UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICASY AGROPECUARIAS

Campus Tuxpan

Maestría en Ciencias del Ambiente

Título:

"Efecto del aislamiento de árboles de *Bursera simaruba* en la estructura de su red mutualista"

PRESENTA:

Biól. Valeria Guadalupe Cano Velázquez

Director:

Dr. Ascención Capistrán Barradas

Co-director:

Dr. Raúl Ortíz Pulido

Tuxpan, Veracruz Enero 2017

Dr. José Luis Alanís Méndez

Coordinador de la Maestría en Ciencias del Ambiente

Tuxpan de Rodríguez Cano Veracruz, a 5 de enero de 2017

La presente Tesis titulada: **"Efecto del aislamiento en árboles de *Bursera simaruba* en la estructura de su red mutualista"**, realizada por la C. Biol. Valeria Guadalupe Cano Velázquez, bajo dirección del consejo particular del Dr. Ascención Capistran Barradas y bajo la codirección del Dr. Raúl Ortiz Pulido ha sido aprobada y aceptada para poder llevar a cabo la solicitud de fecha del examen para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE

Dr. Ascención Capistrán Barradas

Director

Dr. Raúl Ortiz Pulido

Codirector

Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE

Revisión del trabajo de intervención de la alumna: **Valeria Guadalupe Cano Velázquez.**

JURADO EXAMINADOR

NOMBRE	FECHA	DICTAMEN	FIRMA
Rodrigo Cuervo González	4 Enero 2017	aprobada	
Miguel Ángel Lozano Rodríguez	4 Enero 2017	aprobada	
Marisela López Ortega	4 Enero 2017	Aprobada	

En la presente revisión se acordó que el trabajo de intervención denominado **"Efecto del aislamiento de árboles de *Bursera simaruba* en la estructura de su red mutualista"** que presenta la sustentante para obtener el Título de Maestra, está terminado por lo que puede proceder a su inmediata impresión.

Agradecimientos

Primero que nada agradesco a mis padres quienes me han apoyado incondicionalmente en todas las decisiones que he tomado.

Al Dr. Ascención Capistrán Barradas y a el Dr. Raúl Ortiz Pulido por haber aceptado ser mis directores de tesis y ayudarme a realizar mis análisis y aclarme las dudas que se me presentaron durante la ejecusion de este trabajo.

A Fidel Garcia, Analí Bello, Maria de Jesús Gonzales, Jose Alfonso Espinosa, Isabel Aquino, Arlene Ibarra y Luis García por apoyarme en el trabajo de campo realizado.

A Alejandra Márquez y Edgar Chávez por apoyarme en los análisi de las redes.

Al CONACYT por la beca de estudios de Maestría num. 635206 otorgada para realizar mis estudios.

Dedicatoria

A dios quien en todo momento a guido mis pasos, para no determe y lograr todo lo que me he propuesto.

A mis padres quienes confiaron en mi y me apoyaron en todo momento.

Índice

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN…… 1

II. ANTECEDENTES …… 4

III. OBJETIVOS …… 8

IV. HIPÓTESIS…… 9

V. ÁREA DE ESTUDIO…… 10

VI. MATERIAL Y MÉTODOS…… 14

VI.I Análisis de redes …… 17

VI.II Número de interacciones…… 17

VI.III Conectancia …… 18

VI.IV Grado de anidamiento…… 18

VI.V Modularidad…….. 18

V.VI Dependencia planta-animal……... 19

V.VII Robustez…… 21

V.VIII Especialización de la red …… 21

V.IX Especies núcleo-periferia……... 22

V.X Análisis de regresión lineal de modelos generalizados……... 22

VII. RESULTADOS ……. 24

VII.I Abundancia de aves en cerco vivo y árboles aislados…….. 24

VII.II Interacciones……... 25

VII.III Características de las redes…… 27

VII.IV Dependencia animal-vegetal…….. 29

VII.V Asimetría……. 29

VII.VI Robustez…… 32

VII.VII Especies núcleo periferia …….. 34

VII.VIII Regresión lineal de modelos generalizados …… 36

VIII. DISCUSIÓN ……. 37

VIII.I Características intrínsecas …….. 37

VIII.II Caracteristicas extrínsecas …… 37

VIII.III Características estructurales …… 38

IX. CONCLUSIONES…….... 45

X. APLICACIÓN PRÁCTICA ……. 46

XI. BIBLIOGRAFÍA…… 47

XII. Anexo …… 58

XII.I Imágenes de las aves avistadas en cerco vivo y árboles aislados…… 58

índice de figuras

Figura 1. Localización del área de estudio en Tuxpan, Veracruz ……. 11

Figura 2. Esquema representando como se realizaron los avistamientos de aves, se hizo la medición de parámetros delárbol diámetro a la altura del pecho, altura, cobertura y conteo de frutos durante este estudio……. 15

Figura 3. Individuos que visitan los árboles de *Bursera simaruba* en cerco vivo (CV) y árboles aislados (AI) en Tuxpan, Veracruz……. 24

Figura 4. Red de interacción ave-*Bursera simaruba* en cerco vivo …….. 30

Figura 5. Red de interacción ave-*Bursera simaruba* en árboles aislados …… 31

Figura 6. Esquemas que presentan la robustez en las redes ave-*Bursera simaruba* ante la extinción secuencial de especies de aves en Tuxpan, Veracruz, México…… 32

Figura 7. Esquemas que presentan la robustez en las redes ave-*Bursera simaruba* ante la extinción secuencial de individuos de *Bursera simaruba* en Tuxpan, Veracruz…… 33

Índice de cuadros

Cuadro 1. Matriz de interacciones árbol-aves en cerco vivo ……. 25

Cuadro 2. Matriz de interacciones árbol-aves en árboles aislados…….. 26

Cuadro 3. Características de la red ave-planta en dos condiciones (cerco vivo y árboles aislados)….. 28

Cuadro 4. Especies núcleo-periferia en aves e individuos de *Bursera simaruba* en cerco vivo…….. 34

Cuadro 5. Especies núcleo-periferia en individuos de *Bursera simaruba* en árboles aislados ……... 35

Cuadro 6. Valores de P para el número de frutos consumidos en ambos sitios (cercos vivos y árboles aislados) ……..... 36

Resumen

Las redes mutualistas son aquellas en donde las especies se ven beneficiadas en esta interaccion planta-animal y estan integradas por nodos que se encuentran conectados. El estudio de las redes mutualistas nos ayuda a entender la dinámica de los ecosistemas y su estado de conservación actual. Con las redes mutualistas se pueden definir que especies se requieren conservar y proteger. *Bursera simaruba* es una especie de árbol ecológicamente relevante en el Neotrópico cuyas semillas son dispersadas por aves. En el presente estudio se evaluó, usando la aproximación de redes mutualistas, la interacción llevada a cabo entre las aves e individuos de *Bursera simaruba* localizados en dos matrices de paisaje distintas, árboles aislados y árboles en cercos vivos. Se hipotetizó que los individuos aislados presentarían una menor interacción que aquellos localizados en cercos vivos. En cada condición se estudiaron 20 individuos de la planta, determinando en cada caso las especies de aves que consumieron sus frutos. Se registraron 14 especies de aves consumiendo frutos en árboles aislados y 18 especies en árboles en cercos vivos. La red mutualistica resultó anidada en ambos sitios, la robustez de las redes ante la eliminación de individuos fue mayor en cercos vivos que en árboles aislados. Las especies de aves que constituyeron el nucleo de ambas redes variaron, en cerco vivo fueron *Icterus gularis, Myiozetetes similis, Vireo olivaceus*, *Psilorhinus morio, Psarocolius montezuma* y *Baeolophus atricristatus*, mientras que en árboles aislados fueron *Vireo griseus, Vireo solitarius* y *Myiozetetes similis.* Las variables diámetro a la altura del pecho altura y número

de frutos explicaron significativamente el número de frutos consumidos por las aves. Se concluye que ambas redes son similares y la red de árboles aislados se ve afectada por esta condición.

I. INTRODUCCIÓN

Las aves cumplen un papel importante en los ecosistemas. Estas ocupan muy diversos estratos en las cadenas alimentarias de cualquier zona, lo que les permite establecer relaciones ecológicas de muy diversa índole con otros organismos; estas funciones son vitales para los ecosistemas, por ejemplo, a través de su acción en la dispersión de semillas (Ortiz-Pulido, 2009).

La dispersión de semillas se considera como una función ecosistémica importante que controla la dinámica de las comunidades de plantas y la recuperación de la vegetación en los paisajes alterados por el hombre (García *et al.*, 2010). Un gran número de especies dependen de animales mutualistas para la dispersión de sus semillas; esta tarea la realizan diversos organismos, como las aves, que ingieren los frutos y defecan las semillas en forma intacta, la dispersión de semillas juega un papel determinante en el éxito de la restauración o regeneración de bosques ya que estos organismos pueden depositar semillas de especies pioneras y primarias, definiendo con ello la la composición de la comunidad vegetal en el tiempo (Amico y Aizen, 2005; Hernández-Ladrón de Guevara *et al*., 2012).

Las interacciones ecológicas entre plantas y sus dispersores de semillas han jugado un papel importante en el mantenimiento de la biodiversidad en la tierra. En este sentido el estudio de interacciones especificas, como la llevada a cabo entre aves y plantas permite definir aspectos claves de los interactuantes (Moreno, 2010; Jordano *et al*., 2006).

La dispersión de semillas es una interacción mutualista. Las interacciones mutualistas son relaciones establecidas entre dos o más organismos donde los interactuantes obtienen beneficios (Badii *et al*., 2013). A pesar de ello, hasta recientemente era difícil encontrar patrones en este tipo de interacciones (Bascompte *et al*., 2003). En años recientes se ha promovido el análisis de las interacciones mutualistas como redes mutualistas donde se analizan las conexiones entre las especies. Esta aproximación permite la descripción de los patrones estructurales que operan en las interacciones ecológicas en el nivel de comunidad y constituye un nuevo campo en la ecología (Diaz *et al.*, 2012).

El análisis de las redes mutualistas ayuda a determinar estrategias de conservación a nivel de comunidad, facilitando ubicar especies relevantes para conservar o proteger, por ejemplo, a través de este enfoque se puede conocer el efecto que tiene la desaparición de las especies más conectadas en la red mutualista de la cual formaban parte (Montoya *et al*., 2001).

Hasta la fecha pocos estudios han evaluado, con una aproximación de redes mutualistas, la dispersión de semillas por aves de una especie de planta cuyos individuos se localizan bajo condiciones ambientales contrastantes. *Bursera simaruba* L. Sarg 1890 (*Burseraceae)* es una especie ampliamente distribuida en el Neotropico, se le encuentra en vegetación primaria, bosques secundarios y es usada en pastizales ganaderos como cerco vivo o como árbol de sombra para el ganado (Rzedowski, 1979; Harvey *et al*., 2003). Sus frutos son consumidos y dispersados por aves, las cuales obtienen alimento a lo largo del año de esta especie. Es una planta que se usa para controlar la erosión del suelo, recuperar

terrenos degradados, como barrera contra incendios y vientos (Rzedowski, *et al*., 2005).

El objetivo del presente trabajo fue Determinar la relación entre las características extrínsecas (e.g. DAP, altura, cobertura y frutos) e intrínsecas(e.g. tipo de paisaje en que se encuentra, especies de aves que las visitan, intensidad de visitas recibidas, número de frutos consumidos)) de los individuos de *Bursera simaruba* y la estructura de su red mutualista en dos ambientes contrastantes (cercos vivos y árboles aislados) en el municipio de Tuxpan Ver. este estudio se desarrolló en la planicie costera del norte de Veracruz, México.

II. ANTECEDENTES

Las redes mutualistas planta-animal se describen como gráficos bipartidos que representan las interacciones entre dos conjuntos distintos de nodos (especies), que pueden ser plantas y animales (Bascompte y Jordano, 2006; Jordano *et al.,* 2009). Estas a menudo implican docenas o incluso cientos de especies que forman complejas redes de interdependencias (Bascompte y Jordano, 2007).

Las interacciones desarrolladas en la naturaleza tejen redes complejas caracterizadas por una topología definida y universal. Se trata de redes muy heterogéneas (la mayoría de las especies interaccionan con otras pocas especies, pero unas pocas especies están mucho mas conectadas de lo que se esperaría), encajadas (las especialistas interaccionan con subconjuntos bien definidos de las especies que interaccionan con las generalistas) y basadas en dependencias débiles y asimétricas (si una planta depende mucho de ese animal, el animal apenas dependerá de esa planta) entre las especies, todas las redes presentan un patrón común estos patrones desempeñan un papel muy importante para la persistencia de las especies y constituyen la arquitectura de la biodiversidad ya que la dinámica de la comunidad depende de la forma en que las especies interactúan (Bascompte y Jordano, 2008). Un patrón prevalente en las redes mutualistas es la modularidad la cual se compone de especies muy relacionadas entre sí (Olsen *et al*., 2007), otro de ellos es la estructura anidada en la que las especialistas interactúan con subconjuntos de especies, reduce la competencia entre especies y aumenta el número de especies que coexiste e implica que hay un núcleo de taxones con alta densidad de interacciones, ofrece posibilidades de

persistencia de especies y proporciona respuestas alternativas del sistema después de las perturbaciones como la eliminación de especies o enlaces (Kondoh *et al*., 2010; Bastolla *et al*., 2009), el patrón de las asimetrías puede facilitar el mantenimiento de la biodiversidad (Bascompte *et al*., 2006).

La estructura de las redes mutualistas ofrece pistas sobre los procesos que conforman la biodiversidad. Entre ellos, la interacción, el grado de asociación biológica, la cual conduce diferencias en los patrones de especialización y pueden afectar a la organización de la red (Guimarães, 2007). La interaccion entre la estructura y función de las redes ecológicas, puede ser clave para entender las relaciones en las comunidades ecológicas (Okuyama y Holanda, 2008).

Las redes mutualistas determinan en gran medida cual va hacer la consecuencia de la extinción de especies, por lo tanto la extinción de unas pocas especies estrechamente conectadas puede ejercer efectos catastróficos para la red, en gran medida la arquitectura de estas redes determina como se propagan las perturbaciones (Jordano y Bascompte, 2008). Es importante el conocimiento a cerca de las extinciones en las redes de dispersión debido a que la perdida de especies mutualista puede impactar a las especies de plantas con un grupo de dispersores y en su caso si una población de una especie de ave en particular se extingue la limitación de semillas para una poblacion de plantas, solo podrá ser superada si existen otros animales mutualistas que puedan dispersar sus semillas (Angulo, 2011; Loiselle *et al.*, 2007).

Entre los trabajos realizados sobre las aves que dispersan las semillas de *Bursera simaruba*, se cuentan con trabajos en sudamerica, en Costa Rica se contabilizaron 54 especies de aves que consumen el fruto de *Bursera simaruba*, siendo esta una especie importante para las aves migratorias y el género *Vireo* (Gorchov y Bannett 1982 in Scott y Martin, 1984; Scott y Martin, 1984; Chaves, 2003), en Panamá se observaron 26 especies (Trainer y Wild, 1984). En Copán, Ruinas, Honduras se registró que los géneros que consumen frutos de *B. simaruba* son *Aratinga, Ramphastos* y *Amazona* (Sánchez *et al*., 2011) y en Jamaica se registraron un total de 18 especies de aves consumidoras del fruto de *B. simaruba* (Gosse, 1947 in Scott y Martin, 1984).

En México dispersan el árbol de *Bursera simaruba* un total de 40 especies de aves (Vázquez-Yanes *et al*., 1999; Greenberg *et al*., 1995; Scoot y Martin, 1984; Foster, 2007). En el sur de Veracruz se tiene el registro de 19 especies de aves consumen frutos de *B. simaruba* (Graham *et al.*, 2002) y en la Mancha, Veracruz se registraron 27 especies de aves que ingieren frutos de *Bursera simaruba* (Ortiz-Pulido *et al*., 2000).

El patrón de movimiento de las aves es seleccionado por la heterogeneidad en los paisajes conservados y la frecuencia de perturbación de estos mismos, las aves que utilizan los paisajes agropecuarios prefieren la heterogeneidad de usos de la tierra, por ello los potreros con cercos vivos mantienen una comunidad de aves diversa, estos cercos permiten el flujo de la fauna y conecta mediante el intercambio de semillas remanente de bosque y parches asi como elementos de árboles aislados en una matriz altamente fragmentada (Guevara *et al*., 2004; Ramirez *et al*., 2011; Ossa-Lacayo, 2003; Lang *et al.,* 2003).

Los árboles aislados actúan como nodos, dirigen el vuelo de las aves que al cruzar las zonas abiertas dependen de estos árboles para perchar u obtener alimento (Laborde, 1996 in Guevara *et al.,* 2004).

Actualmente existen diversos trabajos sobre las aves que consumen *Bursera simaruba* en diferentes zonas (conservadas y perturbadas), sin embargo no son suficientes para determinar la cantidad de especies de aves que interactúan con esta especie por ello, es necesario llevar a cabo trabajos en diferentes periodos del año de a cuerdo a la fructificación de este árbol, es importante continuar realizando estudios enfecados en la propagación de sus semillas, asi como el papel que cumple esta especie de árbol para las aves que consumen sus frutos en los pastizales ganaderos.

En el municipio de Tuxpan existen parches de vegetación donde se encuentran árboles de *Bursera simaruba*, muchos de estos se utilizan como cercos vivos, los cuales ofrecen el recurso de frutos para las aves, no existe un estudio que describa la interacción que llevan a cabo las aves consumidoras de los frutos de esta especie de árbol. Este trabajo se hizo con la finalidad de saber como se comportan las redes mualistas en estos sitios y si pueden dañar su estructura al encontrarse en estos ambientes (cercos vivos y árboles aislados) es por ello que se plantean los siguiente objetivos.

III. OBJETIVOS

III.I. Objetivo general

Determinar la relación entre las características (extrínsecas e intrínsecas) de los individuos de *Bursera simaruba* y la estructura de su red mutualista en dos ambientes contrastantes (cercos vivos y árboles aislados) en el municipio de Tuxpan Ver.

III.II. Objetivos específicos

- Determinar las especies de aves que visitan los árboles de *B. simaruba* en las dos condiciones cerco vivo y árboles aislados
- Evaluar las variables intrínsecas y extrínsecas de cada uno de los árboles de *B. simaruba* en cada condición de paisaje.
- Analizar la estructura de las redes mutualistas de *B*. *simaruba* en las dos condiciones.
- Analizar la fragilidad de las redes ante la pérdida de participantes en las dos condiciones.

IV. HIPÓTESIS

Considerando que las aves prefieren los sitios con árboles, se predice que los individuos de *B. simaruba* que se encuentran aislados en el pastizal presentan una menor interacción, considerando sus caracteristicas intrínsecas (diametro a la altura del pecho, altura, cobertura y cantidad de semillas producidas), características extrínsecas (pastizal, acahual, tular y manglar) y las características de la interaccion (dependencia animal y vegetal, asimetría, robustez, especialización, anidamiento, modularidad y especies núcleo y periferia), que aquellos localizados en cercos vivos, porque ofrecen a las aves refugio y capacidad de moverse entre estos árboles libremente.

V. ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en la zona de Tuxpan, Veracruz, México (20°57’30’’N, 97°23’00’’ O; 10-200 msnm), esta zona presenta un clima cálido húmedo con una temperatura media anual de 22°C, su precipitación oscila entre 1400-1600 mm (INEGI, 2009), en cuanto a su orografía el municipio se encuentra situado en la zona norte del estado de Veracruz sobre las estribaciones de la Huasteca (INAFED, 2010).

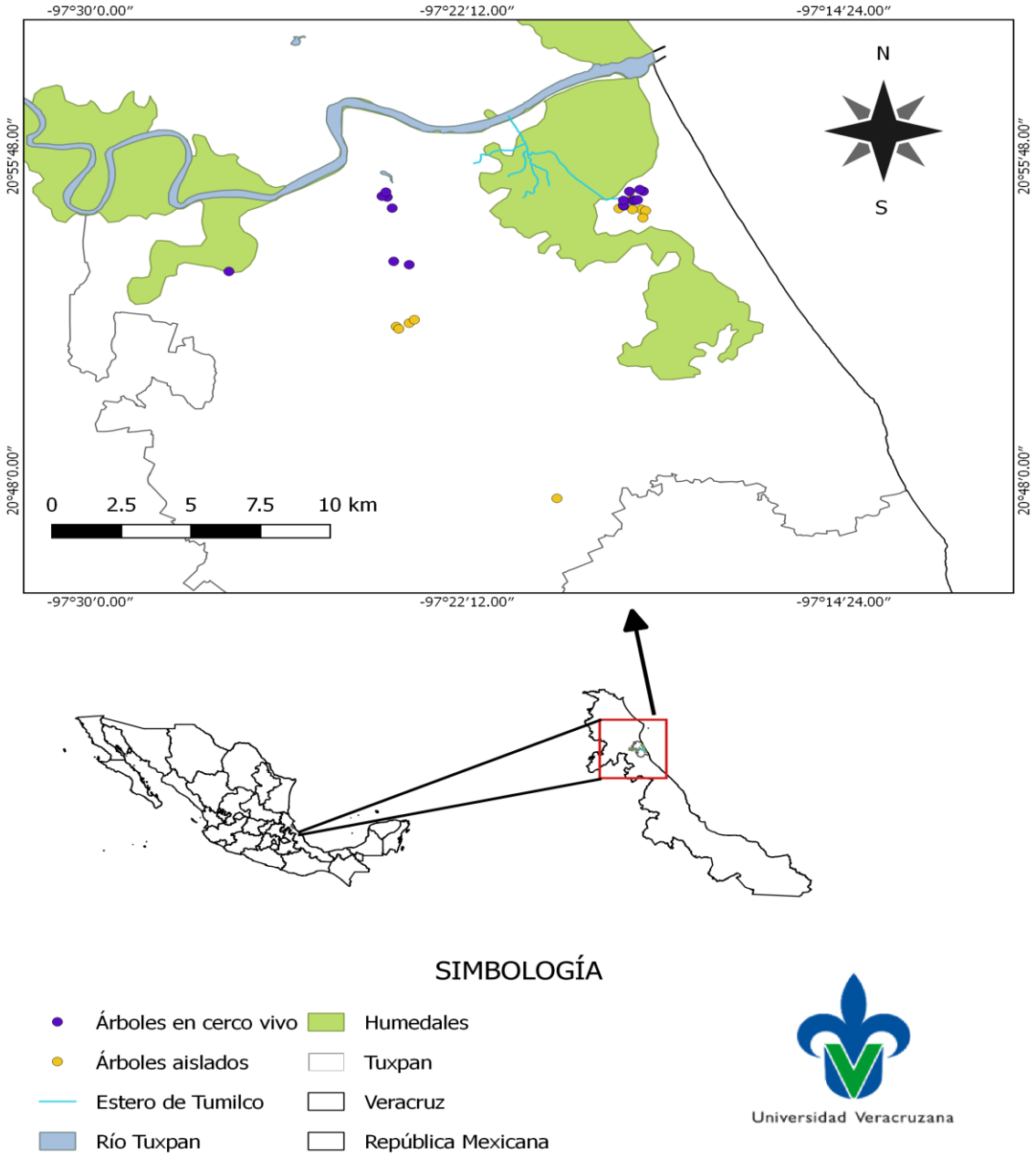

Figura 1. Localización del área de estudio en Tuxpan Veracruz.

La avifauna en la zona se encuentra representada por 125 especies (Cipriano, 2014). Algunas de las aves frugívoras que se encuentran allí son: *Baeolophus atricristatus, Sporophila torqueola, Streptopelia decaocto, Zenaida asiatica, Eupsittula nana, Dryocopus lineatus, Agelaius phoeniceus, Sturnella magna, Icterus gularis, Euphonia hirundinacea, Pitangus sulphuratus, Myiozetetes similis, Thraupis episcopus, Thraupis abbas, Volatina jacarina, Tiaris olivaceus, Saltator coerulescens* y *Psilorhinus morio,* entre otros (Hernández, 2010; Serrano *et al*., 2013; INEGI, 2009).

El paisaje en la zona presenta cinco tipos de vegetación: manglar, tular, relictos de selva mediana subperennifolia (con especies como *Acacia cornigera, Bromelia pinguin, Bursera simaruba, Coccoloba barbadensis, Psidium guajava, Jacquina macrocarpa, Viscum album, Solanum* sp., *Miconia argentea, Guazuma ulmifolia* y *Zamia* sp.), zona de cultivos (*Zea mays, Citrus sinensis, Citrus reticulata)* y pastizales ganaderos (*Cynodon s*pp., *Panicum maximum, Sorghum halepense)* (Basáñez *et al*., 2006; INEGI, 2009).

En cuanto a la especies de plantas con frutos carnosos predominaban en estas zonas chicozapote (*Manilkara zapota*), chote (*Parmentiera aculeata*) y *B. simaruba* entre otros (Puig, 1991). Actualmente en el estado de Veracruz existe una tasa de deforestación del 2.2% al año, del total de sus recursos forestales que conserva y lo califica como un estado que sufre mayor pérdida al año, particularmente de selvas (Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez, 2010).

Bursera simaruba L. Sarg 1890 (*Burseraceae)*

Es un árbol resinoso, de hasta 35 m de altura, su diámetro a la altura del pecho oscila entre 40 y 80 cm, su copa es irregular y dispersa (Vazquez-Yanes *et al*., 1999). Cuando los árboles crecen en lugares abiertos, sus ramas se extienden y forman una copa ancha. El fruto es una cápsula trivalvada con sólo el exocarpio dehiscente, de color rojizo o café-rojizo; en la madurez la semilla está totalmente cubierta por un pseudoarilo rojo o anaranjado. Los frutos maduran de octubre a marzo. En México se distribuye ampliamente, desde la sierra de Tamaulipas hasta Chiapas (Rzedowski, 1979; Rzedowski *et al*., 2005).

Trabajo de campo

Este trabajo se realizó en pastizales ganaderos localizados en los seis ejidos: Cerro de Tumilco, Las Pasas, La loma Vieja, Altamira, el Molinito y Santiago de la Peña. En ellos se localizaron árboles de *B. simaruba* en dos condiciones: como cercos vivos y como árboles aislados. Los cercos vivos son plantaciones forestales con forma linear que se han establecido para dividir los pastizales ganaderos. La vegetación predominante en los cercos vivos son: *Acacia cornigera, Bursera simaruba, Calliandra houstoniana, Piper amalago, Hamelia patens, Bauhinia divaricata, Ardisia escallonioides*, *Pisonia aculeata, Brosimum alicastrum, Ficus microcarpa, Cynodon* spp., *Panicum maximum, Sorghum halepense*, entre otros. Por su parte los árboles aislados son individuos que crecen en forma separada de cualquier masa forestal en un pastizal ganadero. Comúnmente son individuos que forman de remanentes de la vegetación original que por diversas

causas no fueron talados. Dentro de la vegetación presente en estos sitios se encuentra*, Aniba rosaeodora, Guazuma ulmifolia, Cedrela odorata* y *Zuelania guidonia*, entre otros.

VI. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó de septiembre 2015 a enero 2016 en los pastizales ganaderos indicados arriba. En ellos se ubicaron en total (i.e. considerando todos los pastizales) 40 árboles de *B. simaruba*. Veinte de ellos estuvieron en cercos vivos y 20 fueron árboles aislados. Para seleccionar cada árbol se consideró que existiera una separación mínima de 100 m entre cada uno de ellos. Cada árbol fue marcado con un número, sus coordenadas geográficas fueron registradas (GPS Garmin Etrex 20) y su fenología, en particular su fructificación, fue seguida durante el periodo indicado arriba. Cuando un árbol presentó frutos maduros su copa se observó (Fig. 2) durante dos días, con un esfuerzo de 8 h por día. De cada observación se registró en una bitácora: las especies de aves visitantes, el número de individuos por especies de ave, la cantidad de frutos maduros consumidos por especie de ave y la hora de llegada de cada uno de los visitantes. Para determinar las especies de aves se usaron binoculares 8 x 32 mm (marca Vortex), cámara fotográfica (Canon T3i, 18 Mp, con lente EF-S 75-300 mm) y guías de campo (Peterson y Chalif 2008), para el nombre de las especies se utilizó la taxonomía de a cuerdo a la American Ornitologist Union (AOU, 2014)**.** El periodo de observación

diario fue de 6:00-11:00 am y 16:00-19:00 pm, que son las horas del día consideradas como de mayor actividad de las aves (Ralph *et al*., 1996).

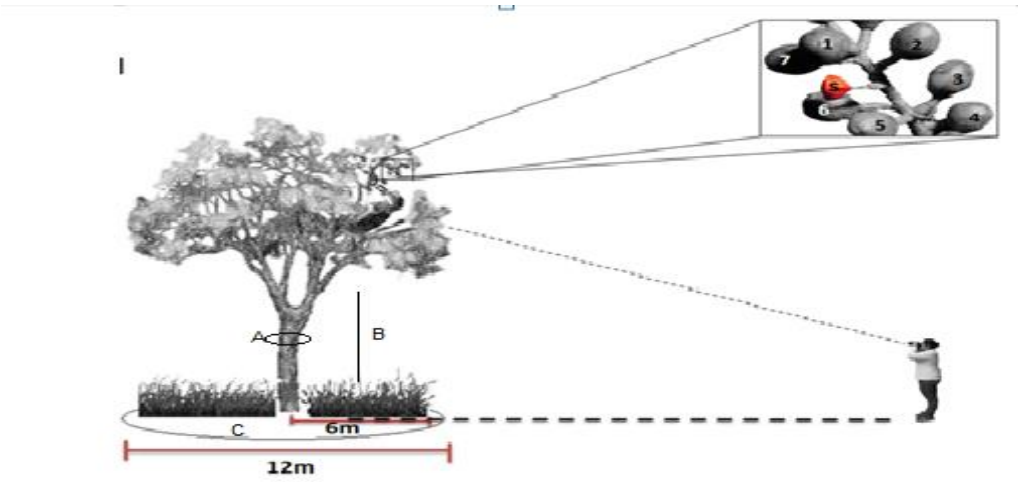

Figura 2. Esquema representando como se realizaron los avistamiento de aves, se hizo la medición de parámetros del árbol Diámetro a la Altura del Pecho, altura, cobertura y el conteo de frutos durante este estudio. En la imagen de la derecha se representan frutos (indicados con los números 1 al 7) y una semilla con su arilo (s), la imagen de la izquierda están representados el Diámetro a la Altura del Pecho (A), la altura (B) y cobertura (C).

- De cada árbol observado se midieron las siguientes variables intrínsecas (i.e. pertenecientes a cada individuo): Diámetro a la altura de pecho (DAP), usando una cinta forestal y usando la siguiente fórmula (Mostacedo y Fredericksen, 2000):

$$D = \frac{P}{\pi}$$

Dónde:

P = perímetro o circunferencia

π = 3.14159226

- Altura, medida mediante un clinómetro.
- Cobertura del árbol, medida usando el diámetro mayor (D1) y diámetro menor de la copa (D2) y usando las siguientes fórmulas (Velásquez, 2008):

$$\frac{D^1}{2} + \frac{D^2}{2} = D^3 \qquad \frac{\pi}{4(D_3)}$$

- Número total de frutos producidos por cada individuo de *B. simaruba.* Para ello se contabilizaron los frutos que tuvieron 3-5 ramas por árbol, se determinó la media y se extrapoló este valor por el número total de ramas del árbol (Gallina-tessaro, 2011).

De la misma manera, de cada árbol se midieron las siguientes características extrínsecas (o del paisaje):

- Distancias de cada árbol a diferentes tipos de vegetación (i.e acahual, tular pastizal y cultivo de cítricos y de maíz). Para ello se usó la aplicación Google Earth tomando el árbol como punto central y midiendo su distancia lineal a cada tipo de vegetación en el paisaje.
- Área ocupada por cada tipo de vegetación en el paisaje. Para ello, usando ArcGIS Resource center versión 10.3.1, se trazó un círculo de 500 m de radio alrededor de cada árbol y se midió el porcentaje de cada tipo de vegetación en ese círculo.

VI.I Análisis de redes

Primeramente se hizo una exclusión de árboles. Para ello se asignó cada árbol a cada tratamiento (i.e. cercos vivos y árboles aislados) usando imágenes de satélite obtenidas de Google Earth. Esto se hizo así porque en el trabajo de campo fue en ocasiones imposible determinar si un árbol estaba realmente aislado o era parte de un macizo forestal, pero con las imágenes de satélite esto fue determinado fácilmente. Como resultado de ello quedaron para el análisis de redes 16 árboles en cercos vivos y 11 árboles aislados.

Considerando los árboles que quedaron después de la exclusión se analizaron las redes establecidas por los árboles de cada tratamiento. Para cada grupo se obtuvo: número (diversidad) de pares de interacciones registradas, cantidad de interacciones, conectancia, grado de anidamiento, modularidad, dependencia planta-animal, robustez, especialización de la red, especies núcleo y periferia y relación entre las variables medidas y la estructura de las redes. Cada una de estas variables se explica a continuación.

VI.II Número de interacciones. Las interacciones entre aves frugívoras y árboles de *B. simaruba* se registraron en una matriz (R) de doble entrada, se hizo una matríz para cada condición (i.e. árboles en cerco vivo y aislados). En ellas se ubicaron los árboles (A) en las filas y las especies de aves frugívoras (F) en las columnas. En cada celda donde hubo una interacción (especie de ave y un árbol) se colocó un 1 donde hubo interacción o un 0 si no hubo interacción; se construyó una matriz cuantitativa, donde se llenaron la celdas con el número de veces que

se observó la interacción entre las aves frugívoras y cada árbol de *B. simaruba* observado. Se estimaron las interacciones potenciales mediante la multiplicación del total de aves por el total de árboles (i.e AxF) (Atmar y Patterson, 1993).

VI.III Conectancia. La conectancia, C = L/ (AxF) se interpreta como la proporción de interacciones registradas del total de interacciones potenciales, para obtener la conectancia se calculó el número de árboles (A), el número de especies de aves frugívoras (F) y el tamaño de la red (S), los análisis se realizaron utilizando el paquete Bipartite 2.02 (Dormann *et al.,* 2008) implementado en el software estadístico de distribución libre R 3.0.2 (R Core Team, 2013).

VI.IV Grado de anidamiento. El grado de anidamiento se refiere a que tanto las especies generalistas interaccionan entre sí y de que tanto las especies especialistas interaccionan sólo con las generalistas (Bascompte y Jordano 2007). El grado de anidamiento se calculó usando el algoritmo NODF propuesto por Almeida-Neto *et al*., (2008) para ello se utilizó ANINHADO 3.0 (Guimarães y Guimarães, 2006). Los valores de NODF oscilan entre cero y 100, se generaron 100 matrices aleatorias, (Bascompte *et al.,* 2003).

VI.V Modularidad. La modularidad se refiere cuando las redes existe grupos de nodos que iteracconan entre ellos, pero no interactuan con nodos de otros grupos. La modularidad se estimó mediante el programa MODULAR (Marquitti *et al.,* 2013), el cual identifica módulos no solapables dentro de las redes, el programa incorporá la función de modularidad propuesta por Barber (2007) la cual está

diseñada específicamente para redes bipartitas y detecta la modularidad en matrices de presencia-ausencia (Thébault, 2013). Esta función se calcula cómo:

$$M_B = \sum_{i=1}^{N_m} \frac{L_i}{L} - \left(\frac{k_i^C - k_i^R}{L^2} \right)$$

Donde Nm es el número de módulos, L es el número de vínculos en la red, Li es la suma de vínculos en el módulo *i*, $k_i{}^C$ es la suma del número de vínculos en el módulo *i* que pertenecen al conjunto de árboles C y $k_i{}^R$ es la suma del número de vínculos dentro del módulo *i* que pertenecen al conjunto de aves *R, se* realizaron 100 iteraciones. Los valores cercanos a 1 indican una mayor modularidad en la red (Fortuna *et al.,* 2010).

VI.VI Dependencia planta-animal. La dependencia se refiere a cuán dependiente es cada participante en la interacción, es decir en qué grado un participante necesita de otro en cuanto a los servicios prestados por el mutualismo (Bascompte *et al.*, 2006; Medrano, 2011). En el presente estudio para cada interacción se pueden obtener dos valores de dependencia, del individuo de *B. simaruba j* por el ave *i*, *dPij*, y del ave *i* por el individuo de *B. simaruba j*, *dAij* (Bascompte *et al.*, 2006; Jordano *et al.*, 2009). Las dependencias entre ambos grupos se obtuvieron aplicando las siguientes fórmulas:

dPij = Nij/Ni, para los árboles de *B. simaruba*

dAij = Nij/Nj, para las aves

Donde Nij representa el número de interacciones observadas para las aves y los árboles, Ni el número de interacciones registradas para *B. simaruba* con todas las especies de aves y Nj el número de interacciones registradas de las aves con todos los árboles de *B. simaruba*. Estos datos fueron consensuados en una matriz de dependencia animal (aves) y otra de dependencia vegetal (individuos de *B. simaruba*), que al final se unieron en una matriz de dependencia general (Jordano *et al.*, 2009). Posteriormente, se calcularon los valores de asimetría ave-árbol de *B. simaruba*, entendida ésta como la diferencia entre la dependencia que tienen entre si un par de participantes (i.e. aves-árboles de *B.simaruba*) interactuando, es decir es la diferencia entre la dependencia de los árboles y la dependencia del ave (Bascompte *et al.*, 2006; Medrano, 2011). De esta manera, si el árbol individual tuvo una dependencia de tres con una especie de ave específica y esta última tuvo una dependencia de uno con dicho árbol, la asimetría al restar ambos valores (3-1) será igual a dos (Medrano, 2011). Para esto se aplicó la siguiente fórmula:

$$ASij = |dPij - dAji| / dmax$$

Donde *dPij* es el valor de la dependencia del ave *i* por el árbol *j*, *dAji* indica la dependencia del árbol *j* por el ave *i* (ambos valores calculados anteriormente) y *dmax* el valor mayor de dependencias de la matriz. Estos valores se registraron en una matriz de asimetría, y se hizo la sumatoria de las columnas para obtener la fuerza de la especie, la cual fue representada en el grafo bipartita (Medrano, 2011). Así, por ejemplo, la fuerza de una especie de ave, es la suma de las

dependencias de los árboles que dependen de esa ave (Bascompte *et al.*, 2006). Ésta dependencia puede dividirse en fuerza del ave y fuerza del árbol.

VI.VII Robustez. La robustez se refiere a como se comportan las redes ante la perdida de especies. Se estimo la robustez de las redes mediante el programa R 3.0.2 (R Core Team, 2013) en el cual se generaron las curvas de extinción de tres tipos: aleatoria (elimina las especies de aves e individuos de *Bursera simaruba* de manera aleatoria), de grado (elimina las especies e individuos de *B. simaruba* que tienen menos conecciones en la red) y abundancia (elimina las especies de aves e individuos de B. simaruba que mas conecciones en la red) para especies del nivel trofico inferior y especies del nivel trofico superior. Con estas aproximaciones se construyeron curvas de extinción trazando el número de participantes que sobrevivieron en las dos redes (*i.e*. cercos vivos y árboles aislados). Luego se calculó el área bajo la curva de extinción correspondiente al índice de robustez (R) el cual explica que tan rápido colapsa una red con las extinciones acumuladas. El índice tiene un rango entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 indican una curva que decrece muy lentamente con la eliminación de especies, mientras valores próximos a cero indican una red que colapsa rápido (Palacio, 2014).

VI.VIII Especialización de la red. El índice de especialización (H´2) describe el nivel de especialización, o selectividad, de una red bipartida entera (Blüthgen *et al*., 2006), que va de 0 (baja selectividad) a 1 (alta selectividad). El grado de especialización se obtiene como una entropía normalizada en una escala entre H_{2min}y $H_{2máx}$ como:

$$H'_2 = \frac{H_{2\ max} - H_2}{H_{2\ max} - H_{2\ min}}.$$

La especialización de la red se calculó con el paquete bipartito (Dormann *et al*., 2008) de software estadístico R (R Development equipo central de 2008).

VI.IX Especies núcleo y periferia. Para determinar que especies son parte relevante del núcleo de cada red y cuales son de la periferia se realizó el análisis de las especies núcleo y periféricas mediante el programa UCINET 6 para Windows (Borgatti *et al.,* 2002; Analítica Technologies). Para ello se hicieron 20 aleatorizaciones de ambas redes (i.e. cerco vivo y árboles aislados), se obtuvo el porcentaje de aparición de cada una de los participantes en esas 20 aleatorizaciones y se determinó cuáles eran parte del núcleo y cuáles de la periferia. Se consideró que las especies que obtuvieron el 100% en las corridas fueron especies núcleo.

VI.X Análisis de regresión. Para determinar el efecto que tuvo cada variable intrínseca o extrínseca a los árboles de *B. simaruba* en la estructura de las redes analizadas se usó un análisis de regresión lineal generalizado, ocupando el programa GenStat (versión 17 2015, http://www.vsni.co.uk). En él se usaron como variables explicativas las características intrínsecas del árbol (i.e. DAP, altura, cobertura y frutos) y extrinsecas (e.g. distancia a: cultivo, remanente de selva o

pastizal; área ocupada por cultivos, remanentes de selva y pastizal dentro de un radio de 500 m alrededor de cada árbol); como variables de respuesta se usaron: fuerza, frutos consumidos, número de interacciones y dependencia. Como las variables de respuesta no tuvieron una distribución normal, algo que se comprobó usando pruebas de bondad de ajuste con el programa SigmaPlot versión 11 (2015 http://sigmaplot.softonic.com/) estas variables fueron transformadas a logaritmo base 10 (en el caso de fuerza, frutos consumidos y dependencia) y raíz cuadrada (número de interacciones), después de lo cual si presentaron distribución normal. Cuando los datos presentaron sobredispersión se modificó el parámetro escalar (*sensu* Crawley 1983). En todos los casos se consideró una $P<0.05$.

VII. RESULTADOS

VII.I Abundancia de aves en cerco vivo y árboles aislados

Se registraron un total de 20 especies de aves que visitaron 1002 veces los árboles de *B. simaruba*. Dieciocho especies de aves visitaron árboles en cerco vivo y catorce en árboles aislados. Las especies más representativas en cerco vivo fueron *Myiozetetes similis* (35 individuos) y *Vireo griseus* (28 individuos), en cuanto a árboles aislados las especies más representativas fueron *Vireo solitarius* (44 individuos) y *Baeolophus atricristatus* 24 individuos) (Fig. 3).

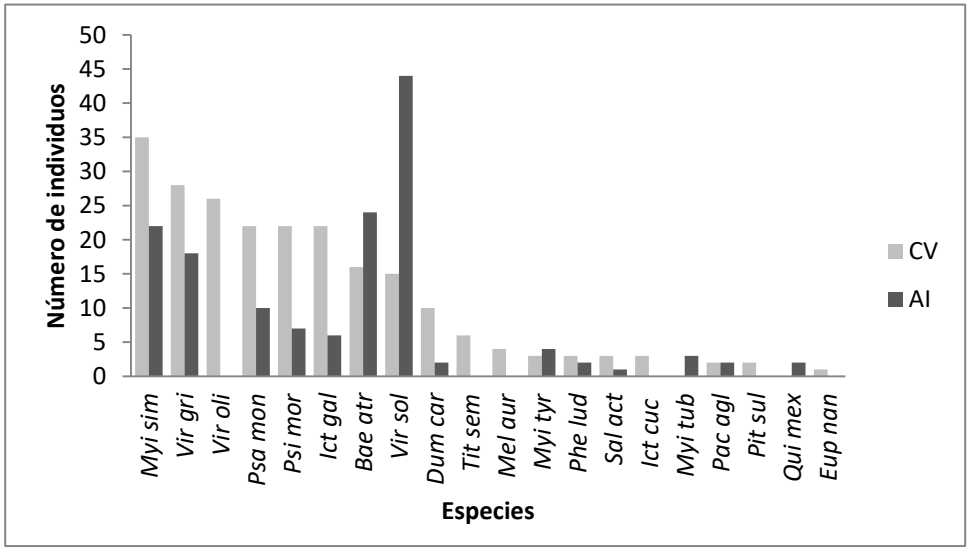

Figura 3.- Individuos que visitan los árboles *de Bursera simaruba* en cerco vivo (CV) y árboles aislados (AI), en Tuxpan, Veracruz: *Baeolophus atricristatus (Bae atr, Dumetella carolinensis (Dum car), Eupsittula nana (Eup nan), Icterus cucullatus (Ict cuc), Icterus gularis (Ict gul), Melanerpes aurifrons (Mel aur), Myiarchus tuberculifer (Myi tub), Myiarchus tyrannulus (Myi tyr), Myiozetetes similis (Myi sim), Pachyramphus aglaiae (Pac agl), Pheucticus ludovicianus (Phe lud), Pitangus sulphuratus (Pit sul), Psarocolius montezuma (Psa mon), Psilorhinus morio (Psi mor) , Quiscalus mexicanus (Qui mex), Saltator atriceps (Sal atr), Tityra semifasciata (Tit sem), Vireo griseus (Vir gri), Vireo olivaceus (Vir oli) y Vireo solitarius (Vir sol).*

VII.II Interacciones

En cerco vivo se registraron 602 visitas de aves a los árboles de *B. simaruba,* registrando 80 interacciones de 288 interacciones potenciales en esa red. Las especies que presentaron más interacciones fueron *Icterus gularis* (80 visitas a 6 árboles) y *Vireo olivaceus* (71 visitas a 9 árboles); las especies que obtuvieron menor interacción fueron *Eupsittula nana* (5 visitas en 1 árbol) y *Pachyramphus aglaiae* (5 visitas en 1 árbol; Cuadro 1).

Cuadro 1. Matriz de interacción ave-*Bursera simaruba* en cerco vivo. En las filas se representa la identidad de cada individuo de *B. simaruba* observado (con número) y en las columnas la especie de ave visitante. Los valores indicados en cada intercepción entre planta y aves representan las veces en que se observó la interacción entre cada árbol *de B. simaruba* y cada especie de ave. Acrónimos iguales que en figura 3.

Árboles de *B.simaruba*	*Ict gul*	*Vir oli*	*Myi sim*	*Psi mor*	*Psa mon*	*Vir gri*	*Bae atr*	*Vir sol*	*Mel aur*	*Tit sem*	*Phe lud*	*Dum car*	*Ict cuc*	*Pit sul*	*Myi tyr*	*Sal act*	*Eup nana*	*Pac agl*	Total
1	3	11	17	7	13	6	1	3	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	**70**
2	22	10	19	30	16	0	16	0	0	0	0	0	8	6	0	6	0	5	**138**
3	0	0	0	10	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**12**
4	0	0	2	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**12**
6	21	8	1	0	0	2	3	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	**41**
7	6	11	7	6	0	0	10	0	0	20	25	16	4	0	0	0	5	0	**110**
9	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	**10**
10	8	16	0	0	25	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	**54**
11	0	1	3	0	0	0	0	4	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**27**
12	0	0	1	1	0	0	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	**9**
13	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**6**
14	0	0	0	1	0	4	6	4	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	**21**
17	0	0	6	0	0	3	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**15**
18	0	4	3	0	0	9	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**18**
19	20	0	6	2	4	6	0	0	5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	**46**
20	0	6	3	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**13**
Total	**80**	**71**	**69**	**66**	**58**	**39**	**36**	**29**	**28**	**27**	**25**	**23**	**15**	**11**	**9**	**6**	**5**	**5**	**602**

En cuanto a los árboles aislados se registraron un total de 400 visitas, que correspondieron a 43 interacciones de las 154 interacciones potenciales en la red. Las especies de aves que visitaron con mayor frecuencia los árboles de *B. simaruba* fueron *Vireo solitarius* (116 visitas en 10 árboles) y *Baeolophus atricristatus* (80 visitas en 5 árboles); las aves que visitaron con menor frecuencia fueron *Quiscalus mexicanus* (4 visitas en 1 árbol) y *Myiarchus tuberculifer* (2 visitas en 1 árbol), (Cuadro 2).

Cuadro 2. Matriz de interacciones ave-*Bursera simaruba* en árboles aislados. Todo lo demás igual que en Cuadro 1.

.

Árboles de *B.simaruba*	**Vir sol**	**Bae atr**	**Myi sim**	**Vir gri**	**Myi tyr**	**Psi mor**	**Psa mon**	**Ict gul**	**Dum car**	**Phe lud**	**Pac agl**	**Sal act**	**Qui mex**	**Myi tub**	**Total**
5	3	4	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**20**
6	6	52	3	17	10	0	0	0	3	2	0	0	0	2	**95**
10	14	0	14	18	0	0	0	7	4	0	0	0	0	0	**57**
11	14	15	8	8	0	0	9	0	0	4	0	0	0	0	**58**
12	26	4	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	**33**
13	25	0	0	0	29	0	0	0	0	0	5	5	0	0	**64**
14	0	5	0	0	0	17	8	6	0	0	0	0	4	0	**40**
16	6	0	16	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	**28**
18	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**11**
19	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**5**
20	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**6**
Total	**116**	**80**	**49**	**49**	**39**	**21**	**19**	**15**	**7**	**6**	**5**	**5**	**4**	**2**	**417**

VII.III Características de las redes

La conectancia, especialización, interacciones, así como las características intrínsecas y extrínsecas de los árboles. No difirieron entre las dos condiciones (árboles en cerco vivo y aislados) Cuadro 3), salvo el área de cultivo que si difirió. (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características de las redes ave-planta estudiadas en Tuxpan, Veracruz, México. Se presentan datos para condiciones, i.e. cerco vivo y árboles aislados. En las características intrínsecas y extrínsecas de los árboles los valores indican media **±** error estándar. En estos casos las letras distintas indican que existen diferencian significativas a P<0.05.

Parámetro	Cerco vivo	Árboles aislados
Individuos de *Bursera simaruba*	16	11
Especies de aves	19	15
Tamaño de la red	35	26
Conectancia (C)	0.27	0.27
Especialización (H2)	0.4	0.4
Robustez LL (Aves)		
Robustez aleatoria	0.81	0.75
Robustez abundancia	0.90	0.96
Robustez grado	0.50	0.43
Robustez HL (Árboles)		
Robustez aleatoria	0.74	0.70
Robustez abundancia	0.92	0.86
Robustez grado	0.47	0.46
Anidamiento (NODF)	51.61 (P(Ce) 0.00)	49.21 (P (Ce) 0.01)
Modularidad	0.30 (P.Null 0.75)	0.35 (P.Null 0.55)
Interacciones	37.90±8.51	37.62±9.68
Dependencia animal	0.062	0.090
Dependencia vegetal	0.06	0.071
Asimetría animal	0.74	0.88
Asimetría vegetal	0.92	0.91
Características intrínsecas de los árboles		
Frutos	37892±10965.14 a	15271.81±5534.82 a
Altura	9.18±0.60 a	8.18±0.56 a
Cobertura	13.13±0.65 a	13.38±1.28 a
DAP	0.38±0.02 a	0.40±0.03 a
Características extrínsecas		
Distancia al cultivo de cítrico	337±66.4 a	385.5±169 a
Distancia al cultivo de Maíz	1560.1±117 a	1302.4±198.4 a
Distancia al remanente de selva	298.8±49.2 a	268.2±41.4 a
Área cultivo	4347.2±3393.6 a	147003.6±59965.8 b
Área acahual	59964.8±14124.8 a	37413.7±4784.5 a
Área tular	16691.6±11053.2 a	365.7±365.7 a
Área manglar	109.8±106.3 a	0±0a
Área pastizal	704019.06±18167.1 a	600392.4±62453.2 a

VII.IV Dependencia vegetal-animal

La dependencia de los árboles promedio en cerco vivo fue 0.06 (Cuadro 3); los árboles que presentaron mayor dependencia fueron el 3 (D=0.83) y el 4 (D=0.75; Fig. 4). La dependencia de las aves en promedio fue de 0.062 (Cuadro 3); las aves que presentaron mayor dependencia fueron *Saltator atriceps* (D=1) y *Pheucticus ludovicianus* (D=1; Fig. 5).

Para los árboles aislados la dependencia promedio de los árboles fue de 0.071 (Cuadro 3); los árboles con mayor dependencia fueron 18 y 19 (D=1; Fig. 4). La dependencia promedio de aves fue de 0.090 (Cuadro 3); las aves con mayor dependencia fueron *Pachyramphus aglaiae* (D=1) y *Quiscalus mexicanus* (D=1; Fig. 5).

VII.V Asimetría

El promedio de asimetría de los árboles en cerco vivo fue de 0.92 (Cuadro 3); los árboles que presentaron valores altos de asimetría fueron el 2 (As=3.41), 7 (As= 3.83) y 1 (As= 1.05). El promedio de la asimetría en aves fue de 0.74 (Cuadro 3); las especies de aves que presentaron valores más altos de asimetría en fueron *Vireo solitarius* (As= 1.23), *vireo griseus* (As=1.23) y *Psilorhinus morio* (As= 1.16; Fig. 4).

El promedio de la asimetría de los árboles en cerco vivo fue de 0.91 (Cuadro 3); los árboles que presentaron valores de asimetría altos fueron el 6 (As= 2.87), 13 (As= 1.22) y 14 (As= 1.69). El promedio de las asimetrías de las aves fue 0.88 (Cuadro 3); las aves que presentaron valores de asimetría altos fueron *Vireo solitarius* (As= 4.09), *Myiarchus tirannulus* (As= 0.98) y *Pachyramphus aglaiae* (As= 0.92; Fig. 5).

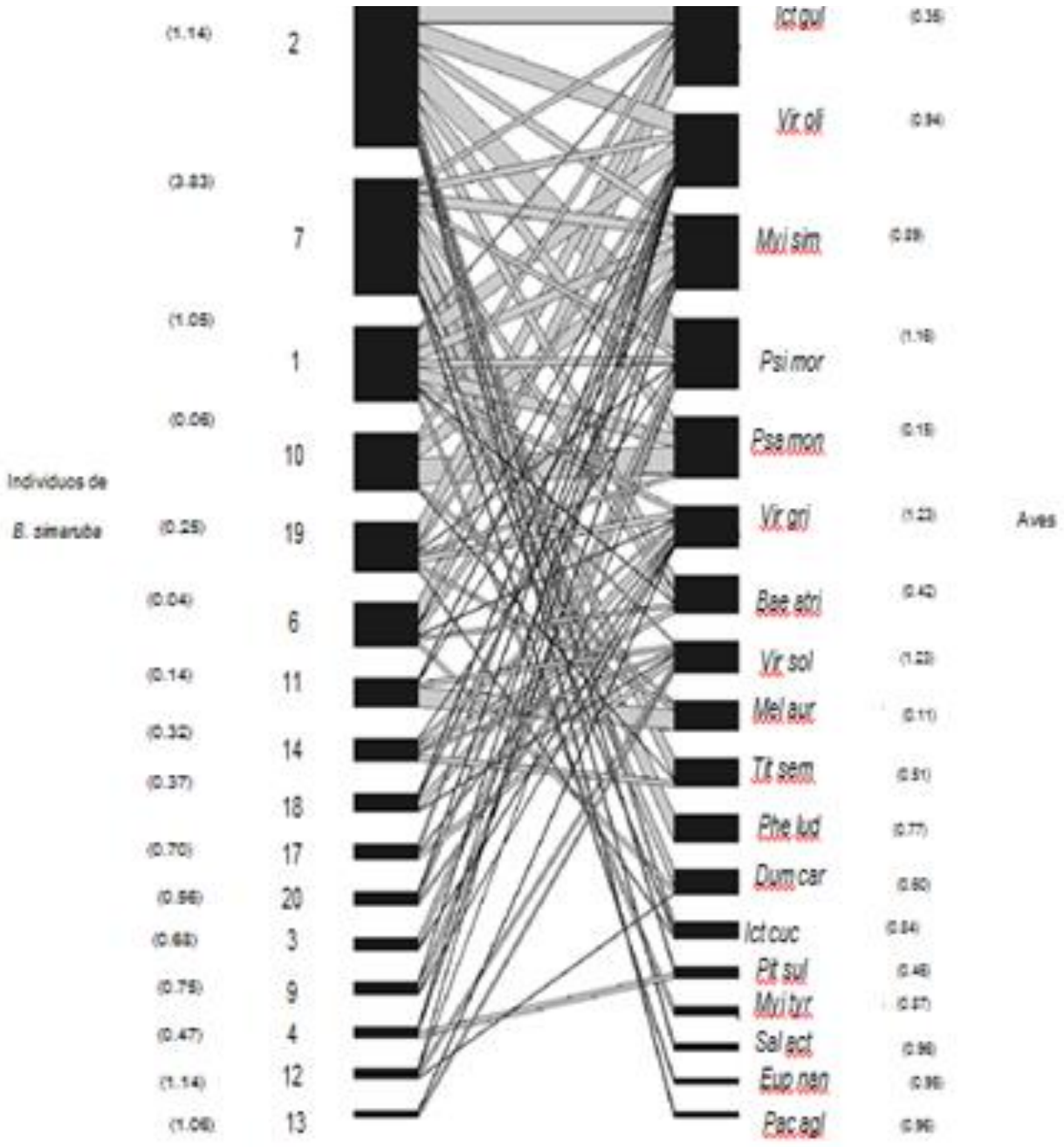

Figura 4. Red de interacción ave-*Bursera simaruba* en cerco vivo. Entre paréntesis se presenta el valor de dependencia para cada participante en la red. Acrónimos iguales a figura 3.

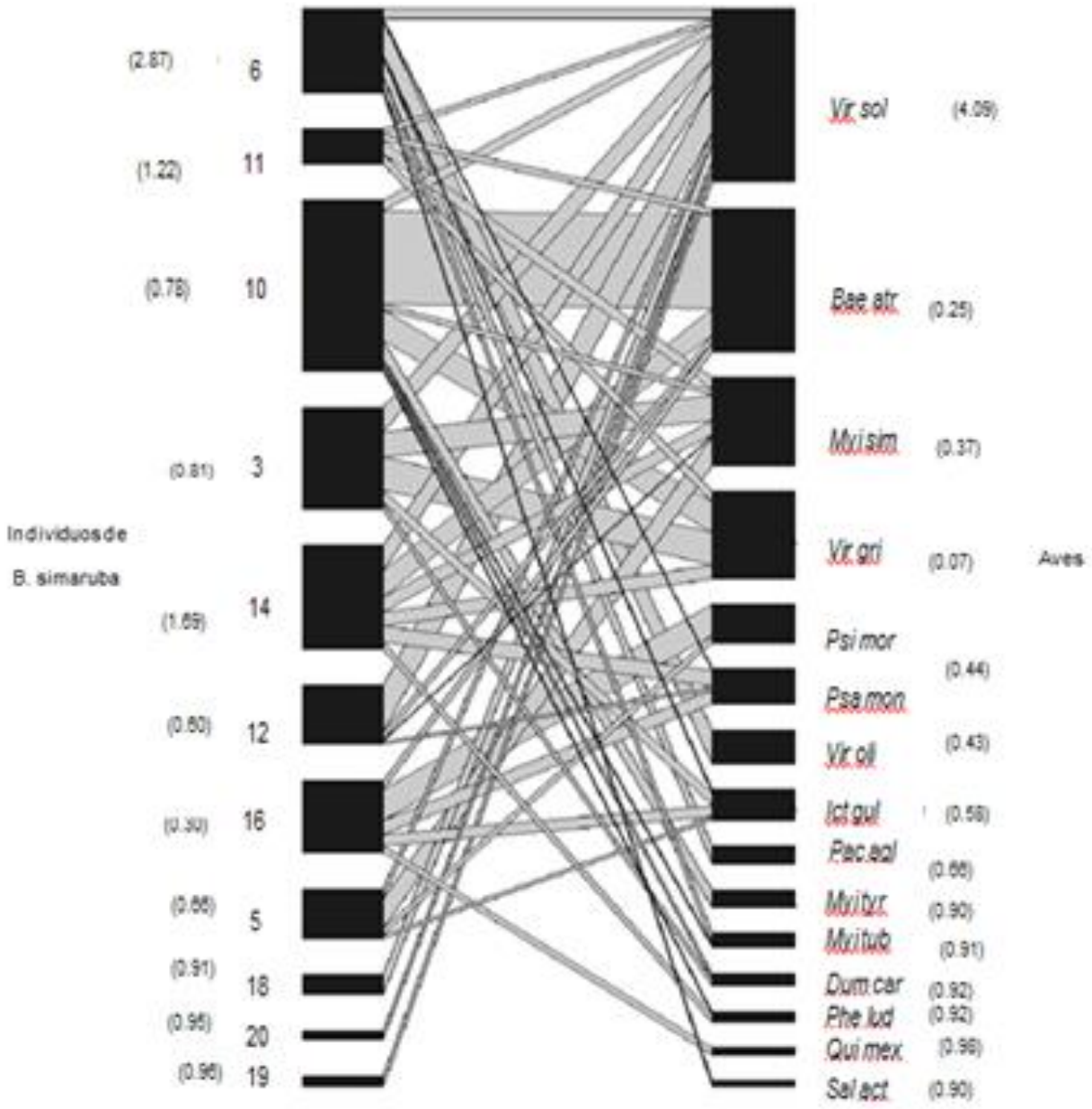

Figura 5. Red de interacción ave-*Bursera simaruba* en árboles aislados. Todo lo demás igual que en Fig. 4.

VII.VI Robustez

Robustez en especies de aves

La robustez aleatoria en cerco vivo fue de 0.81, de abundancia 0.90 de grado 0.50 Para los árboles aislados la aleatoria fue de 0.75 de abundancia 0.96 y de grado 0.43 (Cuadro 3, Fig.6).

Cerco vivo

Árboles aislados

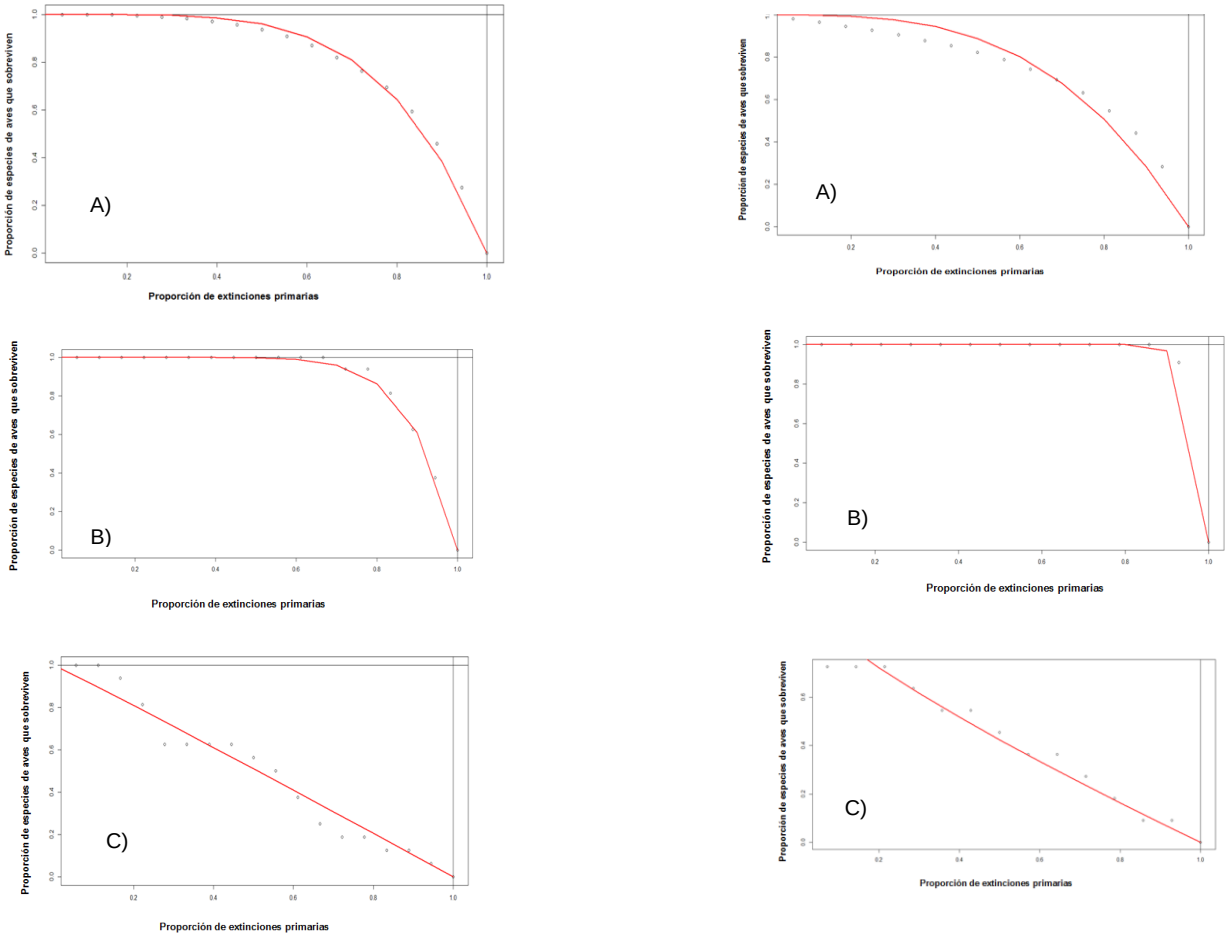

Figura 6. Esquemas que presentan la robustez en las redes ave-*Bursera simaruba* ante la extinción secuencial de especies de aves en Tuxpan, Veracruz, México. A la izquierda se presentan datos para la condición cerco vivo y a la derecha para árboles aislados. Se indican tres escenarios de extinción de especies: A) aleatoria, B) de grado y C) abundancia.

Robustez en individuos de *Bursera simaruba*

La robustez aleatoria en cerco vivo fue de 0.74, de grado 0.92 y abundancia 0.47. En árboles aislados la robustez aleatoria fue de 0.70, de grado 0.86 y abundancia 0.46 (Fig. 7)

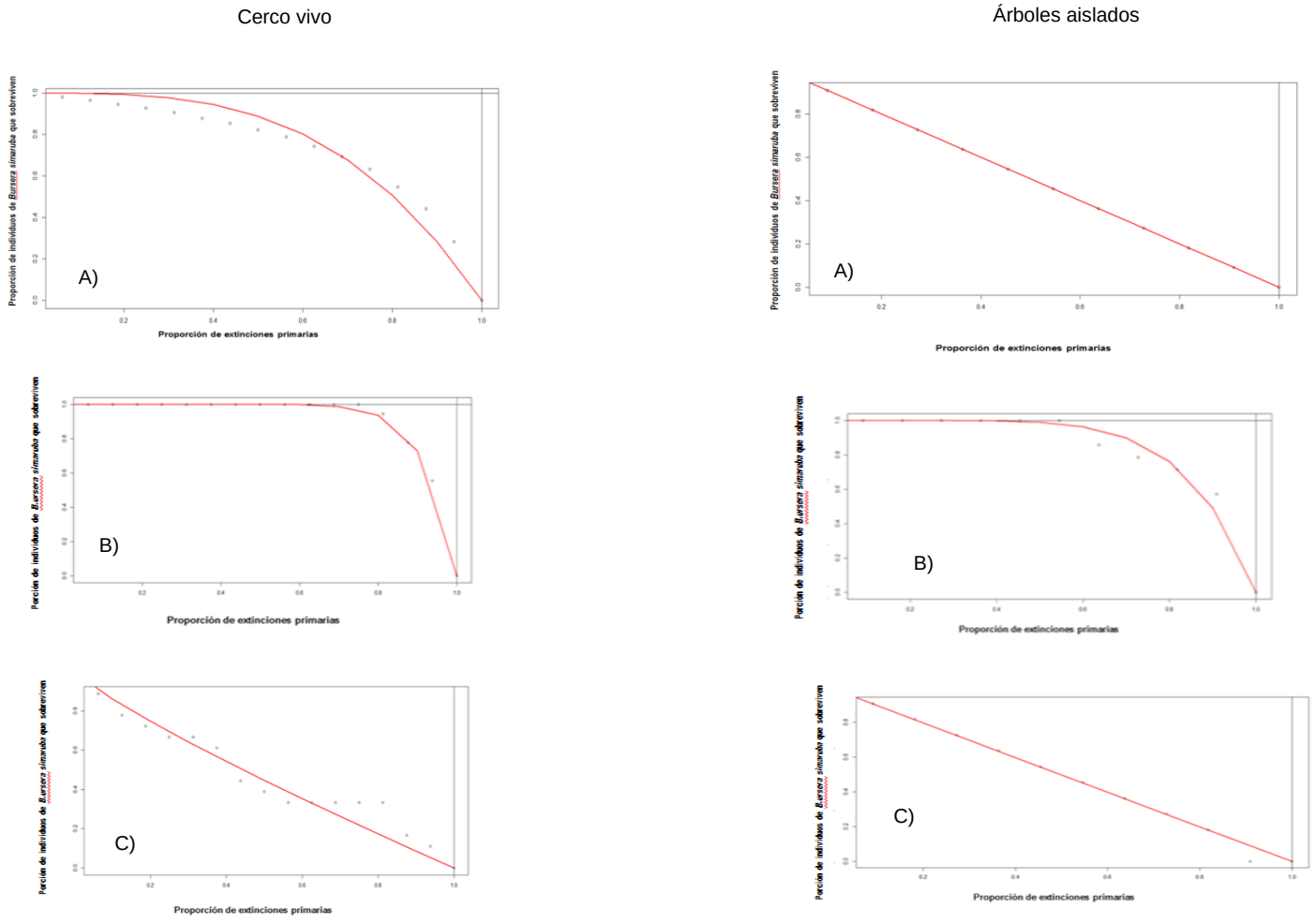

Figura 7. Esquemas que presentan la robustez en las redes ave-*Bursera simaruba* ante la extinción secuencial de individuos de *Bursera simaruba* en Tuxpan, Veracruz, México. A la izquierda se presentan datos para la condición cerco vivo y a la derecha para árboles aislados. Se indican tres escenarios de extinción de especies: A) aleatoria, B) de grado y C) abundancia.

VII.VII Especies núcleo y periferia

Las especies de aves núcleo en cercos vivos fueron seis (*Icterus gularis, Myiozetetes similis, Vireo olivaceus, Psilorhinus morio, Psarocolius montezuma y Baelophus atricristatus*; Cuadro 4) . Los individuos núcleo de *B. simaruba* fueron tres (Cuadro 4).

Cuadro 4. Especies núcleo-periféricas en aves e individuos de *Bursera simaruba* en cerco vivo.

Especies núcleo	Especies periféricas
Icterus gularis	*Vireo griseus*
Myiozetetes similis	*Vireo solitarius*
Vireo olivaceus	*Melanerpes aurifrons*
Psilorhinus morio	*Tityra semifasciata*
Psarocolius montezuma	*Pheucticus ludovicianus*
Baeolophus atricristatus	*Dumetella carolinensis*
	Icterus cucullatus
	Pitangus sulphuratus
	Myiarchus tyrannulus
	Saltator atriceps
	Eupsittula nana
	Pachyramphus aglaiae

Individuos núcleo	Individuos periféricos
A1	A3
A2	A4
A6	A7
	A9
	A10
	A11
	A12
	A13
	A14
	A17
	A18
	A19
	A20

Para árboles aislados las especies de aves núcleo fueron tres (*Vireo solitarius, Myiozetetes similis* y *Vireo griseus*; Cuadro 5); los árboles núcleo fueron cuatro (Cuadro 5).

Cuadro 5. Especies núcleo-periféricas en aves e individuos de *Bursera simaruba* en árboles aislados.

Especies núcleo	**Especies periféricas**
Vireo solitarius	*Baeolophus atricristatus*
Myiozetetes similis	*Psilorhinus morio*
Vireo griseus	*Psarocolius montezuma*
	Icterus gularis
	Pachyramphus aglaiae
	Myiarchus tyrannulus
	Myiarchus tuberculifer
	Dumetella carolinensis
	Pheucticus ludovicianus
	Quiscalus mexicanus
	Saltator atriceps

Individuos núcleo	**Individuos periféricos**
A6	A5
A10	A12
A11	A14
A13	A16
	A18
	A19
	A20

VII.VII Regresión lineal de modelos generalizados

Tanto en cerco vivo como en árboles aislados las variables DAP, altura y número de frutos explican significativamente el número de frutos consumidos (Cuadro 6). Ninguna otra variable explico estadísticamente esta u otras variables dependientes (i.e. fuerza, interacción, consumo, dependencia).

Cuadro 6. Valores de P para el número de frutos consumidos en ambos sitios (cercos vivos y árboles aislados).

	F pr
DAP	0.002
+ ALTURA	0.029
+ FRUTOS	0.014
+ DAP.	0.057
+ ALTURA.	0.912
+ DAP.ALTURA	0.48
+ FRUTOS.	0.884
+ DAP.FRUTOS	0.362
+ ALTURA.FRUTOS	0.641
+ DAP.ALTURA.	0.417
+ DAP.FRUTOS.	0.808
+ ALTURA.FRUTOS.	0.847
+ DAP.ALTURA.FRUTOS	<.001

VIII. DISCUSIÓN

En este trabajo es claro que no existen diferencias entre las características intrínsecas del árbol y estructurales (redes) pero si existen diferencias menores en cuanto a las características extinticas (paisaje). A continuación se discutirá cada caso.

VIII.I Características intrínsecas

Los árboles de *Bursera simaruba* alcanzan hasta los 30 m de altura y diámetros a la altura del pecho de hasta 1m (Gutierrez y Rickter, 2012). En otro trabajo la altura máxima reportada de estos árboles ha sido de 25 m y su diámetro de 0.10-1 m (Estrada, 2013), Rojas (2006), reporto una altura de 20 m para estos árboles, en el presente trabajo los árboles de *Bursera simaruba* alcanzaron alturas de 13 m en cerco vivo y 12 m en árboles aislados, en cuanto al diámetro a la altura del pecho para ambos sitios fue de 0.57.

Los árboles de *B. simaruba* de buen tamaño llegan a producir hasta 60,000 semillas (Francis *et al*. 2000), los árboles de *B. simaruba* produjeron un promedio de 37,892 frutos en cerco vivo y 15,271 frutos en árboles aislados.

VIII.II Características extrínsecas

Dentro de los sitios de árboles aislados y cercos vivos existe diferentes tipos de vegetación, como lo son pequeños remanentes de vegetación, tular, manglar y pastizal, solo se encontraron diferencias en el tular en cerco vivo y árboles aislados debido a las distancias y el área que ocupan dentro de cada sitio.

La vegetación existente en ambos sitios influye en la presencia de aves frugívoras, Serrano *et al*., (2013) declaran que los sitios ramsar (manglar y tular), son hábitas importantes para la presencia de aves, y los sistemas ganaderos con pequeños remanentes, árboles aislados y cercos vivos están desempeñando un papel importante promoviendo la existencia y conservación de aves, los cuales ofrecen oportunidades para la implementación de corredores biológicos (García *et al*., 2007; Alonso *et al*., 2004 ; Cárdenas *et al*., 2003).

VIII.III Características estructurales

Se determinaron un total 20 especies de aves interactuando con los árboles de *Bursera simaruba* en ambos sitios (Cerco vivo y árboles aislados) dentro de las especies que interactuaron (consumieron semillas) se encuentran *Vireo olivaceus, Vireo griseus, Dumetella carolinensis, Myiozetetes similis,* entre otros.

Actualmente existen registros de aves que consumen de este árbol, en Costa Rica se tiene registro de 33 especies que consumen frutos de *B. simaruba* entre ellas destacan *Melanerpes aurifrons, Myiozetetes similis, Dumetella carolinensis, Vireo olivaceus*, etc. Para México se tienen registradas 39 especies de aves, en otros estudios se ha determinado que *B. simaruba* es una especie importante para las aves migratorias como *Vireo olivaceus* y para las residentes como *Myiozetetes similis* (Scoot y Martin, 1984; Vázquez-Yanes *et al*., 1999; Foster, 2007) sin embargo, estas especies consumen los frutos de esta especie cuanto se encuentran totalmente maduros excepto *Vireo griseus* que consume los frutos cuando estos no están completamente maduros (Greenberg,1995).

Número de interacciones

Se registró mayor interacción ave-individuo de *Bursera simaruba* en cerco vivo (80 interacciones) y en árboles aislados las interacciones (43 interacciones) fueron menores, a pesar de ser sitios que presentan alteraciones en sus usos de suelo, cuentan con pequeños parches de vegetación lo cual hace posible que las interacciones llevadas a cabo sean altas respecto a las aves que consumen los frutos de la especie de *Bursera simaruba*, algunos trabajos han registrado más interacciones debido a que se han realizado en sitios que se encuentran conservados estos han tenido 92, 50 y 2183 interacciones de aves con diversas especies de plantas, (Ferreira *et al.,* 2004; Scherer *et al*., 2007; Blüthgen *et al*., 2006).

Tamaño de la red

El tamaño de la red se refiere al número de especies de aves e individuos de *Bursera simaruba* que interactuaron, el tamaño de red para ambos sitios fue pequeño (ver cuadro 3) debido a que solo se evaluó una especie de árbol en sitios perturbados, Palacio (2016), reporto un tamaño de red de 135 especies de plantas y aves en un sitio conservado.

Conectancia

La conectancia tanto de cerco vivo y árboles aislados fue la misma, a pesar de ser sitios de diferente composición, los valores de conectancia para redes que presentan diferentes especies de plantas han presentado valores de 0.15 y 0.13

en dos sitios diferentes (Blüthgen, 2006), otros estudios realizados en tres diferentes sitios han obtenido valores de 0,47, 0.44 y 0.77 (García, 2016).

Anidamiento y modularidad

Las redes tanto en cerco vivo como en árboles aislados son anidadas es decir que las especies generalistas interaccionan entre ellas y las especies especialistas interaccionan con las generalistas. Piazzon *et al.,* (2011); Bascompte *et al.,* (2003) señalan que las redes mutualistas son más anidadas y altamente jerarquizadas es decir las especies especialistas interactúan con subconjuntos propios de aquellas especies que interactúan con las generalistas.

En cuanto la moduralidad las redes de ambos sitios no presentan esta estructura, la cual se determina cuando hay la existencia de grupos bien definidos de especies con muchas relaciones intragrupales y pocas intergrupales (Dicks *et al* 2002; Olsen *et al.,* 2007), lo cual indica que las redes de ambos sitios no son modulares presentan valores muy bajos debido a que solo evaluamos una especie de árbol.

Hay trabajos en los que se estudian las comunidades de aves y plantas en los cuales se obtienen valores altos de Modularidad y anidamientos Palacio, (2016) obtuvo una red mutualística en la cual los valores de anidamiento fueron de 41.22 (P= 0.01) y de modularidad 0.28 (P= 0.001), Silva, (2015) obtuvo una red anidada 0.30 P=0.01, la cual no fue modular 0.30 (P=0.16)

Especialización

La especialización de la red para ambos sitios fue baja, esto a pesar de ser una red anidada y tener especies de aves en su mayoría generalistas, Guranaes (2006) indica que los factores ecológicos contribuyen a la asimetría anidada en la especialización debido a que algunos muestran más asimetría incluso cuando la riqueza de especies se mantienen sin embargo, Bascompte *et al.,* (2003) y Waser, (1993) encontraron que las redes usualmente exhiben un tipo específico de especialización asimétrica llamado anidamiento, esto influye a que las redes sean más especializadas es decir que a menudo las especies que interactúan suelen ser generalistas. En otros sitios se han encontrado valores de especialización de 0.36, 0.15, 0.19, 0.24, 0.63 (Blüthgen, 2006; Garcia, 2016), lo cual indica que algunas redes suelen ser poco especializadas a pesar de tener diversas interacciones con diferentes especies de plantas.

Dependencia y asimetría planta-animal

El promedio de las dependencia de aves e individuos de *B. simaruaba* en cerco vivo fueron similares, en árboles aislados el promedio de las dependencias tanto para las aves como para los individuos de *B. simaruba* fueron iguales. A partir de las dependencias se obtienen los valores de asimetría tanto de las aves como la de los individuos de *B. simaruba*, en ambos sitios se presentaron asimetrías altas tanto en aves como en los individuos de *B. simaruba*, lo que indica que las redes anidadas presentan asimetrías altas. Bascompte *et al.,* (2003) indican que los patrones de anidamiento generan interacciones altamente asimétricas y las redes

de dispersión de semillas que involucran aves frugívoras ilustran asimetrías fuertes (Jordano,1987).

Robustez

La robustez de aves para ambos sitios fue fuerte cuando las especies fueron seleccionadas al azar y por grado es decir las especies menos conectadas, la red se comportó de una manera robusta, las especies se mantuvieron constantes durante los dos tipos de robustez mencionados, pero cuando la red fue atacada de manera abundante es decir se quitaron las especies con mayor conectancia la red colapsó, esto sucede cuando algún ave de suma importancia decae puede afectar fuertemente las interacciones y pueden llegar a extinguirse. También se presentan curvas para los individuos de *Bursera simaruba*, en este caso sucede lo mismo durante los ataques de manera aleatoria y de grado la red se comporta de manera robusta las especies se mantienen constantes y cuando estas son atacadas de manera abundante es decir se quitan las especies con mayor número de interacciones esta decae y, a la larga, las poblaciones de *B. simaruaba* pueden llegar extinguirse esto es en cuanto al sitio de muestreo y los árboles que fueron seleccionados. Esto quiere decir que las redes experimentan mayores extinciones cuando se retiran las especies más conectadas en comparación con las extraídas al azar; en cuanto a la pérdida del hábitat se ve afectada por la estructura de la red, las comunidades comienzan a decaer pero persisten durante los niveles más altos de destrucción (Dunne *et al*., 2002; Fortuna y Jordano, 2006). En cuanto a la robustez de especies Palacio, (2014) obtuvo que para su red mutualista el índice de robustez para especies animales fue de 0.87 y para las especies de plantas fue

de 0.86, lo cual perjudicaría solo a los individuos que se muestrearon en los sitios reportados.

Especies núcleo y periféricas

En árboles aislados fueron 6 especies de aves y 3 individuos de *Bursera simaruba* que se encuentran en el núcleo de la red (ver cuadro 4), en árboles aislados fueron tres especies de aves y cuatro individuos de *B.simaruba* que se encuentran en el núcleo de la red, lo cual indica que estas especies son las más importantes para la red pues son las que la sostienen ante posibles ataques, y sigue el principio de que las redes anidadas permiten la posibilidad de que un núcleo formado por especialistas dirija la evolución de la comunidad (Diaz-Castelazo *et al.*, 2010)

Relación entre las variables y la estructura de la red

La comparación con las variables (intrínsecas, extrínsecas) y la estructura de la red se pudo determinar que para las interacciones desarrolladas por aves y *B. simaruba* es importante las características del árbol (altura, DAP y número de frutos) que produce. Jordano (1992) concuerda con que la función de un frugívoro también depende de las características del fruto de la planta objeto de la interacción.

Las redes mutualistas son de gran utilidad para entender a las comunidades, en este caso nos ayudan a comprender como se pueden integrar las características de los árboles, del paisaje y de las mismas redes. Las características de los árboles y el paisaje hacen que exista presencia de aves frugívoras en estos

paisajes, y las redes ayudan a comprender el estado en el cual se encuentran estos sitios que en esta caso con la ayuda de la evaluación de esta especie de árbol se puede concluir que *Bursera simaruba* es un excelente árbol para ser plantado en pastizales ganaderos ya que atraen a las aves residentes y migratorias para el consumo de sus frutos.

En este trabajo es claro que no existen diferencias entre las características intrínsecas del árbol y estructurales (redes) pero si existen diferencias menores en cuantos a las características extrinticas (paisaje). A continuación se discutirá cada caso.

IX. CONCLUSIONES

Se determinaron un total de 20 especies de aves consumiendo frutos de *B. simaruba.*

Se determinaron un total de 602 visitas en cerco vivo y 400 en árboles aislados.

Las redes en ambos sitios son anidadas pero no modulares, en cuanto al índice de robustez de forma aleatoria y de grado se tiene que para los individuos de *B. simaruba* y las aves la red se mantiene robusta, pero cuando se obtiene el índice de robustez mediante la abundancia la red colapsa rápidamente en ambos tanto en cerco vivo como en árboles aislados.

En cuanto a las especies núcleo se tiene que la especies de aves importantes para la red de cerco vivo son *Icterus gularis* y *Myiozetetes similis* y en cuanto a los árboles son el 1, 2 y 6. En árboles aislados las especies núcleo más importantes son *Vireo solitarius* y *Myiozetetes similis*, en cuanto a los árboles el 6,10 y 11.

Es *Bursera simaruba* sus interacciones con aves no depende si está aislado o en cerco vivo o de las caracteristicas del paisaje si no de su DAP, altura y frutos.

X. APLICACIÓN PRÁCTICA

En cuanto al árbol de *Bursera simaruba* puede ser propuesto para los proyectos de restauración ya que es una especie primaria y su fruto es atractivo para las aves.

Les sirve de alimento a las aves migratorias pues el árbol tiene una época de fructificación extensa.

B. simaruba es una especie muy importante ecológicamente ya que nos ayuda a evitar la erosión del suelo, es utilizada como barreras contra incendios y en algunos pueblos de México es utilizada como madera para realizar artesanías.

Este trabajo puede ser propuesto como una metodología para evaluar los lugares perturbados y en proceso de restauración mediante las interacciones ecológicas.

Las redes mutualistas nos ayudan a tomar acciones sobre los ecosistemas que se encuentran con algún grado de perturbación y en su caso también para proteger especies bajo algún estatus ya que nos explican que pasaría con ambos en caso de no tomar medidas estrictas sobre su estado.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Alonso J., O. Torres, T.E. Ruiz, G. Febles, G. Cárdenas y G. Achon. 2004. Estudio de la avifauna asociada a un sistema silvopastoril, Leucaena-Guinea con diferentes edades de establecimiento. Revista cubana de ciencias agrícolas **38(2)**:03-2010.

Angulo A. A. R. 2011. “Dispersión de semillas” por aves frugívoras: una revisión de estudios de la región neotropical. Tesis de licenciatura. Pontifica Universidad Javeriana, Bogota. Bogota DC. Pp. 95.

Amico, C. A. y M. A. Aizen. 2005. Dispersión de semillas por aves en un bosque templado Sudamérica austral: ¿Quién dispersa a quién? Ecología Austral **15**:89-100.

Almeida-Neto, M., P. Guimarães, P.R. Guimarães, R.D. Loyola y W. Ulrich. 2008. Aconsistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. Oikos**117 (8)**: 1227-1239.

Atmar W. y B. D. Patterson. 1993. The measure of order and disorder in the distribution of species in fragmented habitat. Oecologia **96**: 373–382.

Badii, M. H., H. Rodríguez, E. Cerna, J. Valenzuela, J. Landeros y Y. Ochoa. 2013. Coevolución y mutualismo: nociones conceptuales. Daena: International Jurnal of Good Conscience **8(1)**:23-31

Bascompte, J. y P. Jordano. 2007. Plant-animal mutualistic networks:the architecture of diversity. Ecol. Evol. Syst. **38**:567-563.

Bascompte, J. y P. Jordano. 2008. Redes mutualistas de especies. Investigación y Ciencia **384**:50-59.

Bascompte, J., P. Jordano y J. M. Olesen. 2006. Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance. Science **312**: 431-433.

Bascompte, J. P. Jordano, C. J. Melián y J. M. Olesen. 2003. The nested assembly of plant animal mutualistic networks. Proc. Natl. Acad. Sci. USA **100**: 9383–9387.

Barber, M. J. 2007. Modularity and community detection in bipartite networks. Physical Review E. **76(6)**: 066-102.

Basáñez A. J. M., G. Olmedo P. y P. Rojas M. 2006. Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz. México. Revista UDO Agricola **6(1)**:114-120.

Borgatti, S. P., M. G. Everett, and L. C. Freeman. 2002. UCINET 6 for Windows: software for social networkanalysis. Analytic Technologies, Harvard, Massachusetts, USA.

Blüthgen, N., F. Menzel y N. Blüthgen. 2006. Measuring specialization in species interaction networks. Ecology **6(9)**: 1-12.

Cárdenas G., C.A. Harvey, M. Ibrahim y B. Finegan. 2003. diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. Agroforestería de las americas **1(39-40)**:78-85.

Chavez, L. 2003. El Indio Desnudo (*Bursera simaruba*) como fuente de alimento para las aves. Boletín de la asociación ornitológica de Costa Rica **7(1)**: 5,32-35.

Ceballos, H.L. 2000. Aves comunes de México: una guía para identificar las aves comunes de México. Ed. Diana. México. 102p.

Cipriano, A. J. 2014. Uso del hábitat por aves en un paisaje costero fragmentado en Tampamachoco, Tuxpan, Ver. Tesis de maestría. Facultad de ciencias biológicas y agropecuarias, campus Tuxpan. Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

Díaz-Caztelazo C., P.R. Guimaraes Jr., P. Jordano, J.N.Thompson, R.J. Marquis y V. Rico Gray. 2010. Changes of mutualistic network over time: reanalysis over a 10-year period. Ecology 91(3): 793-801.

Dormann, C.F., B. Gruber, J. Fründ. 2008. Introducing the bipartite package: Analyzing ecological networks. R News **8**: 8–11.

Dunne J.A., R.J. William y N.D. Martinez. 2002. Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. Ecol. Lett. 5: 558–567.

Estrada, C.F. 2013. *Bursera simaruba*, el árbol sagrado. Bioma 7:7-12.

Fortuna, M. A., D. B. Stouffer, J. M. Olesen, P. Jordano, D. Mouillot, B. R. Krasnov, R. Poulin y J. Bascompte. 2010. Nestedness versus modularity in ecological networks: two sides of the same coin? Journal of Animal Ecology **79**: 811-817.

Fortuna M.A y J. Bascompte. 2006. Habitat loss and the structure of plant-animal mutualistic networks. Ecol. Lett. 9: 281–286.

Foster M. S. 2007. The potential of fruit trees to enhance converted habitats for migrating birds in southern Mexico. Bird conservation international **17**:45-61.

Garcia D. 2016. Birds in ecological networks: insights from bird-plant mutualistic interactions. Ardeola **63(1):**6-34

García D., R. Zamora y G. C. Amico. 2010. Birds as suppliers of seed dispersal in temperate ecosystems: conservation guidelines from Real-World Landscapes. Conservation Biology **24(4)**:1070-1079.

Graham, C. 2002. Use of fruting trees by birds in continuous forest and riparian forest remnants in los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. Biotropica **34(4)**: 589-597.

Greenberg, R., M. S. Foster y L. Márquez-Valdemar. 1995. The role of the white-eyed vireo in the dispersal of *Bursera* fruit on the Yucatan Peninsula. Journal of tropical ecology **11**:619-639.

Guimarães, P. R. y Jr, P. Guimarães. 2006. Improving the analyses of nestedness for large sets of matrices. Environmental Modelling and Software **21**: 1512-1513.

Guimarães, P. R., V. Rico-Gay, P. S. Olvera, T. J. Izzo, S. F. Dos Reis y J. N. Thompson. 2007. Interaction intimacy affects structure and coevolutionary dynamics in mutualistic networks. Current Biology **17(20)**:1792-1803.

Gutierrez, G. y M. Ricker. 2012. Ecología forestal de algunas especies arbóreas de interes para la reforestación y restauración del parque ecológico Tuzadeptl. Partida n° 13 programa de reforestación y restauración. 18-23 pp.

Harvey, C. A., C. Villanueva, J. Villacis, M. Chacón, D. Muñoz, M. López, M. Ibrahim, R. Gomez, R. Taylor, J. Martínez, A. Navas, J. Sáenz, D. Sánchez, A. Medina, S. Vilchez, B. Hernández, A. Pérez, F. Ruiz, F. López, I. Lang, F. Kunth y F. L. Sinclair. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. Agroforestería en las Américas **10(39-40)**: 30-39

Hernández-Ladrón de Guevara I., O. R. Rojas-Soto, F. López-Barrera, F. Puebla-Olivares y C. Díaz-Castelazo. 2012. Dispersión de semillas por aves en un paisaje de bosque mesófilo en el centro de Veracruz, México: su papel en la restauración pasiva. Revista Chilena de Historia Natural **85**:89-100.

Hernández, S. M. 2010. Avifauna del sitio RAMSAR No. 1602 “Manglares y humedales de Tuxpan” y ambientas adyacentes. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de ciencias biológicas y agropecuarias, campus Tuxpan. Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

INEGI. 2009. Tuxpan, Veracruz de Ignacio de llave. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. México 8p.

Jordano P. 1987. Patterns of Mutualistic Interactions in Pollination and Seed Dispersal: Connectance, Dependence Asymmetries, and Coevolution. Am. Nat. 129(5): 657–677.

Jordano P. 2000. Fruits and frugivory. In Fenney, M. (ed). Seeds: the ecology of regeneration inplant communities, 2 nd edition CABI publ. Wall ingford, UK. 125-166 pp.

Jordano P., J. Bascompte y J. M. Olesen. 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant-animal interactions. Ecology Letters **6**: 69-81.

Jordano, P., D. Vázquez y J. Bascompte. 2009. Redes complejas de interacciones mutualistas. Pp. 17-41. En: ecologia y evolucion de interacciones planta-animal. Mendel, R., M. A. Aizen y R. Zamora (ed). Ed. Universitaria, Santiago de Chile.

Jordano P., D. Vázquez y J. Bascompte. 2009. Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal. En: R. Medel, M. Aizen y R. Zamora. (eds.). Ecología y evolución de interacciones planta animal. Primera edición. Editorial Universitaria, S.A. Santiago de Chile. 17-41 p.

Marquitti, F.M.D., P. R. Guimarães Jr, M. M. Pires, y L. F. Bittencourt 2013. MODULAR: Software for the Autonomous Computation of Modularity in Large Network Sets. Ecography **37**: 221-224.

Medrano Hernández R. 2011. Sub-red de interacciones insecto-planta ornitofílica en un bosque de oyamel en el Parque Nacional El Chico Hidalgo, México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca.

Mello M.A.R., F. M. D. Marquitti, P. R. Guimarães Jr., E. K. V. Kalko, P. Jordano, y M. A. M Aguiar. 2011. The modularity of seed dispersal: differences in structure and robustness between bat and bird-fruit networks. Oecologia**167**:131-140.

Montoya, J. M., R. V. Solé y M. A. Rodríguez. 2001. La arquitectura de la naturaleza: complejidad y fragilidad en redes ecológicas. Ecosistemas **(2)**: 1-14.

Moreno, V. S. J. 2010. Aves dispersoras de semillas en un remanente de bosque seco tropical en la finca Betanci-Gucamayas (Córdoba). Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias. Bogotá.

Ortiz-Pulido, R. 2009. Redes mutualistas y conservación (La arquitectura de la biodiversidad). En Cátedra Nacional de Biología (2008) "Juan Luis Cifuentes Lemus". Cuerpo académico de Ecología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Consorcio de Universidades Mexicanas. Pachuca, Hidalgo, México. pp. 37-45.

Olesen J.M., J. Bascompte, H. Elberling y P. Jordano. 2008.Temporal dynamics in a pollination network. Ecology 89(6): 1573–1583.

Ortiz-Pulido, R., J. Laborde y S. Guevara. 2000. Frugívora por aves en un paisaje fragmentado: consecuencias en la dispersión de semillas. Biotropica **32**: 473-488.

Palacio R. D. P. 2014. Estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y aves frugívoras en el bosque nublado de San Antonio- km 18, Valle del Cauca. Tesis de posgrado. Universidad ICESI. Santiago de Cali. 41p.

Paterson, R. T. y E. L. Chalif. 2008. Aves de México guía de campo. Ed. Diana, S.A de C.V. México, DF. 473 pp.

R CoreTeam. 2013. R: A language and Environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria http://www.R-project.org.

Rojas R. F. y G. Torres. 2011. Árboles del valle central de Costa Rica: reproduccion indio desnudo. Revista Forestal Mesoamericana **8(20)**:39-42.

Rzedowski J. y H. Kruse. 1979. Algunas tendencias evolutivas en *Bursera* (*Burseraceae*). Taxón **28**:103-116.

Rzedowski J., R. Medina-Lemos y G. Calderón-de Rzedowski. 2005. Inventario del conocimiento taxonómico así como de la diversidad y el endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). Acta Botánica Mexicana **70**:85-111.

Sánchez, D., S. J. Vilchez y F. DeClereck. 2011. Complementariedad de la vegetación como provisión de recursos para la comunidad de aves en el agropaisaje de Copán de Ruinas, Honduras. Agroforetería en las Américas **(48)**: 130-136.

Sawardecker, E.N., C. A. Amundsen, M. Sales-Pardo, y L. A. N. Amaral. 2009. Comparison of methods for the detection of node group membership in bipartite networks. Eur. Phys. J. B. **72**: 671-677.

Scherer. A., F. Maraschin-Silva y L. Rios de Moura Baptista. 2007. Padrões de interações mutualísticas entre espécies arbóreas e aves frugívoras em uma

comunidade de Restinga no Parque Estadual de Itapuã, RS, Brasil. Acta Bot. Bras. **21(1)**:203-212.

Scoot, P. E. y R. F. Martin. 1984. Avian consumers of *Bursera*, *Ficus* y *Ehretia* fruit in Yucatan. Biotropica **16 (4)**: 319-323

Serrano A., Vázquez-Castán L., Ramos-Ramos, M., Basáñez-Muñoz, A. J. y Naval-Ávila C. 2013. Diversidad y abundancia de aves en un humedal del norte de Veracruz, México. Acta Zoologica **29(3)**: 473-485.

Silva O.D., A.G. Franchin y O. Marcal J. 2015. Rede de interações ave-planta: um estudo sobre frugivoria em áreas urbanas do Brasil. Biotemas **28(4):**203-12.

Thébault, E. 2013. Identifying compartments in presence-absence matrices and bipartite networks: insights into modularity measures. J. Biogeogr. **40(4)**: 759–768.

Trainer J.M. y T. C. Will. 1984. Avian methods of feeding on *Bursera simaruba* (*Burseraceae*) fruits in Panama. Short communication **101**:193-195.

Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz y C. Sánchez Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO-Instituto de Ecología, UNAM.

Waser N. M., L. Chittka, M. V. Price, N. M. Williamy y J. Ollerton. 1996. Generalization in pollination systems and why it matters. Ecology **77**:1043-1060.

XII. ANEXO

XII.I Imágenes de las aves avistadas en cerco vivo y árboles aislados

Baeolophus atricristatus

Eupsittula nana

Myiarchus tuberculifer

Pheucticus ludovicianus

Saltator atriceps

Vireo griseus

Vireo olivaceus

Icterus cucullatus

Psarocolius montezuma

Quiscalus mexicanus

Dumetella carolinensis

Myiozetetes similis

Pachyramphus aglaiae

Vireo solitarius

Pitangus sulphuratus

Icterus gularis

Myiarchus tyrannulus

Psilorhinus morio

Melanerpes aurifrons

Tityra semifasciata