies conectoras (40%) y una especie “hub” de red (5%). Finalmente, el grupo de los árboles, es el único que posee especies con los cuatro roles, teniendo principalmente especies “hubs” de módulos y especies “hubs” de red (ambas con un 33,3%), seguidas por especies conectoras (22,2%) y por especies periféricas (11,1%). Esta información se muestra gráficamente en la figura 5.

Los roles de cada una de las especies aparecen descritos en el apéndice 4.

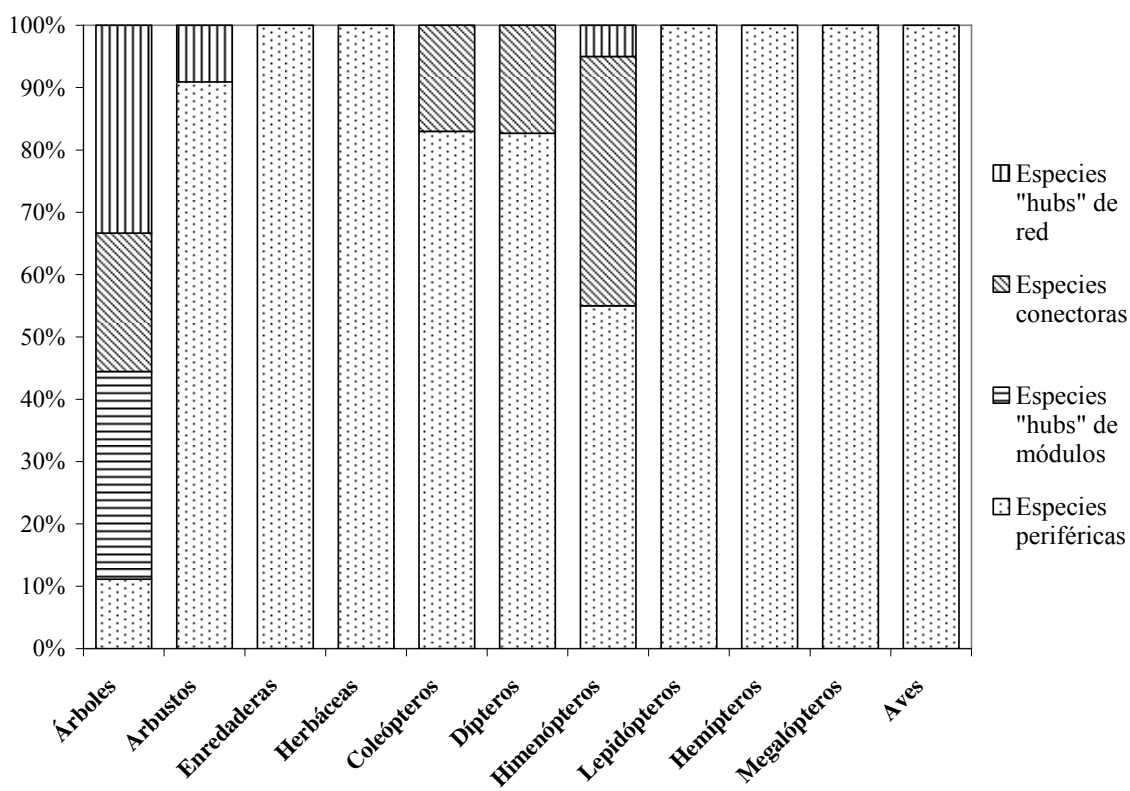


Figura 5. Gráfico de porcentaje de los roles de las especies dentro de los distintos grupos

### 3.1.3.2. Modularidad de las subredes al remover los grupos de plantas y polinizadores

El análisis de la modularidad de las subredes sin los distintos grupos de plantas y animales, mostró que la mayoría de los índices de modularidad de las subredes difieren significativamente de los índices de modularidad de las redes generadas al azar (cuadro 8). La excepción fueron las subredes sin arbustos y sin himenópteros, cuyos valores de índices de modularidad no fueron significativamente diferentes a los de redes generadas al azar (cuadro 8)

Cuadro 8. Comparación entre los índices de modularidad de la red de Chiloé y de las subredes, en que se retira un grupo de plantas o animales, versus las redes generadas al azar

Red analizada	Índice de Modularidad	Modularidad media de las redes generadas al azar	Desviación Estandar de la Modularidad de las redes generadas al azar	P-Value
Red de Chiloé	0,44297	0,42171	0,00651	<0,001*
Árboles	0,52778	0,48616	0,01118	<0,0001*
Arbustos	0,44678	0,43835	0,00808	0,148
Enredaderas	0,44286	0,42269	0,00728	<0,003*
Coleópteros	0,43697	0,41116	0,00825	<0,001*
Dípteros	0,43753	0,41821	0,00813	<0,01*
Himenópteros	0,48367	0,47602	0,00798	0,169

(\*) señala la presencia de diferencias significativas.

Por otra parte, al comparar la modularidad de las subredes con las matrices con igual número de especies eliminadas al azar, se encontró que ningún grupo presentó diferencias significativas entre los índices de modularidad (cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación entre los índices de modularidad de los grupos de plantas y animales versus las redes con eliminación del mismo número de especies al azar

Red analizada	Índice de Modularidad	Modularidad media de las redes con eliminación al azar	Desviación Estandar de la Modularidad de las redes con eliminación al azar	P-Value
Árboles	0,52778	0,49149	0,03475	0,148
Arbustos	0,44678	0,49675	0,03749	0,091
Enredaderas	0,44286	0,49106	0,03421	0,079
Coleópteros	0,43697	0,47738	0,04467	0,183
Dípteros	0,43753	0,46632	0,03772	0,223
Himenópteros	0,48367	0,46790	0,03643	0,333



### 3.1.3.3. Especies clave en la conservación de la estructura modular de la red de Chiloé

Dentro del conjunto de plantas, la ausencia de la especie arbórea *Myrceugenia ovata* provoca un aumento en el índice de modularidad de la red. Por otra parte, la eliminación de la especie arbustiva *Gaultheria mucronata*, generan un decrecimiento en el índice de modularidad de la red (figura 6).

En cuanto al conjunto de polinizadores, la eliminación de las especies de dípteros *Especie no identificada 2* (fam: Calliphoridae) (figura 6, n°51) y *Especie no identificada 1* (fam: Empididae) (figura 6, n°55), provoca un descenso en el índice de modularidad de la red, mientras que la eliminación de *Melanostoma sp.* (fam: Syrphidae) (figura 6, n°87) genera un aumento de este índice. Por otra parte las remoción de las especies de himenópteros *Apis mellifera* (fam: Apidae) (figura 6, n°100), *Bombus dahlbomii* (fam: Apidae) (figura 6, n°101) y *Corynura patagonica* (fam: Halictidae) (figura 6, n°107), provoca un incremento de la modularidad de la red. Por último, dentro de las especies de polinizadores, se encontró que la eliminación del hemíptero *Especie no identificada 1* (fam: Miridae) (figura 6, n°123) y del megalóptero *Protosialis chilensis* (fam: Sialidae) (figura 6, n°124) genera un decremento del índice de modularidad de la red. Todas estas especies de polinizadores anteriormente nombradas, se encuentran ordenadas y numeradas en forma ascendente en la figura 6.

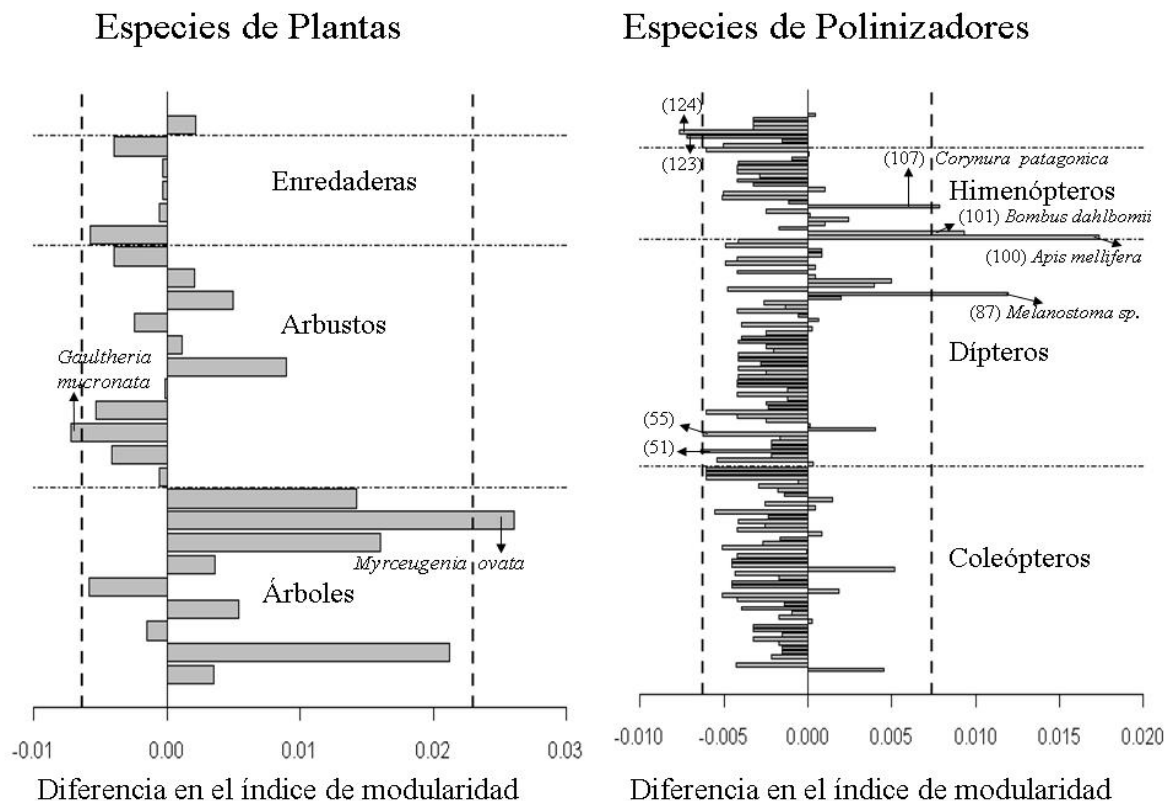


Figura 6. Diferencias en el índice de modularidad entre las submatrices en que se retira una especie y la red de Chiloé. Las líneas punteadas verticales representan el intervalo de confianza del 95%

#### **3.1.4. Características topológicas de la red sin especies exóticas**

La red sin especies exóticas se caracterizó por presentar una distribución de grado en forma de ley de potencia truncada para la red entera, mientras que para el ensamble de animales fue la ley de potencia. Por otra parte, para el conjunto de plantas, el modelo exponencial es el que mejor se ajusta a la distribución de grado de este grupo. Sólo la distribución de grado de la red entera (que incluye animales y plantas) se modificó tras la extracción de las especies exóticas. Por otro lado, esta red sin especies exóticas presenta una estructura anidada, con una temperatura similar a la red de Chiloé, la cual difiere significativamente de las redes aleatorias generadas por un modelo nulo, pero no presenta diferencias significativas con la eliminación al azar del mismo número de especies. Esto significa que las especies exóticas consideradas no ejercen un efecto medible sobre el grado de anidamiento de la red. Finalmente, la red sin especies exóticas presenta una estructura modular, cuyo índice presenta diferencias significativas con los índices de las redes aleatorias generadas por el programa NETCARTO (Guimerà y Amaral, 2005a, b). Esta red, a diferencia de la original, presenta sólo ocho módulos y las propiedades básicas de éstos (número promedio de nodos dentro de los módulos y número promedio de arcos dentro y entre módulos) no presentan grandes diferencias con la red de Chiloé. Más detalles de estos resultados pueden ser consultados en el apéndice 5

### 3.2. Discusión

Los bosques templados de la isla de Chiloé se caracterizan por un alto grado de endemismo, presentando alrededor de un 34% de plantas leñosas endémicas de la región (Heywood 1995). Dentro de los ecosistemas de bosques templados, esta flora presenta una alta dependencia de los animales, debido a que más de un 85% de especies de plantas son polinizadas o dispersadas por animales (Armesto y Rozzi, 1989; Armesto *et al.*, 1996; Aizen y Ezcurra, 1998). Específicamente, un 75% de las plantas leñosas de los bosques de Chiloé presentan rasgos florales asociados a determinados grupos de polinizadores animales (Smith-Ramírez y Armesto, 1994).

La conservación de los bosques templados del sur de Sudamérica constituyen una prioridad global (Dinerstein *et al.*, 1995; Arroyo y Hoffman, 1997; Myers *et al.*, 2000). Sin embargo, a pesar de su importancia, la diversidad biológica de los bosques de Chiloé sigue siendo amenazada por perturbaciones antropogénicas, tales como incendios, tala indiscriminada, sobrepastoreo, fragmentación del bosque y cambio en el uso de la tierra (Figueroa *et al.*, 1996; Newton, 2007). Porque la mantención y recuperación de estos bosques depende en gran medida de la polinización y dispersión de semillas por medio de animales, la comprensión de las interacciones mutualistas planta–polinizador es una necesidad para obtener un conocimiento comprehensivo sobre la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas, y también para desarrollar estrategias de manejo y conservación (Armesto *et al.*, 1996). Desafortunadamente, existen pocos estudios en los bosques templados de America del sur, donde las interacciones planta–polinizador, han sido examinadas. Las investigaciones desarrolladas en los bosques templados australes (Riveros *et al.*, 1991; Aizen *et al.*, 2002; Smith-Ramírez *et al.*, 2005), han mostrado que los patrones de interacciones mutualistas son altamente asimétricos, es decir, existen pocas especies de plantas que atraen una gran cantidad de polinizadores y que los pocos polinizadores generalistas visitan una gran fracción de plantas.

La red del bosque templado de Chiloé presentó un patrón de conectividad descrito por una distribución de grado acumulada en forma de ley de potencia. Este patrón está altamente descrito para muchas redes complejas, incluyendo las redes de interacciones ecológicas, de proteínas, metabólicas, sociales y de información (Albert y Barabási, 2002; Newman, 2003; Dunne *et al.*, 2002a). Por otra parte, esta red exhibió una estructura de interacción anidada, lo cual significa que las especies generalistas están conectadas tanto con especies especialistas como generalistas, mientras que las especies especialistas están mayoritariamente conectadas a especies generalistas. La comprensión de los procesos biológicos que participan en la formación de la estructura de redes mutualistas son aún pobremente entendidos, pero investigaciones recientes sugieren que el anidamiento es un patrón que puede surgir como consecuencia de un desarrollo simultáneo de complementariedad fenotípica entre plantas y polinizadores y que los rasgos florales actúan como barreras contra parásitos (Santamaría y Rodríguez-Gironés, 2007). Un patrón anidado implica la existencia de especialización asimétrica (Vázquez y Aizen, 2004) y esto se encuentra relacionado a asimetrías en los niveles de dependencia entre plantas y polinizadores (Bascompte *et al.*, 2006). La estructura anidada de la red de Chiloé es consistente con los patrones encontradas en varias redes de polinización y de dispersión de semillas (Bascompte *et al.*, 2003; Vázquez y Aizen, 2004). Leyes de potencia y

anidamiento están asociados a la robustez de la red contra la pérdida aleatoria de especies, pero también con la sensibilidad a la eliminación de especies altamente conectadas (Albert *et al.*, 2000). Esto indica que las comunidades estudiadas exhiben una estructura de interacciones adecuadas para enfrentar extinciones no selectivas. La red de Chiloé exhibió una estructura modular que difiere del azar, donde el valor del índice de modularidad (0,443) es un poco más bajo que los valores encontrados por Olesen *et al.* (2007) al analizar 29 redes de polinización (promedio del índice de modularidad  $0,52 \pm 0,071$ ). Dentro de la red de Chiloé se encontraron nueve módulos, lo cual está cerca de la cantidad promedio de módulos existentes en las redes analizadas por Olesen *et al.* (2007) quienes encontraron 8,8 módulos en promedio por red analizada. El número promedio de especies por módulo en la red de Chiloé fue de  $17 \pm 6,9$ , lo cual está dentro de lo encontrado por Olesen *et al.* (2007).

En cuanto a los roles de las especies, Olesen *et al.* (2007) al analizar 8.233 especies encontraron que 85% de las especies son especies periféricas, 11% son especies conectoras, 1% son especies “hubs” de red y 3% son especies “hubs” de módulos, lo cual es muy similar a lo encontrado en la red de Chiloé. Por su parte Olesen *et al.* (2007) encontraron que la mayoría de las especies “hubs” de módulos eran plantas, como las umbelíferas, mientras que las especies conectoras fueron coleópteros, dípteros y algunos himenópteros y que la gran mayoría de los polinizadores que tenían el rol de “hubs” de redes fueron abejas sociales como *Apis* spp., *Bombus* spp. Estos resultados son bastante similares a lo encontrado en la red de Chiloé, donde las especies “hubs” de módulos son plantas, pero corresponden solo a especies arbóreas, las especies conectoras están conformadas por principalmente por dípteros seguido en igual medida por coleópteros e himenópteros y en menor porcentaje los árboles, y las especies “hubs” de red fueron especialmente árboles y solo una especie de himenóptero (*Bombus dahlbomii*) posee este rol.

Dentro de los grupos relevantes de especies de plantas y animales definidos para la conservación de la estructura de la red de Chiloé, se encuentran las especies arbóreas, cuya eliminación no altera cualitativamente la distribución de grado de la red. Sin embargo, este grupo corresponde a las plantas más generalistas, por lo cual su eliminación provoca que la distribución de grado a nivel de la red completa y de los conjuntos de plantas y animales se vuelvan más empinadas. Esto también puede explicar la presencia de diferencias significativas en cuanto al nivel de anidamiento si se compara con redes que tienen eliminación aleatoria del mismo número de especie. Por otra parte, la eliminación de este grupo no altera la estructura modular de la red.

Las especies arbustivas son más especialistas que los árboles, pero menos que las enredaderas. Consecuentemente la remoción de este grupo produce un decrecimiento en la pendiente de la distribución de grado de las plantas, aunque no cambia su forma exponencial. Por otra parte, la pérdida de arbustos puede causar un decrecimiento en el grado de los polinizadores generalistas, provocando un cambio en la distribución de grado de los animales, pasando de una ley de potencial a un modelo exponencial. Si bien la ausencia de arbustos mantiene el núcleo de las especies arbóreas generalistas dentro de la red, la pérdida de este grupo causa una pequeña disminución en el nivel de anidamiento de la red (aumenta la temperatura de 2,8 a 6,9) y su índice de modularidad de esta subred no presenta diferencias significativas al compararse con las redes generadas al azar, lo cual puede ser explicado debido a la eliminación de la especie supergeneralista *Tepualia*

*stipularis*. Además, la eliminación de esta especie altamente conectada puede explicar la diferencia significativa entre la temperatura de la red sin arbustos y las redes con eliminación al azar del mismo número de especies. Este grupo no presenta diferencias significativas en el índice modularidad al ser comparado con la eliminación al azar de la misma cantidad de especies.

La remoción de las enredaderas no altera la distribución de grado, el anidamiento ni la modularidad de la red, lo cual puede ser explicado por el pequeño número de estas especies y por ser especialistas, lo cual permite conservar el núcleo de interacciones de la red. De la misma forma, la eliminación de los coleópteros tampoco cambia la distribución de grado, el anidamiento, ni la modularidad de la red, debido a que este grupo es uno de los más especialistas entre toda la red, dado su bajo número promedio de interacciones.

La remoción de los dípteros produce un efecto cuantitativo en la distribución de grado de conjunto de plantas, debido a que aumenta la pendiente en la distribución, producto de una disminución del grado de las especies de plantas generalistas. A su vez, esto también produce un cambio en la distribución de grado de la red completa, debido a que se cambia de una ley de potencia a una ley de potencia truncada. Por otro lado, y a pesar del decremento en el grado de las especies de plantas, la eliminación de este grupo no cambia la estructura anidada, ni la modularidad de la red, aunque su índice de modularidad es significativamente diferente a las redes generadas por azar.

El grupo de los himenópteros fue el grupo más generalista entre las especies de polinizadores. La eliminación de este grupo provoca cambios en la distribución de grado de los polinizadores, pasando de una ley de potencia a exponencial, producto de la eliminación de especies altamente conectadas como *Bombus dahlbomii*. La eliminación de estas especies generalista causa la pérdida de especies de plantas especialistas, lo cual genera que la distribución de grado de las plantas, cambia desde una distribución exponencial a una ley de potencia. Tanto la remoción de especies de polinizadores generalistas como la pérdida de plantas especialistas, pueden explicar la diferencia significativa en el anidamiento entre la eliminación de este grupo y la eliminación al azar del mismo número de especies y también la ausencia de diferencia significativa entre el índice de modularidad de este subgrupo y de las redes generadas por azar.

Del análisis de la relevancia de los grupos se desprende que los árboles, arbustos e himenópteros son las especies que mantienen el núcleo de interacciones de la red y por ende podrían garantizar la persistencia de la mayoría de las especies presentes en la red. Por lo tanto, para cualquier acción de conservación en el área de estudio, estos grupos deberían ser considerados como relevantes.

Al analizar la sensibilidad de la distribución de grado, anidamiento y modularidad al remover cada una de las especies, se obtuvo una medida de la contribución relativa de cada especie para mantenimiento de la estructura y funcionamiento de la comunidad. De esta manera, se identificó un número de especies que requieren una atención especial para la conservación de la topología de la red. Dentro de estas especies se encuentran los árboles *Myrceugenia ovata* y *M. planipes*, el arbusto *Tepualia stipularis*, el díptero *Melanostoma sp.* y los himenópteros *Bombus dahlbomii* y *Corynura patagonica* entre otros. Algunas de

estas especies han sido analizadas en otros estudios, como es el caso de *Tepualia stipularis*, que fue descrita como relevante para la provisión de hábitat (Díaz *et al.*, 2005).

El estudio de las interacciones mutualistas planta-polinizador por medio de teoría de redes, posee claras implicancias para la conservación de la biodiversidad. Las interacciones entre especies son el “pegamento de la biodiversidad” (Thompson 2005), por lo cual un concepto expandido de biodiversidad debería incluir las interacciones entre especies además de las especies mismas (Bascompte y Jordano, 2006). Por tanto, cualquier actividad desarrollada con el objetivo de conservación de ciertas especies, debería considerar las interacciones que estas especies poseen con el resto de la comunidad ecológica. El estudio de las propiedades topológicas originadas por las interacciones entre las especies de una comunidad, da cuenta de que los patrones de interacción no son aleatorios, difiriendo significativamente de estructura surgidas por azar (Bascompte *et al.*, 2003; Olesen *et al.*, 2007). Esto otorga la posibilidad de analizar y evaluar la importancia relativa de cada especie o de un grupo de especies, para la conservación de la red, ya que su eliminación puede provocar que los patrones de interacción pierdan estructura. Por lo cual, la teoría de redes complejas otorga una visión más holística del sistema ecológico en estudio, ya que no se centra en el papel que una especie en particular desempeña en el ecosistema, sino que abarca todas las especies interactuantes y su función dentro de él. Además, la teoría de redes permite tener cierto grado de predicción sobre el comportamiento de las propiedades topológicas del sistema en estudio, ya que permite proyectar los efectos de distintos escenarios de extinción de especies sobre la estructura de la biota local y del ecosistema que la alberga.

En el caso de los ecosistemas forestales, donde existen muchas especies de plantas que dependen de los animales para la reproducción y dispersión de semillas, la comprensión de las propiedades topológicas de las redes de interacción permite analizar la relevancia y rol de las especies de plantas y de animales presentes para el funcionamiento y dinámica de un ecosistema forestal, así como también permitiría tener una aproximación de los procesos coevolucionarios que hayan ocurrido en estos ecosistemas. Sin embargo, la falta de datos restringe la posibilidad de este tipo de estudios. Este trabajo es uno de los pocos que existen sobre redes mutualistas en ecosistemas forestales, lo cual puede ser considerado como un aporte hacia el entendimiento de los procesos ecológicos que ocurren al interior de un bosque. La teoría de redes complejas está mostrando ser una valiosa herramienta para el desarrollo de estrategias de manejo, la toma de decisiones y planificación de estrategias de conservación. El desarrollo futuro, en el plano teórico como en la toma de información de alta calidad, permitirá tanto entender como manejar de mejor forma nuestros sistemas naturales.

#### 4. CONCLUSIONES

La red de Chiloé se caracterizó por presentar una distribución de grado descrita por una ley de potencia, y una estructura de interacciones anidada y modular, significativamente diferente de lo producido por azar. Estos resultados concuerdan con los descritos para otras redes de polinización.

Dentro de la red de Chiloé se distinguieron diferentes grupos de plantas y polinizadores, de los cuales los árboles son las especies que poseen mayor cantidad de interacciones (generalistas) dentro de la red, por lo cual este grupo conforma el núcleo de interacciones de la red. Por otra parte, las especies arbustivas y de himenópteros son también relevantes para las propiedades topológicas de la red, porque su remoción cambia significativamente el anidamiento y la modularidad de la red. Esto es provocado principalmente porque dentro de estos grupos se encuentra la mayoría de las especies generalistas y supergeneralistas. Estos grupos (árboles, arbustos e himenópteros) podrían garantizar la persistencia de la mayoría de las especies presentes en la red, por lo tanto, deberían ser considerados objetivos para cualquier acción de conservación en el área de estudio.

El estudio de las relaciones mutualistas por medio del análisis de redes permite una mejor comprensión del funcionamiento y de la estructura de los ecosistemas en general y los bosques en particular, ya que esta aproximación no se centra en especies particulares dentro de un ecosistema sino que analiza en forma holística a todo el conjunto de especies y sus interacciones dentro del sistema ecológico. Por ello, la teoría de redes permite identificar especies o grupos de especies clave para la mantención de la topología de la red y proyectar los efectos de distintos escenarios de extinción de especies sobre la estructura de la biota local y del ecosistema que la alberga.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- AIZEN, M. A. y EZCURRA, C. 1998. High incidence of plant-animal mutualism in the woody flora of the temperate forest of southern South America: biogeographical origin and present ecological significance. *Ecología Austral* 8: 217-236.
- AIZEN, M. A.; VASQUEZ, D. P. y SMITH-RAMÍREZ, C. 2002. Historia natural y conservación de los mutualismos planta-animal del bosque templado de Sudamérica austral. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 79-97.
- ALBERT, R.; JEONG, H. y BARABÁSI, A.-L. 2000. Error and attack tolerance of complex networks. *Nature* 406: 378-382.
- ALBERT, R. y BARABÁSI, A.-L. 2002. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews in Modern Physics* 74: 47-97.
- ARMESTO, J. J. y ROZZI, R. 1989. Seed dispersal syndromes in the rain forest of Chiloé: evidence for the importance of biotic dispersal in a temperate rain forest. *Journal of Biogeography* 16: 219-226 p.
- ARMESTO, J. J.; SMITH-RAMÍREZ, C. y SABAG, C. 1996. The importance of plant-bird mutualism in the temperate rainforest of southern South America. En: LAWFORD, R.G.; ALABACK, P.B. y FUENTES, E. (eds.). *High latitude rain forests and associated ecosystems of the west coast of the Americas: climate, hydrology, ecology and conservation*. Springer. Berlín, Alemania. 248-265 p.
- ARROYO, M. T. K. y HOFFMAN, A. E. 1997. Temperate rain forest of Chile. En: DAVIS, S. D.; HERRERA-MACBRYDE, O.; VILLA-LOBOS, J. y HAMILTON, A. C. (eds.) *Centres of plant diversity, vol 3: The Americas*. World Wildlife Fund y International Union for Conservation. Nueva York, Estados Unidos. 542-548 p.
- ATMAR, W. y PATTERSON, B. D. 1993. The measure of order and disorder in the distribution of species in fragmented habitat. *Oecologia* 96: 373-382.
- BASCOMPTE, J. 2007. Networks in ecology. *Basic and Applied Ecology* 8: 485-490.
- BASCOMPTE, J. y JORDANO, P. 2006. The structure of plant-animal mutualistic networks. En: PASCUAL, M. y DUNNE, J. (eds.). *Ecological networks*. Oxford University Press. New York, Estados Unidos. 143-159 p.
- BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. y OLESEN, J. M. 2006. Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance. *Science* 312: 431-433.
- BASCOMPTE, J.; JORDANO, P.; MELIÁN, C. J., y OLESEN, J. M. 2003. The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of National Academy of Science* 100(16): 9383-9387.



- BATAGELJ, V. y MRVAR, A. Pajek – Program for large network analysis. [en línea] <<http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>> [consulta: 20 Julio 2009].
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R. y HARPER, J. L. 2006. Ecology: From individuals to Ecosystems. 4ª edición. Blackwell Publishing Ltd. Oxford, Reino Unido. 738 p.
- BURNHAM, K. P. y ANDERSON, D. R. 2004. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods and Research* 33(2): 261-304.
- DÍAZ, I. A.; ARMESTO, J. J.; REID, S.; SIEVING, K. E. y WILLSON, M. F. 2005. Linking forest structure and composition: avian diversity in successional forests of Chiloé Island, Chile. *Biological Conservation* 123(1): 91-101.
- DINERSTEIN, E.; OLSON, D.; GRAHAM, D.; WEBSTER, A.; BOOKBINDER, M. y LEDEC, G. 1995. Una evaluación del estado de conservación de las ecorregiones terrestres de América Latina y el Caribe. BIRF/Banco mundial. Estados Unidos. 135 p.
- DUNNE, J.A.; WILLIAMS, R.J. y MARTÍNEZ, N. D. 2002a. Food-web structure and network theory: the role of connectance and size. *Proceedings of National Academy of Science* 99(20): 12917-12922.
- DUNNE, J.A.; WILLIAMS, R.J. y MARTÍNEZ, N.D. 2002b. Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. *Ecology Letters* 5: 558-567.
- FIGUEROA, J.; ARMESTO, J. J. y HERNÁNDEZ, J. F. 1996. Estrategias de germinación y latencia de semillas en especies del bosque templado de Chiloé. *Revista Chilena de Historia Natural* 69: 243-251.
- GUIMERÀ, R. y AMARAL, L. A. N. 2005a. Cartography of complex networks: modules and universal roles. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* P02001: 1-13.
- GUIMERÀ, R. y AMARAL, L. A. N. 2005b. Functional cartography of complex metabolic networks. *Nature* 433(7028): 895-900.
- HEYWOOD, V. H. 1995. Global biodiversity assessment. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. 1140 p.
- JORDANO, P.; BASCOMPTE, J. y OLESEN, J. M. 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant-animal interactions. *Ecology Letters* 6: 69–81.
- LEVIN, S. 1998. Ecosystems and the biosphere as complex adaptative systems. *Ecosystems* 1(5): 431-436.
- LINDENMAN, R. L. 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology* 23: 399-418.

- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; DA FONSECA, G. A. B. y KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- NEWMAN, M. E. J. 2003. The structure and function of complex networks. *SIAM Review* 45: 167-256.
- NEWTON, A. 2007. Biodiversity loss and conservation in fragmented forest landscapes: evidence from Mexican montane forests and the temperate rainforests of South America. CABI publishing. Oxfordshire. Reino Unido. 432 p.
- ODUM, E. P. 1953. *Fundamentals of ecology*. W. B. Saunders. Philadelphia, Estados Unidos. 405 p.
- ODUM, H. T. 1956. Primary production in flowing waters. *Limnology and Oceanography* 1: 102-117.
- ODUM, H. T. 1983. *Systems ecology: An introduction*. John Wiley & Sons. New York, Estados Unidos. 622 p.
- OLESEN, J. M.; BASCOMPTE, J.; DUPONT, Y. L. y JORDANO, P. 2007. The modularity of pollination networks. *Proceedings of National Academy of Science* 104(50): 19891-19896.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2008. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. [en línea] <<http://www.R-project.org>> [consulta: 15 Junio 2009].
- RIVEROS, M.; HUMAÑA, A. M. y LANFRANCO, D. 1991. Actividad de los polinizadores en el Parque Nacional Puyehue, X Región, Chile. *Medio Ambiente* 11 (2): 5-12.
- RODRÍGUEZ-GIRONÉS, M. A. y SANTAMARÍA, L. 2006. A new algorithm to calculate the nestedness temperature of presence-absence matrices. *Journal of Biogeography* 33: 924-935.
- SANTAMARÍA, L. y RODRÍGUEZ-GIRONÉS, M. A. 2007. Linkage rules for plant-pollinator networks: trait complementarity or exploitation barriers? *PLoS Biology* 5 (2) e31: 0354-0362.
- SMITH-RAMÍREZ, C. y ARMESTO, J.J. 1994. Flowering and fruiting patterns in the temperate rainforest of Chiloé, Chile – ecologies and climatic constraints?. *Journal of Ecology* 82: 353-365.
- SMITH-RAMÍREZ, C.; MARTINEZ, P; NUÑEZ, M.; GONZÁLEZ, C. y ARMESTO, J. J. 2005. Diversity, flower visitation frequency and generalism of pollinators in temperate rain forests of Chiloé island, Chile. *Botanical Journal of the Linnean Society* 147: 399-416.

- SOLÉ, R.V. y BASCOMPTE, J. 2006. Self-organization in complex ecosystems. Monographs in population biology N°42. Princeton University Press. Princeton, Estados Unidos. 373 p.
- TANSLEY, A. G. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology 16: 284-307.
- THOMPSON, J. N. 2005. The geographic mosaic of coevolution. The University of Chicago Press. Chicago, Estados Unidos. 443 p.
- VÁZQUEZ, D. P. 2005. Degree distribution in plant-animal mutualistic networks: forbidden links or random interactions? Oikos 108: 421-426.
- VÁZQUEZ, D. P. y AIZEN, M. A. 2004. Asymmetric specialization: a pervasive feature of plant-pollinator interactions. Ecology 85: 1251-1257.

## APÉNDICES

**Apéndice 1.** Ejemplos de algunos tipos de redes y sus propiedades estructurales.

Dentro de la literatura especializada sobre redes complejas, se pueden encontrar diferentes tipos de redes y diversas características topológicas que pueden ser medidas para estas redes. Una revisión exhaustiva de este tema se puede encontrar en los trabajos de Newman (2003), Watts (2004), Boccaletti *et al.* (2006), y Newman *et al.* (2006).

Las propiedades topológicas que son analizadas en este trabajo, han sido tema de investigación durante los últimos años, cubriendo diversas áreas como la biología, ecología, informática, ciencias sociales entre otras. Algunos ejemplos de estas propiedades, en el área de las ciencias ecológicas, serán vistos a continuación.

La distribución de grado es muy importante en el estudio de redes tanto reales como teóricas. El modelo más simple de red es un grafo aleatorio, en el cual cada uno de los  $n$  nodos de esta red está conectado con una probabilidad independiente  $p$ , teniendo una distribución de grado binomial, expresada como:

$$P(k) = \binom{n-1}{k} p^k (1-p)^{n-1-k}$$

Sin embargo, muchas de las redes en el mundo real tienen otro tipo de distribución, diferente a esta, como son la distribución de ley de potencia, la ley de potencia truncada y el modelo exponencial. Un ejemplo de algunas de estas distribuciones, en redes mutualistas planta-dispersor (de semillas) y plantas-polinizador aparece a continuación.

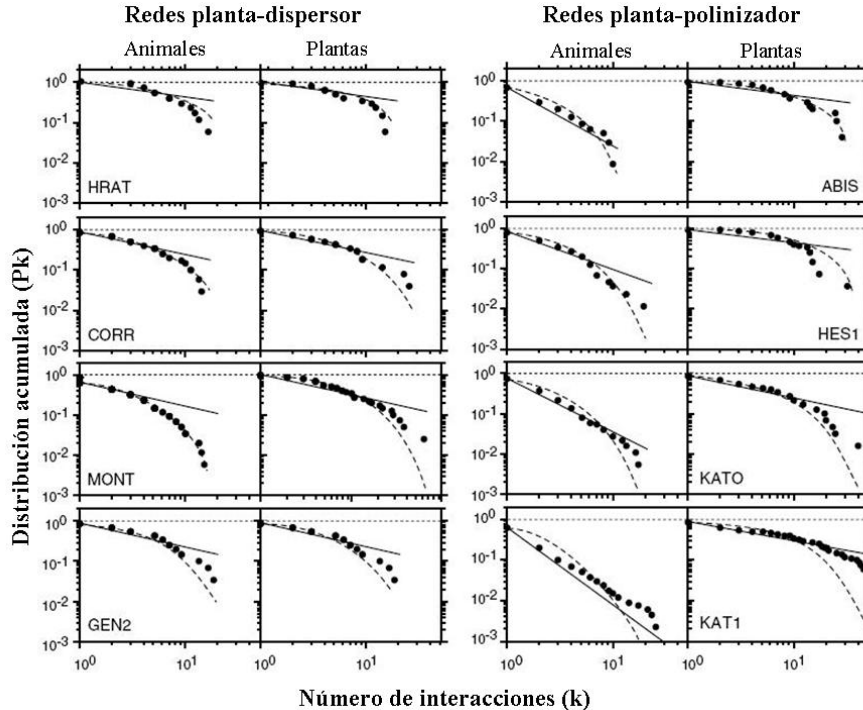


Figura 1: Distribución de grado en redes mutualistas planta-dispersor y planta- polinizador. Los puntos corresponden a los datos reales, la línea continua representa el modelo de ley de potencia y la línea punteada al modelo de ley de potencia truncada.

Fuente: Modificado de Jordano *et al.* (2003).

### Apéndice 1 (Continuación)

El anidamiento muestra como se ordenan un grupo de especies entre un conjunto de sitios de una determinada área (Atmar y Patterson, 1993). En el caso de redes mutualistas, muestra como los polinizadores se distribuyen dentro de un conjunto de plantas (Bascompte y Jordano, 2006). Por lo tanto, el anidamiento puede ser considerado como una medida del grado de organización de las interacciones de una red. Dentro de una red anidada, las especies más conectadas, o generalistas, constituyen el núcleo de la red, el cual corresponde a la zona superior de los grafos de la figura 2 de este apéndice.

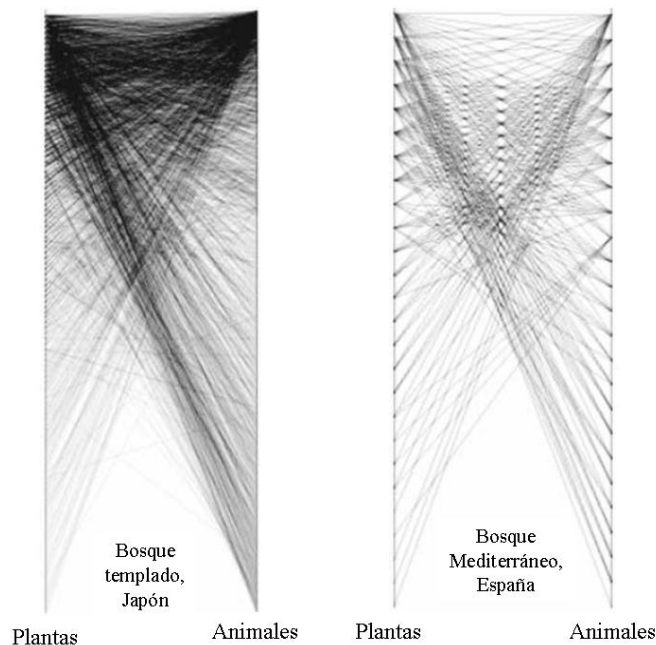


Figura 2. Ejemplo de redes bipartitas con estructura anidada.  
Fuente: Modificado de Jordano *et al.* (2003).

La temperatura es la medida del anidamiento de una matriz, y varía entre 0 a 100, donde cero corresponde a una matriz perfectamente anidada y 100 para una matriz perfectamente desanidada (Atmar y Patterson, 1993). Las redes con estructura anidada poseen temperaturas que difieren significativamente de redes generadas al azar. Además, las redes anidadas presentan una estructura de interacción más ordenada que las redes generadas al azar, como se ve en la siguiente figura.

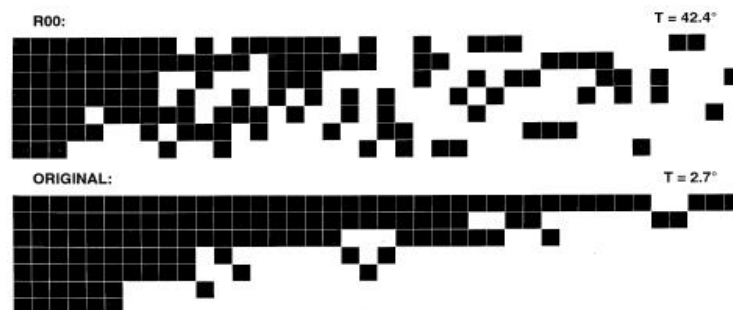


Figura 3. Ejemplo de red generada al azar y red anidada  
Fuente: Modificado de Wright *et al.* (1998).

## Apéndice 1 (Continuación)

La modularidad es la medida de la organización de las interacciones de las especies en módulos claramente definidos (Olesen *et al.*, 2007). El grado de modularidad puede medirse a través del índice de modularidad. Si bien esta propiedad estructural al igual que el anidamiento, muestra la forma en que se organizan las interacciones de una red, Olesen *et al.* (2007) encontraron que la temperatura y el índice de modularidad son medidas incorrelacionadas, al menos en redes de polinización. Sin embargo, esto no significa que una red modular no pueda ser anidada. Un ejemplo de este caso, es la red de Chiloé, estudiada en este trabajo y otras analizadas por Olesen *et al.* (2007), como es el caso de la siguiente figura, que corresponde a una red polinización de los Andes centrales.

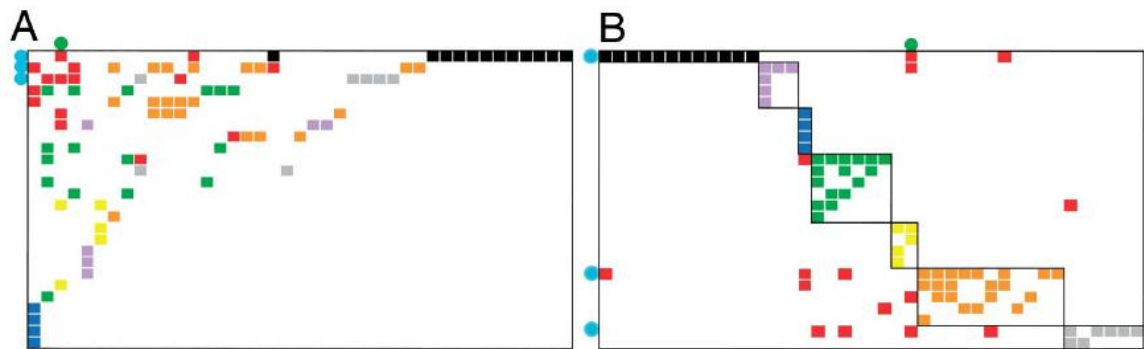


Figura 4. Ejemplo de una matriz anidada y modular. (A) es la versión de matriz anidada de la red, con las especies de plantas en columnas y las especies de polinizadores en filas, ordenadas desde la esquina superior izquierda en forma descendente según el grado de las especies. Las celdas coloreadas corresponden a las interacciones entre las especies. (B) Es la versión de matriz modular de la misma red que en A; las especies no están ordenadas de acuerdo a su afinidad modular (el orden de los módulos es arbitrario). Las celdas rojas son las especies que actúan de “pegamento” entre los siete módulos de la red, y las celdas que no son color rojo son las interacciones entre módulos (las interacciones de los diferentes módulos pueden ser identificados en A por su color). Tanto en A como en B, las especies que actúan como “hubs” de módulos y especies conectoras son mostradas como puntos azules y verdes, respectivamente, en la parte externa del borde de la matriz.

Fuente: Modificado de Olesen *et al.* (2007).



## **Apéndice 1 (Continuación)**

### **Referencias**

- ATMAR, W. y PATTERSON, B. D. 1993. The measure of order and disorder in the distribution of species in fragmented habitat. *Oecologia* 96: 373-382.
- BASCOMPTE, J. y JORDANO, P. 2006. The structure of plant-animal mutualistic networks. En: PASCUAL, M. y DUNNE, J. (eds.). *Ecological networks*. Oxford University Press. New York, Estados Unidos. 143-159 p.
- BOCCALETTI, S.; LATORA, V.; MORENO, Y.; CHAVEZ, M. y HWANG, D.U. 2006. Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports* 424: 175-308.
- JORDANO, P.; BASCOMPTE, J. y OLESEN, J. M. 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant–animal interactions. *Ecology Letters* 6: 69–81.
- NEWMAN, M. E. J. 2003. The structure and function of complex networks. *SIAM Review* 45(2): 167-256.
- NEWMAN, M. E. J.; BARABÁSI, A. L. y WATTS, D. J. 2006. *The structure and dynamics of networks*. Princeton University Press. Princeton, Estados Unidos. 596 p.
- OLESEN, J. M.; BASCOMPTE, J.; DUPONT, Y. L. y JORDANO, P. 2007. The modularity of pollination networks. *Proceedings of National Academy of Science* 104(50): 19891-19896.
- WATTS, D. J. 2004. The “new” science of networks. *Annual Review of Sociology* 30: 243-270.
- WRIGHT, D. H.; PATTERSON, B. D.; MIKKELSON, G. M.; CUTLER, A. y ATMAR, W. 1998. A comparative analysis of nested subset patterns of species composition. *Oecologia* 113: 1-20.

**Apéndice 2.** Calculó del p-value para la temperatura y otras propiedades topológicas. La medida utilizada para saber si la temperatura de la matriz en estudio se encuentra dentro de la distribución empírica, se denomina “p-value”. El “p-value” se define como la probabilidad de obtener el valor observado o uno superior dado que la hipótesis nula es cierta, el modelo asumido es correcto y el muestreo fue aleatorio (Gill, 1999; Johnson, 1999). En términos formales, el “p-value” se define como:

$$P\left( T \geq T_c \mid H_0 \right)$$

Donde  $T$  es el valor observado,  $T_c$  es el valor crítico,  $H_0$  es la hipótesis nula. En el caso de la red de Chiloé, el cálculo del “p-value” se realizó de la siguiente manera. Primero se obtuvo el valor de la temperatura de la red de Chiloé. Posteriormente, el programa entrega la media y desviación estándar de las temperaturas de las matrices al azar. El número de matrices aleatorias generadas fue de  $n=1.000$ . A continuación, se estandarizó el valor de la temperatura de la red de Chiloé, de la siguiente manera:

$$Z_{Chiloe} = \frac{T_{Chiloe} - \bar{T}_{nula}}{ST_{Nula}}$$

Donde  $Z_{Chiloe}$  es el valor estandarizado de la temperatura de la red de Chiloé,  $T_{Chiloe}$  es la temperatura de la red de Chiloé,  $\bar{T}_{nula}$  es el promedio de temperatura de las matrices aleatorias,  $ST_{nula}$  es la desviación estándar de la temperatura de las matrices aleatorias. Una vez obtenido el valor de  $Z_{Chiloe}$ , se realizó el cálculo del “p-value” mediante la siguiente formula:

$$P_{value} = 1 - P(|Z_{Chiloe}|)$$

Donde  $P_{value}$  corresponde al “p-value”,  $P(|Z|)$  es el valor de la distribución normal estándar acumulada,  $Z_{Chiloe}$  es el valor estandarizado de la temperatura de la red de Chiloé. Esta formula corresponde a una prueba de una cola, es decir, considera uno de los dos lados de la distribución empírica. Se consideró utilizar una prueba de una cola y no de dos, porque se desea saber si el punto observado se encuentra dentro de la distribución empírica, sabiendo a priori que el punto observado se encuentra a la izquierda o derecha de la media de la distribución. Como el “p-value” es una probabilidad, sus valores fluctúan entre cero y uno, donde el valor cero significa que el valor observado difiere significativamente de una estructura de interacciones generada por azar, y uno significa que la matriz tiene una estructura de interacciones muy similar a lo que puede ser esperado por azar. En general, se considera al valor 0,05 como punto de corte, donde un “p-value” menor a este valor significa que se esta en presencia de diferencias significativas, mientras que valores de “p-value” superiores a 0,05 muestra que no existen diferencias significativas debido a que no hay rechazo de la hipótesis nula (Bolker, 2008).

## **Apéndice 2 (Continuación)**

### **Referencias**

BOLKER, B. M. 2008. Ecological models and data in R. Princeton University Press. Princeton, Estados Unidos. 396 p.

GILL, J. 1999. The insignificance of null hypothesis significance testing. Political Research Quarterly 52: 647-674.

JOHNSON, D. H. 1999. The insignificance of statistical significance testing. Journal of Wildlife Management 63: 763-772.

**Apéndice 3.** Módulos de la red de Chiloé y sus especies. Los nombres de las especies de insectos aparecen en el anexo 2 según número ID.

Nº de especies	Modulo 1		Modulo 2		Modulo 3	
	Especie	Grupo	Especie	Grupo	Especie	Grupo
1	Eucryphia cordifolia	Árbol	Asteranthera ovata	Enredadera	Amomyrtus meli	Árbol
2	ID 27	Coleoptera	Berberis buxifolia	Arbusto	ID 4	Coleoptera
3	ID 28	Coleoptera	Berberis darwinii	Arbusto	ID 5	Coleoptera
4	ID 39	Coleoptera	Embothrium coccineum	Árbol	ID 6	Coleoptera
5	ID 48	Diptera	Gaultheria phillyrei folia	Arbusto	ID 9	Coleoptera
6	ID 50	Diptera	Luzuriaga polyphylla	Enredadera	ID 12	Coleoptera
7	ID 52	Diptera	Luzuriaga radicans	Enredadera	ID 14	Coleoptera
8	ID 53	Diptera	Mitraria coccinea	Enredadera	ID 17	Coleoptera
9	ID 60	Diptera	Ovidia pillopillo	Arbusto	ID 33	Coleoptera
10	ID 62	Diptera	Rhaphithamnus spinosus	Arbusto	ID 34	Coleoptera
11	ID 64	Diptera	Ugni molinae	Arbusto	ID 57	Diptera
12	ID 66	Diptera	ID 100	Himenoptera	ID 58	Diptera
13	ID 67	Diptera	ID 101	Himenoptera	ID 59	Diptera
14	ID 78	Diptera	ID 103	Himenoptera	ID 69	Diptera
15	ID 83	Diptera	ID 104	Himenoptera	ID 75	Diptera
16	ID 88	Diptera	ID 107	Himenoptera	ID 85	Diptera
17	ID 92	Diptera	ID 112	Himenoptera	ID 86	Diptera
18	ID 95	Diptera	ID 121	Lepidoptera	ID 106	Himenoptera
19	ID 113	Himenoptera	ID 125	Birds	ID 118	Himenoptera
20	ID 115	Himenoptera	ID 126	Birds	ID 124	Megaloptera
21	ID 116	Himenoptera	ID 127	Birds		
22	ID 122	Lepidoptera	ID 128	Birds		
23	ID 123	Hemiptera				

**Apéndice 3.** (continuación).

N° de especies	Modulo 4		Modulo 5		Modulo 6	
	Especie	Grupo	Especie	Grupo	Especie	Grupo
1	Gevuina avellana	Árbol	Caldcluvia paniculata	Árbol	Tepualia stipularis	Arbusto
2	Luma apiculata	Árbol	Hydrangea serratifolia	Enredadera	ID 16	Coleoptera
3	Myrceugenia parvifolia	Arbusto	ID 19	Coleoptera	ID 20	Coleoptera
4	ID 24	Coleoptera	ID 22	Coleoptera	ID 21	Coleoptera
5	ID 38	Coleoptera	ID 55	Diptera	ID 25	Coleoptera
6	ID 40	Coleoptera	ID 84	Diptera	ID 26	Coleoptera
7	ID 44	Coleoptera	ID 90	Diptera	ID 32	Coleoptera
8	ID 51	Diptera	ID 93	Diptera	ID 35	Coleoptera
9	ID 54	Diptera	ID 96	Diptera	ID 36	Coleoptera
10	ID 56	Diptera	ID 97	Diptera	ID 37	Coleoptera
11	ID 63	Diptera	ID 108	Himenoptera	ID 41	Coleoptera
12	ID 65	Diptera	ID 114	Himenoptera	ID 42	Coleoptera
13	ID 71	Diptera	ID 119	Himenoptera	ID 45	Coleoptera
14	ID 74	Diptera			ID 46	Coleoptera
15	ID 80	Diptera			ID 47	Coleoptera
16	ID 87	Diptera			ID 61	Diptera
17	ID 102	Himenoptera			ID 68	Diptera
18	ID 110	Himenoptera			ID 70	Diptera
19					ID 72	Diptera
20					ID 73	Diptera
21					ID 76	Diptera
22					ID 82	Diptera
23					ID 91	Diptera
24					ID 99	Diptera
25					ID 117	Himenoptera
26					ID 120	Lepidoptera

**Apéndice 3.** (continuación).

Nº de especies	Modulo 7		Modulo 8		Modulo 9	
	Especie	Grupo	Especie	Grupo	Especie	Grupo
1	Gaultheria mucronata	Arbusto	Anagallis alternifolia	Herbácea	Amomyrtus luma	Árbol
2	ID 94	Diptera	Myrceugenia ovata	Árbol	Myrteola nummularia	Arbusto
3	ID 98	Diptera	Myrceugenia planipes	Árbol	Ugni candollei	Arbusto
4			ID 1	Coleoptera	ID 7	Coleoptera
5			ID 2	Coleoptera	ID 8	Coleoptera
6			ID 3	Coleoptera	ID 10	Coleoptera
7			ID 15	Coleoptera	ID 11	Coleoptera
8			ID 23	Coleoptera	ID 13	Coleoptera
9			ID 30	Coleoptera	ID 18	Coleoptera
10			ID 43	Coleoptera	ID 29	Coleoptera
11			ID 49	Diptera	ID 31	Coleoptera
12			ID 77	Diptera	ID 89	Diptera
13			ID 79	Diptera	ID 105	Himenoptera
14			ID 81	Diptera		
15			ID 109	Himenoptera		
16			ID 111	Himenoptera		

**Apéndice 4.** Roles de las especies de la red de Chiloé. Los nombres de las especies de insectos aparecen en el anexo 2 según número ID.

Grupo	Especie	Grado	Conectividad entre módulos, C	Grado estandarizado dentro del módulo, Z	Rol
Árboles	<i>Amomyrtus luma</i>	17	0,58	3,38	Especie "hub" de módulo
Árboles	<i>Amomyrtus meli</i>	34	0,64	4,36	Especie "hub" de red
Árboles	<i>Caldcluvia paniculata</i>	15	0,58	3,21	Especie "hub" de módulo
Árboles	<i>Eucryphia cordifolia</i>	38	0,63	4,69	Especie "hub" de red
Árboles	<i>Embothrium coccineum</i>	8	0,22	1,50	Especie periférica
Árboles	<i>Gevuina avellana</i>	16	0,50	2,83	Especie "hub" de módulo
Árboles	<i>Luma apiculata</i>	22	0,80	1,77	Especie conectora
Árboles	<i>Myrceugenia ovata</i>	29	0,80	2,89	Especie "hub" de red
Árboles	<i>Myrceugenia planipes</i>	18	0,72	2,09	Especie conectora
Arbustos	<i>Berberis darwinii</i>	7	0,45	0,65	Especie periférica
Arbustos	<i>Berberis buxifolia</i>	4	0,38	-0,19	Especie periférica
Arbustos	<i>Gaultheria mucronata</i>	2	0	1,41	Especie periférica
Arbustos	<i>Gaultheria phillyreifolia</i>	4	0	0,23	Especie periférica
Arbustos	<i>Myrteola nummularia</i>	2	0,50	-0,35	Especie periférica
Arbustos	<i>Myrceugenia parvifolia</i>	11	0,40	1,77	Especie periférica
Arbustos	<i>Ovidia pillopillo</i>	5	0,56	-0,19	Especie periférica
Arbustos	<i>Rhaphithamnus spinosus</i>	8	0,41	1,07	Especie periférica
Arbustos	<i>Tepualia stipularis</i>	47	0,68	5,00	Especie "hub" de red
Arbustos	<i>Ugni candollei</i>	2	0,50	-0,35	Especie periférica
Arbustos	<i>Ugni molinae</i>	2	0	-0,61	Especie periférica
Enredadera	<i>Asteranthera ovata</i>	2	0	-0,61	Especie periférica

#### Apéndice 4 (Continuación)

Grupo	Especie	Grado	Conectividad entre módulos, C	Grado estandarizado dentro del módulo, Z	Rol
Enredadera	<i>Hydrangea serratifolia</i>	7	0,49	0,92	Especie periférica
Enredadera	<i>Luzuriaga polyphylla</i>	2	0	-0,61	Especie periférica
Enredadera	<i>Luzuriaga radicans</i>	2	0	-0,61	Especie periférica
Enredadera	<i>Mitraria coccinea</i>	2	0	-0,61	Especie periférica
Herbácea	<i>Anagallis alternifolia</i>	5	0,32	0,50	Especie periférica
Coleóptero	ID 1	5	0,72	-0,30	Especie conectora
Coleóptero	ID 2	2	0	-0,30	Especie periférica
Coleóptero	ID 3	5	0,72	-0,30	Especie conectora
Coleóptero	ID 4	2	0,50	-0,23	Especie periférica
Coleóptero	ID 5	1	0	-0,23	Especie periférica
Coleóptero	ID 6	1	0	-0,23	Especie periférica
Coleóptero	ID 7	2	0,50	-0,35	Especie periférica
Coleóptero	ID 8	1	0	-0,35	Especie periférica
Coleóptero	ID 9	1	0	-0,23	Especie periférica
Coleóptero	ID 10	1	0	-0,35	Especie periférica
Coleóptero	ID 11	1	0	-0,35	Especie periférica
Coleóptero	ID 12	2	0,50	-0,23	Especie periférica
Coleóptero	ID 13	2	0,50	-0,35	Especie periférica
Coleóptero	ID 14	3	0,67	-0,23	Especie conectora
Coleóptero	ID 15	1	0	-0,70	Especie periférica
Coleóptero	ID 16	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 17	1	0	-0,23	Especie periférica
Coleóptero	ID 18	1	0	-0,35	Especie periférica



#### Apéndice 4 (Continuación)

Grupo	Especie	Grado	Conectividad entre módulos, C	Grado estandarizado dentro del módulo, Z	Rol
Coleóptero	ID 19	6	0,83	-0,46	Especie conectora
Coleóptero	ID 20	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 21	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 22	1	0	-0,46	Especie periférica
Coleóptero	ID 23	2	0	-0,30	Especie periférica
Coleóptero	ID 24	6	0,78	-0,35	Especie conectora
Coleóptero	ID 25	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 26	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 27	1	0	-0,21	Especie periférica
Coleóptero	ID 28	2	0,50	-0,21	Especie periférica
Coleóptero	ID 29	1	0	-0,35	Especie periférica
Coleóptero	ID 30	2	0	-0,30	Especie periférica
Coleóptero	ID 31	2	0,50	-0,35	Especie periférica
Coleóptero	ID 32	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 33	1	0	-0,23	Especie periférica
Coleóptero	ID 34	2	0,50	-0,23	Especie periférica
Coleóptero	ID 35	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 36	2	0,50	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 37	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 38	3	0	0	Especie periférica
Coleóptero	ID 39	2	0,50	-0,21	Especie periférica
Coleóptero	ID 40	4	0,63	-0,35	Especie conectora

#### Apéndice 4 (Continuación)

Grupo	Especie	Grado	Conectividad entre módulos, C	Grado estandarizado dentro del módulo, Z	Rol
Coleóptero	ID 41	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 42	3	0,67	-0,20	Especie conectora
Coleóptero	ID 43	4	0,63	-0,30	Especie conectora
Coleóptero	ID 44	3	0,44	-0,35	Especie periférica
Coleóptero	ID 45	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 46	1	0	-0,20	Especie periférica
Coleóptero	ID 47	1	0	-0,20	Especie periférica
Díptero	ID 48	2	0,50	-0,21	Especie periférica
Díptero	ID 49	1	0	-0,70	Especie periférica
Díptero	ID 50	1	0	-0,21	Especie periférica
Díptero	ID 51	1	0	-0,71	Especie periférica
Díptero	ID 52	1	0	-0,21	Especie periférica
Díptero	ID 53	1	0	-0,21	Especie periférica
Díptero	ID 54	4	0,63	-0,35	Especie conectora
Díptero	ID 55	1	0	-0,46	Especie periférica
Díptero	ID 56	7	0,82	-0,35	Especie conectora
Díptero	ID 57	2	0,50	-0,23	Especie periférica
Díptero	ID 58	2	0,50	-0,23	Especie periférica
Díptero	ID 59	1	0	-0,23	Especie periférica
Díptero	ID 60	1	0	-0,21	Especie periférica
Díptero	ID 61	2	0,50	-0,20	Especie periférica
Díptero	ID 62	2	0,50	-0,21	Especie periférica

#### Apéndice 4 (Continuación)

Grupo	Especie	Grado	Conectividad entre módulos, C	Grado estandarizado dentro del módulo, Z	Rol
Diptero	ID 63	1	0	-0,71	Especie periférica
Diptero	ID 64	1	0	-0,21	Especie periférica
Diptero	ID 65	1	0	-0,71	Especie periférica
Diptero	ID 66	1	0	-0,21	Especie periférica
Diptero	ID 67	1	0	-0,21	Especie periférica
Diptero	ID 68	1	0	-0,20	Especie periférica
Diptero	ID 69	2	0,50	-0,23	Especie periférica
Diptero	ID 70	1	0	-0,20	Especie periférica
Diptero	ID 71	2	0	-0,35	Especie periférica
Diptero	ID 72	1	0	-0,20	Especie periférica
Diptero	ID 73	1	0	-0,20	Especie periférica
Diptero	ID 74	6	0,67	0	Especie conectora
Diptero	ID 75	2	0,50	-0,23	Especie periférica
Diptero	ID 76	1	0	-0,20	Especie periférica
Diptero	ID 77	1	0	-0,70	Especie periférica
Diptero	ID 78	2	0,50	-0,21	Especie periférica
Diptero	ID 79	7	0,73	0,10	Especie conectora
Diptero	ID 80	1	0	-0,71	Especie periférica
Diptero	ID 81	2	0,50	-0,70	Especie periférica
Diptero	ID 82	3	0,67	-0,20	Especie conectora
Diptero	ID 83	1	0	-0,21	Especie periférica
Diptero	ID 84	3	0,67	-0,46	Especie conectora

#### Apéndice 4 (Continuación)

Grupo	Especie	Grado	Conectividad entre módulos, C	Grado estandarizado dentro del módulo, Z	Rol
Díptero	ID 85	2	0,50	-0,23	Especie periférica
Díptero	ID 86	3	0,67	-0,23	Especie conectora
Díptero	ID 87	12	0,81	0	Especie conectora
Díptero	ID 88	2	0,50	-0,21	Especie periférica
Díptero	ID 89	5	0,56	0,48	Especie periférica
Díptero	ID 90	5	0,80	-0,46	Especie conectora
Díptero	ID 91	2	0,50	-0,20	Especie periférica
Díptero	ID 92	1	0	-0,21	Especie periférica
Díptero	ID 93	3	0,44	0	Especie periférica
Díptero	ID 94	1	0	-0,71	Especie periférica
Díptero	ID 95	1	0	-0,21	Especie periférica
Díptero	ID 96	1	0	-0,46	Especie periférica
Díptero	ID 97	1	0	-0,46	Especie periférica
Díptero	ID 98	1	0	-0,71	Especie periférica
Díptero	ID 99	1	0	-0,20	Especie periférica
Himenóptero	ID 100	18	0,78	1,50	Especie conectora
Himenóptero	ID 101	21	0,73	2,76	Especie "hub" de red
Himenóptero	ID 102	2	0,50	-0,71	Especie periférica
Himenóptero	ID 103	4	0,38	-0,19	Especie periférica
Himenóptero	ID 104	9	0,64	0,65	Especie conectora
Himenóptero	ID 105	3	0,67	-0,35	Especie conectora
Himenóptero	ID 106	2	0,50	-0,23	Especie periférica
Himenóptero	ID 107	10	0,80	-0,19	Especie conectora

#### Apéndice 4 (Continuación)

Grupo	Especie	Grado	Conectividad entre módulos, C	Grado estandarizado dentro del módulo, Z	Rol
Himenóptero	ID 108	3	0,67	-0,46	Especie conectora
Himenóptero	ID 109	1	0	-0,70	Especie periférica
Himenóptero	ID 110	1	0	-0,71	Especie periférica
Himenóptero	ID 111	5	0,64	-0,30	Especie conectora
Himenóptero	ID 112	1	0	-1,04	Especie periférica
Himenóptero	ID 113	1	0	-0,21	Especie periférica
Himenóptero	ID 114	2	0,5	-0,46	Especie periférica
Himenóptero	ID 115	1	0	-0,21	Especie periférica
Himenóptero	ID 116	1	0	-0,21	Especie periférica
Himenóptero	ID 117	1	0	-0,20	Especie periférica
Himenóptero	ID 118	3	0,67	-0,23	Especie conectora
Himenóptero	ID 119	4	0,63	0	Especie conectora
Lepidóptero	ID 120	1	0	-0,20	Especie periférica
Lepidóptero	ID 121	1	0	-1,04	Especie periférica
Lepidóptero	ID 122	1	0	-0,21	Especie periférica
Hemíptero	ID 123	2	0,50	-0,21	Especie periférica
Megalóptero	ID 124	1	0	-0,23	Especie periférica
Ave	ID 125	1	0	-1,04	Especie periférica
Ave	ID 126	1	0	-1,04	Especie periférica
Ave	ID 127	1	0	-1,04	Especie periférica
Ave	ID 128	6	0,28	0,65	Especie periférica

## Apéndice 5. Descripción de las propiedades topológicas de la red sin especies exóticas.

### 1. Distribución de grado

Se analizó la distribución de grado acumulada tanto para la red entera como para los conjuntos de polinizadores y de plantas, por separado, de la misma manera que fue explicada en el punto 2.2.1.

El mejor modelo que describió la distribución de grado de la red entera fue la ley de potencia truncada, mientras que para el ensamble de animales fue la ley de potencia. Por otra parte, para el conjunto de plantas, el modelo exponencial es el que mejor se ajusta a la distribución de grado de este grupo. Los gráficos de la distribución de grado se muestran a continuación, mientras que los parámetros de los modelos ajustados se muestran en el cuadro 1 de este apéndice.

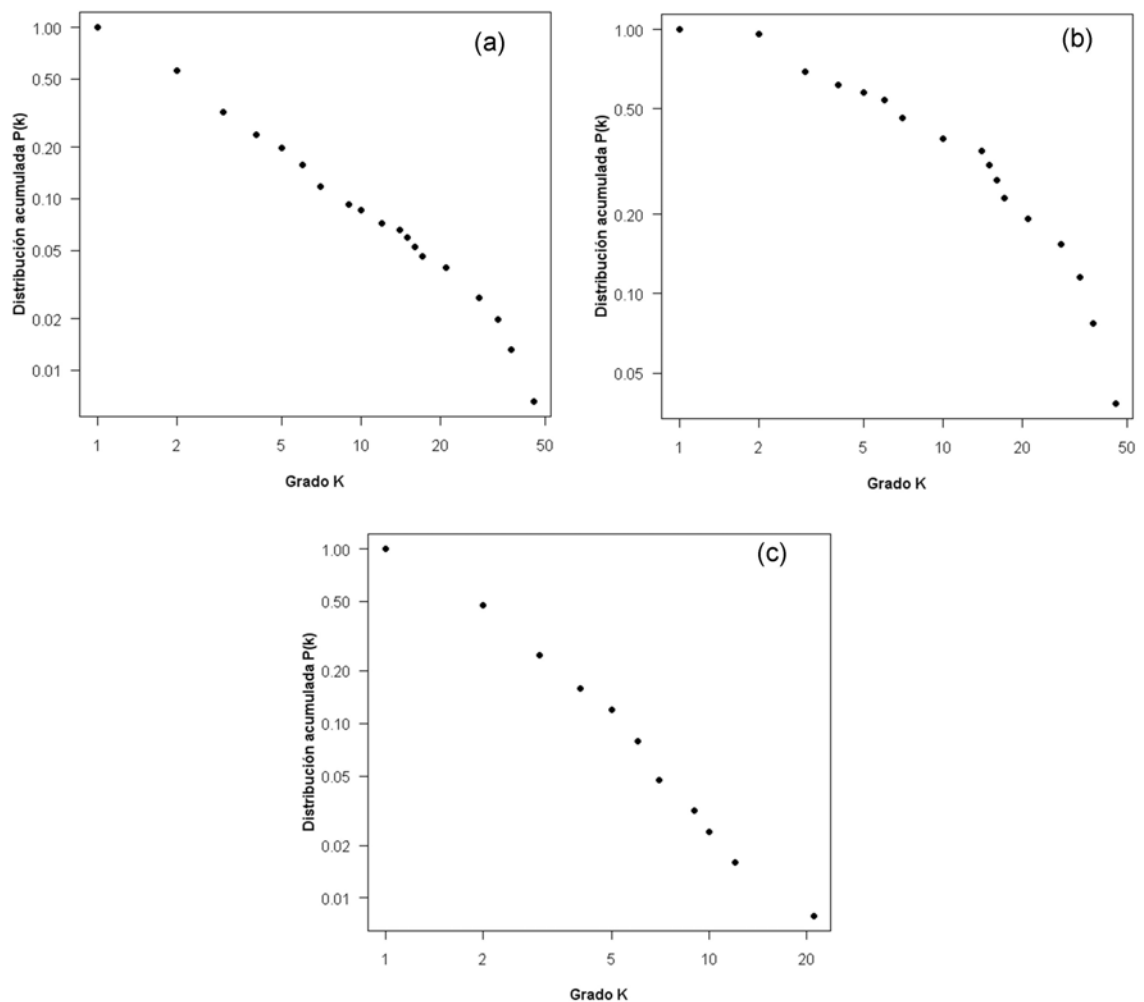


Figura 1. Distribución de grado para la red entera (a), las plantas (b) y los polinizadores (c), de la red sin especies exóticas.

## Apéndice 5 (Continuación)

Cuadro 3. Distribución de grado de la red de Chiloé y de la red sin exóticas

Red analizada	Mejor modelo ajustado	Valor de los parámetros	Varianza explicada
<b>Red de Chiloé</b>			
Red entera	Ley de Potencia	$\gamma = 0,999$	0,990
Plantas	Exponencial	$\alpha = 0,088$	0,952
Animales	Ley de Potencia	$\gamma = 1,275$	0,993
<b>Red sin Exóticas</b>			
Red entera	Ley de Potencia Truncada	$\gamma = 0,940$ $K_c = 29,788$	0,997
Plantas	Exponencial	$\alpha = 0,103$	0,961
Animales	Ley de Potencia	$\gamma = 1,312$	0,993

Como se puede apreciar en el cuadro 1 de este apéndice, tanto las plantas como los animales mantienen la misma forma de distribución, mientras que la red entera cambia de una ley de potencia a una ley de potencia truncada. Este cambio se puede atribuir a que se elimina una de las especies de polinizadores más conectadas de la red de Chiloé *Apis mellifera*.

## 2. Anidamiento

Se analizó el anidamiento de la red sin exóticas, y se calculó si la estructura anidada de esta red difiere significativamente de las estructuras de redes aleatorias generadas por el tercer modelo nulo del programa BINMATNEST, y si la temperatura de esta matriz se encuentra dentro de la distribución de temperaturas obtenidas de 1.000 matrices con estructura aleatoria, de la misma forma que lo señalado en el punto 2.2.3.2. El resultado de este análisis se encuentra en el cuadro 2 de este apéndice. En este cuadro aparece la temperatura de la red de Chiloé como referencia.

Cuadro 2. Anidamiento de la red de Chiloé y de la red sin exóticas

Red analizada	Temperatura	Promedio de Temperaturas	Desviación Estandar de las Temperaturas	P-Value
Red de Chiloé	2,80	17,75	4,38	< 0,001*
Sin exóticas 1	2,77	16,91	3,92	< 0,0001*
Sin exóticas 2	2,77	2,78	0,08	0,431

(\*) señala la presencia de diferencias significativas. Sin exóticas 1 compara la temperatura de esta red con la distribución de temperatura de redes aleatorias generadas por un modelo nulo. Sin exóticas 2 compara la temperatura de esta red con la distribución de temperatura de matrices que tienen eliminadas el mismo número de especies.

## Apéndice 5 (Continuación)

Esta red presenta una estructura anidada, con una temperatura similar a la red de Chiloé , que difiere significativamente de las redes aleatorias generadas por un modelo nulo (cuadro 2 red sin exóticas 1), pero no presenta diferencias significativas con la eliminación al azar del mismo número de especies (cuadro 2 red sin exóticas 2). Esto último se puede deber a que la eliminación de estas especies no altera sustancialmente el núcleo de interacción de la red.

### 3. Modularidad

La modularidad de la red sin exóticas fue analizada con el algoritmo SA. El índice de modularidad de esta red fue comparado con los índices de modularidad de 100 matrices con estructura aleatoria generadas por este programa, para saber si la red sin exóticas presenta una estructura modular producto del azar. Para esto, se calculó el “p-value” correspondiente. Además, se analizó los módulos que presenta esta red y las posibles diferencias que tienen con los módulos de la red de Chiloé.

Cuadro 3. Características de los módulos presentes en la red de sin exóticas

Nº de Módulo	Número de nodos dentro del módulo	Número de arcos dentro del módulo	Número de arcos desde el módulo a otro	Número total de arcos
1	13	13	24	37
2	31	48	40	88
3	3	2	0	2
4	25	24	28	52
5	17	23	45	68
6	19	26	40	66
7	20	19	29	48
8	24	23	22	45
<b>Promedio por módulo</b>	19	22	29	51
<b>Desviación estandar por módulo</b>	8,5	13,0	14,2	25,4

Esta red presenta ocho módulos y las propiedades básicas de estos módulos (número promedio de nodos dentro de los módulos y número promedio de arcos dentro y entre módulos) no presentan grandes diferencias con la red de Chiloé.



**Apéndice 5** (Continuación)

Cuadro 4. Comparación entre los índices de modularidad de la red de Chiloé y de la red sin exóticas versus las redes generadas al azar

<b>Red analizada</b>	<b>Índice de Modularidad</b>	<b>Modularidad media de las redes generadas al azar</b>	<b>Desviación Estandar de la Modularidad de las redes generadas al azar</b>	<b>P-Value</b>
Red de Chiloé	0,44297	0,42171	0,00651	<0,001*
Sin exóticas	0,45523	0,43760	0,00726	<0,01*

(\*) señala la presencia de diferencias significativas.

Esta red presenta diferencias significativas entre su índice de modularidad y la distribución de índices de redes aleatorias generadas por el programa.

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Características biológicas de las especies de plantas presentes en la red de Chiloé

Especies	Familia	Forma de vida	Forma de la corola	Color de flor	Recurso	Mes del pick de floración	Sistema reproductivo	Dependencia del polinizador
Berberis buxifolia	Berberidaceae	Arbusto	Campana	Amarillo	Nectar, polen	Septiembre	Auto - Incompatible	Alta
Berberis darwini	Berberidaceae	Arbusto	Campana	Amarillo	Nectar, polen	Octubre	Auto - Compatible	Alta
Caldcluvia paniculata	Cunoniaceae	Árbol	Ausente	Blanco	Nectar, polen	Diciembre	Auto - Compatible	Parcial
Gaultheria phillyreifolia	Ericaceae	Arbusto	Campana	Blanco	Nectar, polen	Noviembre	Dioico	Absoluta
Gaultheria mucronata	Ericaceae	Arbusto	Campana	Blanco	Nectar, polen	Diciembre	–	–
Eucryphia cordifolia	Eucryphiaceae	Árbol	Disco	Blanco	Nectar, polen	Febrero	Auto - Incompatible	Alta
Asteranthera ovata	Gesneriaceae	Enredadera	Tubular	Rojo	Nectar, polen	Diciembre - Enero	Auto - Incompatible	Alta
Mitraria coccinea	Gesneriaceae	Enredadera	Tubular	Naranja	Nectar, polen	Diciembre - Enero	Auto - Incompatible	Alta
Luzuriaga polyphylla	Philesiaceae	Enredadera	Campana	Blanco	Nectar, polen	Noviembre	Auto - Incompatible	Absoluta
Luzuriaga radicans	Philesiaceae	Enredadera	Campana	Blanco	Nectar, polen	Noviembre	Auto - Incompatible	Absoluta
Anagallis alternifolia	Primulaceae	Herbácea	Campana	Blanco	Nectar, polen	Enero	–	–
Embothrium coccineum	Proteaceae	Tree	Tubular	Rojo	Nectar, polen	Octubre - Noviembre	Auto - Incompatible	Absoluta
Gevuina avellana	Proteaceae	Árbol	Tubular	Amarillo	Nectar, polen	Febrero	–	–
Rhaphithamnus spinosus	Verbenaceae	Arbusto	Tubular	Violeta	Nectar, polen	Octubre	Auto - Compatible	Parcial
Ovidia pillopillo	Thymeliaceae	Arbusto	Disco	Blanco	Polen	Octubre	Dioico	Absoluta
Hydrangea serratifolia	Hydrangeaceae	Enredadera	Ausente	Blanco	Polen	Diciembre	Dioico	Absoluta
Myrteola nummularia	Myrtaceae	Arbusto	Disco	Blanco	Polen	Noviembre	Auto - Compatible	Nula
Ugni candollei	Myrtaceae	Arbusto	Campana	Rosado	Polen	Diciembre	–	–
Ugni molinae	Myrtaceae	Arbusto	Campana	Rosado	Polen	Diciembre	Auto - Compatible	Alta
Amomyrtus luma	Myrtaceae	Árbol	Disco	Blanco	Polen	Octubre	Auto - Compatible	Parcial
Amomyrtus meli	Myrtaceae	Árbol	Disco	Blanco	Polen	Noviembre	Auto - Compatible	Parcial
Luma apiculata	Myrtaceae	Árbol	Disco	Blanco	Polen	Febrero	Auto - Incompatible	Alta
Myrceugenia planipes	Myrtaceae	Árbol	Disco	Blanco	Polen	Enero	Auto - Incompatible	Alta
Myrceugenia parvifolia	Myrtaceae	Arbusto	Disco	Blanco	Polen	Febrero	–	–
Myrceugenia ovata	Myrtaceae	Árbol	Disco	Blanco	Polen	Enero	Auto - Compatible	Alta
Tepualia stipularis	Myrtaceae	Arbusto	Disco	Blanco	Nectar, polen	Febrero	–	–

Fuente: Modificado de Smith-Ramírez *et al.* (2005)

**Anexo 2.** Características taxonómicas de las especies de polinizadores presentes en la red de Chiloé

<b>ID Especie</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>
1	Coleoptera	Cantharidae	Chauliognathus sp.
2	Coleoptera	Cantharidae	Dysmorphocellus sp.
3	Coleoptera	Cantharidae	Hyponotum krausseii
4	Coleoptera	Cerambycidae	Callideriphus laetus
5	Coleoptera	Cerambycidae	Chenoderus testaceus
6	Coleoptera	Cerambycidae	Platynocera gracilipes
7	Coleoptera	Cerambycidae	Platynocera gracilis
8	Coleoptera	Chrysomelidae	Clamirius apicarius
9	Coleoptera	Cleridae	Eurymetopun obscurum
10	Coleoptera	Cleridae	Eurymetopun prasinum
11	Coleoptera	Cleridae	Eurymetopun proteus
12	Coleoptera	Coccinellidae	Adalia deficiens
13	Coleoptera	Curculionidae	Dasydema hirtella
14	Coleoptera	Curculionidae	Rhopalomerus tenuirostris
15	Coleoptera	Chrysomelidae	Chlamysus sp.
16	Coleoptera	Lathrididae	Melanophthalma aff. seminigra
17	Coleoptera	Melyridae	Hylodanacea binotus
18	Coleoptera	Melyridae	Hylodanacea elegans
19	Coleoptera	Mordellidae	Mordella erythrura
20	Coleoptera	Mordellidae	Mordella luctuosa

Fuente: Modificado de Smith-Ramírez *et al.* (2005)

**Anexo 2** (continuación)

<b>ID Especie</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>
21	Coleoptera	Mordellidae	Especie no identificada 1
22	Coleoptera	Mordellidae	Especie no identificada 2
23	Coleoptera	Mordellidae	Especie no identificada 4
24	Coleoptera	Mordellidae	Especie no identificada 5
25	Coleoptera	Mordellidae	Especie no identificada 6
26	Coleoptera	Mordellidae	Especie no identificada 7
27	Coleoptera	Mordellidae	Especie no identificada 8
28	Coleoptera	Oedemeridae	Mecopselaphus maculicollis
29	Coleoptera	Scarabidae	Schizochelus serratus
30	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 1
31	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 2
32	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 4
33	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 7
34	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 10
35	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 11
36	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 12
37	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 13
38	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 15
39	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 16
40	Coleoptera	Scirtidae	Especie no identificada 17
41	Coleoptera	Staphylinidae	Aleocharinae (subf.) Especie no identificada 1

Fuente: Modificado de Smith-Ramírez *et al.* (2005)

**Anexo 2** (continuación)

<b>ID Especie</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>
42	Coleoptera	Staphylinidae	Aleocharinae (subf.) Especie no identificada 2
43	Coleoptera	Staphylinidae	Aleocharinae (subf.) Especie no identificada 3
44	Coleoptera	Staphylinidae	Aleocharinae (subf.) Especie no identificada 4
45	Coleoptera	Staphylinidae	Aleocharinae (subf.) Especie no identificada 5
46	Coleoptera	Staphylinidae	Aleocharinae (subf.) Especie no identificada 6
47	Coleoptera	Staphylinidae	Aleocharinae (subf.) Especie no identificada 7
48	Diptera	Acroceridae	Megalybus crassus
49	Diptera	Bombyliidae	Especie no identificada 1
50	Diptera	Calliphoridae	Especie no identificada 1
51	Diptera	Calliphoridae	Especie no identificada 2
52	Diptera	Calliphoridae	Especie no identificada 4
53	Diptera	Calliphoridae	Especie no identificada 5
54	Diptera	Dolichopodidae	Thrypticus especie no identificada 1
55	Diptera	Empididae	Especie no identificada 1
56	Diptera	Lauxaniidae	Especie no identificada 1
57	Diptera	Lauxaniidae	Especie no identificada 4
58	Diptera	Muscidae	Craspedochaeta linbinervis
59	Diptera	Muscidae	Fannia Especie no identificada 1
60	Diptera	Muscidae	Fannia Especie no identificada 2
61	Diptera	Muscidae	Fannia Especie no identificada 3
62	Diptera	Muscidae	Fannia Especie no identificada 4

Fuente: Modificado de Smith-Ramírez *et al.* (2005)

**Anexo 2** (continuación)

<b>ID Especie</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>
63	Diptera	Muscidae	Fannia Especie no identificada 5
64	Diptera	Muscidae	Fannia Especie no identificada 6
65	Diptera	Muscidae	Fannia Especie no identificada 8
66	Diptera	Nemestrinidae	Trichophthalma commutata
67	Diptera	Nemestrinidae	Trichophthalma herbsti
68	Diptera	Sarcophagidae	Especie no identificada 1
69	Diptera	Sarcophagidae	Especie no identificada 3
70	Diptera	Sarcophagidae	Especie no identificada 4
71	Diptera	Sarcophagidae	Especie no identificada 5
72	Diptera	Sarcophagidae	Especie no identificada 6
73	Diptera	Syrphidae	Allograpta hortensis
74	Diptera	Syrphidae	Allograpta pulchra
75	Diptera	Syrphidae	Cheilosia nitescens
76	Diptera	Syrphidae	Dolichogyna chilensis
77	Diptera	Syrphidae	Dolichogyna nigripes
78	Diptera	Syrphidae	Eristalis assimilis
79	Diptera	Syrphidae	Eristalis elegans
80	Diptera	Syrphidae	Eristalis tenax
81	Diptera	Syrphidae	Fazia bullaephora
82	Diptera	Syrphidae	Fazia macquarti
83	Diptera	Syrphidae	Macrometopia atra

Fuente: Modificado de Smith-Ramírez *et al.* (2005)

**Anexo 2** (continuación)

<b>ID Especie</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>
84	Diptera	Syrphidae	Melanostoma chalconotus
85	Diptera	Syrphidae	Melanostoma fenestratus
86	Diptera	Syrphidae	Melanostoma lundbladi
87	Diptera	Syrphidae	Melanostoma sp.
88	Diptera	Syrphidae	Mesograpta calceolatus
89	Diptera	Syrphidae	Mesograpta philippi
90	Diptera	Syrphidae	Stilbosona cyanea
91	Diptera	Syrphidae	Syrphus octomaculatus
92	Diptera	Syrphidae	Tropidia sp.
93	Diptera	Syrphidae	Nueva Especie
94	Diptera	Tabanidae	Scaptia (pseudomelpia) horrens
95	Diptera	Tachinidae	Lypha erigonopsidis
96	Diptera	Tachinidae	Morphodexia sp.
97	Diptera	Tachinidae	Peleteria filipalpis:
98	Diptera	Tachinidae	Tachininae (subf.) Especie no identificada 2
99	Diptera	Tachinidae	Tachininae (subf.) Especie no identificada 3
100	Hymenoptera	Apidae	Apis mellifera
101	Hymenoptera	Apidae	Bombus dahlbomii
102	Hymenoptera	Braconidae	Especie no identificada 2
103	Hymenoptera	Colletidae	Diphaglossa gayi
104	Hymenoptera	Halictidae	Cadeguala albopilosa

Fuente: Modificado de Smith-Ramírez *et al.* (2005)



**Anexo 2** (continuación)

<b>ID Especie</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>
105	Hymenoptera	Halictidae	Cadeguala occipitalis
106	Hymenoptera	Halictidae	Corynura corynogastra
107	Hymenoptera	Halictidae	Corynura patagonica
108	Hymenoptera	Halictidae	Corynura rubella
109	Hymenoptera	Halictidae	Corynura aff. lepida
110	Hymenoptera	Halictidae	Corynura aff. atrovirens
111	Hymenoptera	Halictidae	Caenohalictus movilicornis
112	Hymenoptera	Ichneumonidae	Especie no identificada 1
113	Hymenoptera	Ichneumonidae	Especie no identificada 2
114	Hymenoptera	Pompilidae	Especie no identificada 1
115	Hymenoptera	Pompilidae	Especie no identificada 2
116	Hymenoptera	Vespidae	Hypodynerus sp.
117	Hymenoptera	Vespidae	Vespula germanica
118	Hymenoptera	Vespidae	Euneminae (subf.) Especie 1
119	Hymenoptera	Vespidae	Especie no identificada 2
120	Hymenoptera	Microhymenoptera	Especie no identificada 1
121	Lepidoptera	Nymphalinae	Vanessa sp.
122	Lepidoptera	Pieridae	Eroessa chilensis
123	Hemiptera	Miridae	Especie no identificada 1
124	Megaloptera	Sialidae	Protosialis chilensis
125	Aves	Fringillidae	Carduelis barbatus
126	Aves	Fringillidae	Phrygilus patagonicus
127	Aves	Tirannidae	Elaenia albiceps
128	Aves	Trochilidae	Sephanoides sephaniodes

Fuente: Modificado de Smith-Ramírez *et al.* (2005)