



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Red de interacción planta-colibrí en la Cantera Oriente, zona de amortiguamiento de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), Ciudad de México.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

BIÓLOGA

P R E S E N T A

REBECA ANDRADE ROSAS

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA



Los Reyes Iztacala, Estado de México, 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A Rosa, Cristina, Olga, Tere, Alejandra, Claudia y Cecilia por ser mis mujeres favoritas.



A Eder, mi mejor amigo.

A las niñas, por todos los buenos momentos que hemos pasado.

A Claudia, por compartirme su amor hacia los colibríes.

A Llará, por tener un colibrí en su interior.

ÍNDICE

1. RESUMEN	9
2. INTRODUCCIÓN	10
2.1 Interacciones bióticas	10
2.2 Colibríes	10
2.3 Interacción planta – colibrí	11
2.4 Redes de interacción	12
2.5 Antecedentes de redes de interacción planta – colibrí	15
2.6 Estudios previos sobre interacción planta – colibrí en la REPSA	17
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. OBJETIVOS	19
4.1 Objetivo general	19
4.2 Objetivos particulares	19
5. MÉTODOS	20
5.1 Sitio de estudio	20
5.2 Trabajo de campo	23
5.3 Trabajo de laboratorio	24
5.4 Análisis de redes	25
6. RESULTADOS	28
6.1 Red de observaciones directas	28
6.2 Comparación de redes de observaciones directas	31
6.3 Red de cargas de polen	33
6.4 Red combinada (observaciones directas y cargas de polen)	36
7. DISCUSIÓN	39
8. CONCLUSIONES	44
9. PERSPECTIVAS	45
10. LITERATURA CITADA	46
11. ANEXO 1. Patrón de floración	50
12. ANEXO 2. Catálogo de polen	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz cualitativa de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA), $\alpha_{ij}=1$ presencia de interacción y $\alpha_{ij}=0$ ausencia de interacción.....	28
Tabla 2. Matriz cualitativa de observaciones directas de plantas y colibríes en la REPSA datos de Morales y colaboradores (1990), $\alpha_{ij}=1$ presencia de interacción y $\alpha_{ij}=0$ ausencia de interacción.....	31
Tabla 3. Matriz cualitativa de cargas de polen de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA), $\alpha_{ij}=1$ presencia de interacción y $\alpha_{ij}=0$ ausencia de interacción.....	33
Tabla 4. Matriz cualitativa de observaciones directas y cargas de polen de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA), $\alpha_{ij}=1$ presencia de interacción y $\alpha_{ij}=0$ ausencia de interacción.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Interacción planta - colibrí. Tomado y modificado de Arizmendi & Berlanga 2014.....	11
Fig. 2. Red de interacción mutualista, los nodos representas a las especies A: plantas y B: polinizadores y los enlaces las interacciones entre las especies. Tomado y modificado de Ramírez 2013.....	13
Fig. 3. Patrón de anidamiento o <i>nestedness</i> en redes de interacción planta-animal. Tomado y modificado de Medel <i>et al.</i> 2009.....	14
Fig. 4. Polígonos: Cuenca de México (azul), Ciudad de México (verde), Pedregal de San Ángel (negro), Ciudad Universitaria (amarillo) y la REPSA (rojo). Tomado de http://www.repsa.unam.mx	20
Fig. 5. Polígono oficial de la REPSA: El color rojo indica las 3 zonas núcleo con 171 ha (protección estricta), el color azul indica las 13 zonas de amortiguamiento con 66 ha (uso restringido para la protección ambiental) y el color amarillo indica la Cantera Oriente con 7.48 ha. Tomado de http://www.repsa.unam.mx	21
Fig. 6. Cantera Oriente (REPSA). Fuente: Google Earth.....	22
Fig. 7. Especies de colibríes residentes en la Cantera Oriente A) <i>C. latirostris</i> y B) <i>A. beryllina</i> . En los mapas se indica su distribución en el país: morado (residente) anaranjado (en verano se reproduce) y verde (observaciones aisladas). Tomado y modificado de Arizmendi & Berlanga, 2014.....	23
Fig. 8. Distribución de los diez puntos de conteo (círculos rojos). Lugar donde se colocaron dos trampas de caída (estrella amarilla). Las 12 redes de niebla se colocaron dependiendo de la actividad de los colibríes. Tomado y modificado de Google Earth.....	24
Fig. 9. Red de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Del lado izquierdo se representa la comunidad de plantas (9 especies) y del lado derecho la comunidad de colibríes (2 especies). Los enlaces representan las 10 interacciones censadas de las 18 interacciones posibles.....	29

Fig. 10. Distribución de la frecuencia ($P(k)$) de la red de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Los datos originales (círculos) se ajustaron a tres distribuciones: ley de la potencia (pot) AIC = 7.727, ley de potencia trucada (pot. trun) AIC = 34.319 y exponencial (exp) AIC = 37.152.....29

Fig. 11. Índice de asimetría de la red de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA).....30

Fig. 12. A) Red de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente y B) Red de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la REPSA datos de Morales y colaboradores (1990).....32

Fig. 13. Red de cargas de polen de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Del lado izquierdo se representa la comunidad de plantas (12 especies) y del lado derecho la comunidad de colibríes (3 especies). Los enlaces representan las 22 interacciones censadas de las 36 interacciones posibles.....34

Fig. 14. Distribución de la frecuencia ($P(k)$) de la red de cargas de polen de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Los datos originales (círculos) se ajustaron a tres distribuciones: ley de la potencia (pot) AIC = 47.551, ley de potencia trucada (pot. trun) AIC = 61.656 y exponencial (exp) AIC = 64.284.....34

Fig. 15. Índice de asimetría de la red de cargas de polen de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA).....35

Fig. 16. Red combinada (observaciones directas y cargas de polen) de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Del lado izquierdo se representa la comunidad de plantas (15 especies) y del lado derecho la comunidad de colibríes (3 especies). Los enlaces representan las 26 interacciones censadas de las 45 interacciones posibles.37

Fig. 17. Distribución de la frecuencia $P(k)$ de la red combinada (cargas de polen y observaciones directas) de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Los datos originales (círculos) se ajustaron a tres distribuciones: ley de la potencia (pot) AIC =50.767, ley de potencia trucada (pot. trun) AIC =74.348 y exponencial (exp) AIC =76.191.....	37
Fig. 18. Índice de asimetría de la red combinada (cargas de polen y observaciones directas) de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA).....	38
Fig. 19. Vista polar del grano de polen de <i>Dahlia caccinea</i> a 100x, se observa la ornamentación equinada y uno de los poros.....	51
Fig. 20. Vista polar del grano de polen de <i>Jacaranda mimosifolia</i> a 100x, se observan los tres colpos.....	51
Fig. 21. Vista polar del grano de polen de <i>Ipomoea purpurea</i> a 40x, se observan poros y la ornamentación equinada.....	52
Fig. 22. Vista polar del grano de polen de <i>Echeveria gibbiflora</i> a 100x, se observan los tres colpos con margo.....	52
Fig. 23. Vista del grano de polen de <i>Erythrina coralloides</i> a 100x, se observa uno de los poros y la ornamentación rugulada.....	53
Fig. 24. Vista polar del grano de polen de <i>Wigandia urens</i> a 100x, se observan los tres colpos.....	53
Fig. 25. Vista polar del grano de polen de <i>Leonotis nepetifolia</i> a 100x, se observan los tres colpos y la exina perforada.....	54

Fig. 26. Vista polar del grano de polen de <i>Callistemon citrinus</i> a 100x.....	54
Fig. 27. Vista polar del grano de polen de <i>Bougainvillea glabra</i> a 100x, se observa la ornamentación semitectada-reticulada.....	55
Fig. 28. Vista polar del grano de polen de <i>Grevillea robusta</i> a 100x, se observa la ornamentación semitectada-reticulada.....	55
Fig. 29. Vista polar del grano de polen de <i>Bouvardia ternifolia</i> a 100x, se observa un colpo y en el fondo un poro, la ornamentación es semitectada-reticulada.....	56
Fig. 30. Vista del grano de polen de <i>Nicotiana glauca</i> a 100x, se observa uno de los colpos.....	56
Fig. 31. Vista ecuatorial del grano de polen de <i>Tropaeolum majus</i> a 100x, se observan los tres colpos y la ornamentación semitectada-reticulada.....	57

1. RESUMEN

Las interacciones entre plantas y polinizadores forman complejas redes de diversidad biológica donde el análisis de redes de interacción es una herramienta que permite entender éstas relaciones. El presente estudio analizó la red de interacción planta-colibrí en la Cantera Oriente, zona de amortiguamiento que pertenece a la REPSA y que en años anteriores se llevó a cabo un proceso de restauración que incluyó el establecimiento de especies de plantas exóticas. Las especies de colibríes fueron identificadas mediante observaciones directas, capturas con trampas de caída y redes de niebla, en tanto que las especies de plantas fueron identificadas mediante observaciones directas y cargas de polen, técnica que no se había utilizado en estudios anteriores en la misma zona. Se analizaron tres redes: a) red de observaciones directas, b) red de cargas de polen y c) red combinada (observaciones directas y cargas de polen). Para la comunidad de colibríes se registraron tres especies: los residentes *Amazilia beryllina* y *Cynanthus latirostris* y el primer registro en la Cantera del colibrí migratorio *Archilochus colubris*. En tanto que para la comunidad de plantas 15 especies, de las cuales quienes obtuvieron mayor frecuencia de visitas fueron *Callistemon citrinus* y *Salvia sp.* De acuerdo a lo planteado en el análisis de redes mutualistas, se esperaba que las redes fueran heterogéneas, anidadas y asimétricas con dependencias débiles. El presente análisis demostró que las tres redes de interacción fueron heterogéneas, a pesar de esto no están completas, ya que los datos se ajustaron a la ley de la potencia, esto debido a la baja riqueza y abundancia de las especies en la zona de estudio. De igual manera fueron asimétricas, donde las especies con valores cercanos a 1 de acuerdo al Índice de Asimetría fueron los colibríes *A. beryllina* y *C.s latirostris* y la especie de planta exótica *C. citrinus*. Sin embargo, algo que no es común en el análisis y que no se esperaba fue el anidamiento no significativo con respecto a los modelos nulos CE y ER en las tres redes, nuevamente debido a la baja riqueza y abundancia de especies y a la presencia de una especie super-generalista y abundante. Por otro lado, aparentemente se ha presentado un cambio en las especies residentes de colibríes en la reserva, ya que actualmente *A. beryllina* presentó una alta abundancia y territorialidad, en tanto que hace 25 años lo fue *C. latirostris*.

Palabras clave: Red de interacción, colibríes, Trochilidae, Cantera Oriente, cargas de polen.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Interacciones bióticas

Las interacciones bióticas son aquellas relaciones que se establecen entre al menos dos individuos de una o más especies (del Val & Boege 2012). Cuando dos individuos de diferentes especies se ven beneficiados por su presencia mutua, a esta interacción se conoce como mutualismo (Begon *et al.* 2006). Un ejemplo de esto es la polinización biótica, donde la interacción entre plantas y polinizadores involucra un servicio ecológico especialmente en ecosistemas tropicales, ya que se lleva a cabo la reproducción sexual de más del 90% de las especies de plantas con flores en todo el planeta y es parte fundamental en la producción agrícola que afecta directamente a las sociedades humanas (Lara *et al.* 2012). Los polinizadores (abejas, mariposas, palomillas, moscas, avispas, colibríes, murciélagos, etc.) visitan las flores para explorar una fuente de alimento, néctar rico en azúcares, polen rico en proteína y/o aceites ricos en grasas. Al mismo tiempo que se alimentan, el polen se adhiere y es transportado al estigma de otra flor compatible y receptiva, facilitando la reproducción sexual de la planta (Smith & Smith 2001).

2.2 Colibríes

Dentro del grupo de polinizadores, se encuentran los colibríes (Aves: Trochilidae), se distribuyen exclusivamente en el continente Americano, desde Alaska hasta la Patagonia, siendo el área de mayor diversidad a lo largo de la línea del Ecuador (Ornelas 1996). A la fecha se han descrito alrededor de 330 a 340 especies, principalmente en la región Neotropical y en México se reconocen 57 especies de colibríes de las cuales 24 son endémicas. La familia se divide en dos subfamilias: a) Phaethornithinae o ermitaños, que poseen picos largos y curvados, b) Trochilinae o "colibríes típicos" o "no ermitaños", que incluye a casi el 90% de las especies de la familia y presentan picos más cortos y rectos (Ornelas 1996, Arizmendi & Rodríguez 2012, Lara *et al.* 2012, Arizmendi & Berlanga 2014).

Durante la actividad de forrajeo los colibríes pueden ser altamente territoriales defendiendo grupos de flores en áreas bien definidas, o no territoriales, conocidos

comúnmente como ruteros, estos no defienden territorios de alimentación ya que visitan flores que encuentran durante rutas de forrajeo (Stiles 1978, Rodríguez 2009, Bribiesca 2012, Arizmendi & Berlanga 2014). Anteriormente se ha mencionado que los colibríes territoriales pertenecen a la subfamilia Trochilinae y los colibríes no territoriales a la subfamilia Phaethornithinae. Sin embargo, estudios recientes demuestran que los patrones de comportamiento en las especies, así como la edad y/o sexo influyen en la actividad de forrajeo y por lo tanto en la estructura de la comunidad en determinado sitio (Rodríguez 2009, Bribiesca 2012, del Val & Boege 2012).

2.3 Interacción planta – colibrí

La interacción entre plantas y colibríes presenta dos tipos de mutualismo: de transporte y de nutrición (Rodríguez 2009). Al visitar las flores el polen se adhiere al pico y plumas del colibrí, de modo que al visitar las siguientes flores el polen transportado tiene contacto con el estigma (Fig. 1). Para estimular más visitas, las flores recompensan al visitante con néctar, que es esencialmente una solución acuosa de aminoácidos y azúcares (fructosa, glucosa y sacarosa) de alto contenido energético y fácil digestión (Ramírez 2013). Así mismo los colibríes también necesitan un aporte proteico a su dieta, esencial en el periodo muda o reproducción el cual lo obtienen de pequeños artrópodos (Stiles 1978, Morales 1990).

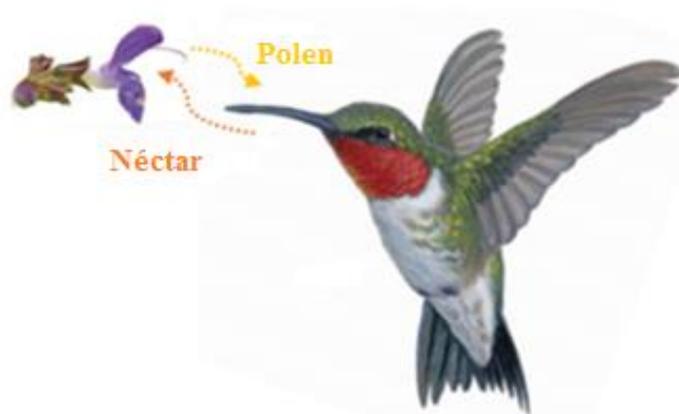


Fig. 1. Interacción planta - colibrí.
Tomado y modificado de Arizmendi & Berlanga 2014.

Las flores visitadas por colibríes presentan características particulares en morfología y fisiología asociadas a este tipo de polinización: son generalmente tubulares e inodoras, de

colores vistosos cercanos al rojo, naranja y amarillo, aunque también se ha observado colores rosa, lila, blanco, verde o un contraste de estos colores, dispuestas de forma horizontal, con la abertura hacia arriba o péndulas y con grandes cantidades de néctar (Stiles 1978, Ornelas 1996, Morales 1990, Arizmendi *et al.* 1994, Amaya *et al.* 2001, Murcia 2001). En América este conjunto de características nos permiten reconocer posibles recursos alimenticios que corresponden al síndrome de polinización para Troquílidos o síndrome de ornitofilia (Faegri & Van Der Pijl 1966, Morales 1990). A pesar de esto, se reconoce el oportunismo en el comportamiento de forrajeo que se refleja en visitas a flores "no-ornitófilas" o "complementarias", lo que indica que pueden cambiar sus estrategias de forrajeo debido a la riqueza, abundancia, distribución de las especies de plantas con flor y con ello la disponibilidad de néctar, recurso de suma importancia debido a sus requerimientos metabólicos y que en buena medida también regula la organización de la comunidad, ya que éstas son aves altamente especializadas desde el punto de vista fisiológico, pero generalistas desde el punto de vista ecológico (Stiles 1978, Morales 1990, Amaya *et al.* 2001, Rodríguez 2009, Bribiesca 2012, Ramírez 2013).

2.4 Redes de interacción

Recientemente se han propuesto metodologías para estudiar las relaciones entre plantas y polinizadores por medio de redes de interacción (Bascompte & Jordano 2007, del Val & Boege 2012), ya que las relaciones mutualistas no se restringen a pares independientes, en general intervienen decenas o incluso cientos de especies, formando una compleja red que moldea la biodiversidad demostrando que la dinámica de una comunidad depende en gran medida de cómo interactúan las especies (Bascompte & Jordano, 2008). Las redes de interacción mutualista pueden ser representadas gráficamente como una red bipartita o bi-modal, que es un conjunto de dos tipos de elementos: nodos que representan a dos grupos distintos (A) plantas y (B) polinizadores y los enlaces que representan las interacciones, de tal modo que no existen conexiones entre nodos del mismo grupo. Cada nodo se caracteriza por su grado (k) que indica el número de enlaces hacia otros nodos (Fig. 2) (Bascompte & Jordano 2007, 2008; Medel *et al.* 2009).

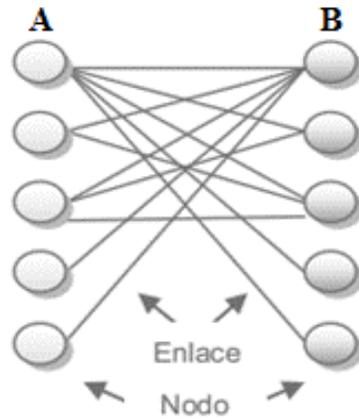


Fig. 2. Red de interacción mutualista, los nodos representan a las especies A: plantas y B: polinizadores y los enlaces las interacciones entre las especies. Tomado y modificado de Ramírez 2013.

Independientemente del tipo de mutualismo (polinización biótica o dispersión de semillas), la localidad geográfica y el número de especies que componen la comunidad, todas las redes mutualistas presentan tres características principales: a) se comportan de manera heterogénea donde la mayoría de las especies tienen pocas interacciones y un número reducido de especies están más conectadas, b) presentan un patrón de anidamiento o encajamiento (*nestedness*) donde existe un núcleo en la red, constituido por un número pequeño de especies generalistas que interactúan entre sí y que a la vez lo hacen con especies especialistas (Fig. 3) y c) asimétricas con dependencias débiles, es decir, si una planta especialista depende de un polinizador generalista, éste apenas dependerá de esta planta y viceversa (Bascompte & Jordano 2007, 2008; Medel *et al.* 2009). De manera general la heterogeneidad y el anidamiento proporcionan robustez ante la pérdida de algunas de sus interacciones y la asimetría confiere estabilidad permitiendo que un mayor número de especies generalistas y especialistas puedan coexistir en determinado lugar y tiempo (Bascompte & Jordano 2008).

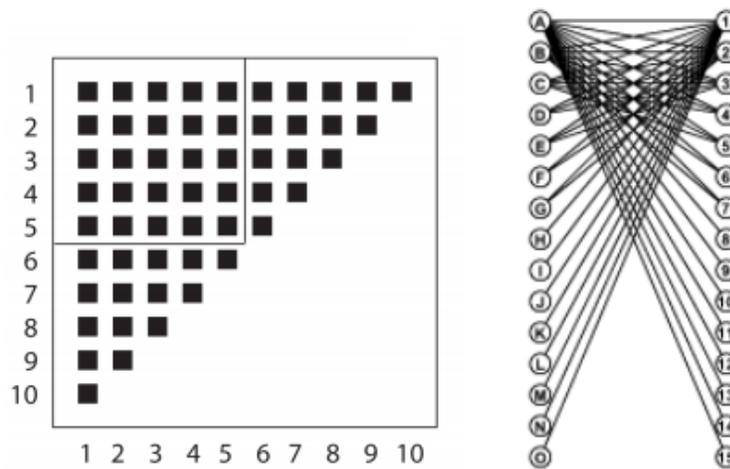


Fig. 3. Patrón de anidamiento o *nestedness* en redes de interacción planta-animal. Tomado y modificado de Medel *et al.* 2009.

El reciente estudio y análisis de redes de interacción mutualista va de la mano con el debate de especialización y generalización de los sistemas de polinización (del Val & Boege, 2012). De igual manera permite responder cuestiones sobre explotación de recursos naturales, cambio climático, perturbaciones, pérdida del hábitat, procesos de restauración, especies en riesgo, invasiones biológicas o incluso simular la eliminación aleatoria o selectiva de especies más conectadas para conocer su efecto sobre las demás especies que componen la red (Bascompte & Jordano 2007, 2008; Medel *et al.* 2009). Por otro lado, un tema que puede ser de interés durante la interacción planta-colibrí, son las especies de plantas exóticas o invasoras, ya que estas especies pueden superar barreras de dispersión o propagación en determinados sitios (Estañol 2014). Actualmente pocos son los estudios que han documentado de forma concreta los impactos a nivel de comunidad ya que en algunos casos pueden llegar a alterar de forma significativa la estructura de esta, incluso modificar el funcionamiento del ecosistema y poniendo en desventaja a especies de plantas nativas. La introducción de especies invasoras es la segunda mayor amenaza a la biodiversidad, ya que afecta procesos ecológicos y económicos llegando a ser actualmente es uno de los principales motores del cambio global (Aguilar 2005, Arizmendi 2009, Traveset 2015).

2.5 Antecedentes de redes de interacción planta – colibrí

En México, Lara y colaboradores (2012), analizaron y compararon el anidamiento de cuatro redes de interacción planta-colibrí localizadas en el centro-este del país, mediante la recopilación de datos de ocho trabajos previos realizados en 4 áreas naturales protegidas: La Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC) en Puebla y Oaxaca, Parque Nacional La Malinche (PNLM) en Tlaxcala, Reserva de la Biosfera Barranca Metztlán (RBBM) en Hidalgo y el matorral xerófilo cercano al Parque Nacional El Chico (PNEC) en Hidalgo. Los autores realizaron cuatro matrices cualitativas para medir el anidamiento mediante la temperatura (T°) comparando los datos originales de cada estudio contra 1000 réplicas del modelo nulo CE y por último calcularon la conectancia (C). Los resultados que obtuvieron indicaron que solo 3 redes presentaron anidamiento altamente significativo RBTC, RBBM y PNEC (CE $p < 0.001$), en tanto que el PNLM presentó anidamiento no significativo (CE $p > 0.001$) debido a la baja riqueza de especies (8 especies de colibríes y 8 especies de plantas), los autores explican que esto se debió a la poca abundancia de especies de plantas, esto por las actividades de deforestación en la zona. En tanto que los valores de la conectancia en RBBM y la RBTC fueron bajos ya que estas zonas se encuentran relativamente conservadas, de lo contrario en el PNLM y el PNEC los valores fueron altos ya que se localizan en zonas con alto impacto de perturbación. Cabe destacar que la planta exótica *Nicotiana glauca* fue una de las especies que obtuvo el mayor número de enlaces en las redes de la RBTC, RBBM y el PNEC.

Por otro lado, Martínez y Ortiz (2014) determinaron la estructura cuantitativa de cuatro redes mutualistas planta-colibrí, una a nivel paisaje y tres para tres tipos de vegetación de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán (Hidalgo): matorral submontano (MSM), bosque de encino (BE) y bosque de pino-encino (BPE). El estudio tuvo una duración de un año mediante observaciones directas, considerando todas las especies de plantas visitadas por los colibríes (ornitófilas y no-ornitófilas). Los autores elaboraron matrices cuantitativas en base a la frecuencia de las interacciones y calcularon el grado de especialización (H_2), así como dependencia y la asimetría de las dependencias (AS). Para la comunidad de colibríes a nivel de paisaje obtuvieron ocho especies en cambio a nivel

de vegetación en el MSM cinco especies, en el BE tres especies y en el BPE dos especies. Y para la comunidad de plantas a nivel de paisaje registraron 27 especies en contraste con el MSM con 11 especies, en el BE siete especies y para BPE nueve especies. En este estudio los resultados fueron muy variados en el caso de las dependencias y la asimetría a nivel de paisaje y vegetación, por otro lado, para el grado de especialización obtuvieron que las redes de MSM y BE fueron generalistas, mientras que la red de paisaje y BPE fueron especialistas.

En Colombia, Rodríguez-Flores y colaboradores (2012) realizaron un estudio de red interacción planta – colibrí (Subfamilia Phaethornithinae) en el Parque Nacional Natural Amacayacu (PNNA). El estudio tuvo una duración de nueve meses, donde las especies de colibríes se establecieron a partir de capturas con redes de niebla y observaciones directas, mientras que la comunidad de plantas se estableció a partir de cargas de polen y observaciones directas. La estructura de la red se determinó mediante una matriz cualitativa y cuantitativa, donde se calculó la distribución de la frecuencia, la asimetría (Índice de asimetría) y el anidamiento por medio de la temperatura (T°) y la Medida de anidamiento basado en la superposición y la disminución de rellenos (NODF), comparando los datos originales contra 1000 réplicas de los modelos nulos CE y ER. La red que obtuvieron está compuesta por siete especies de colibríes y 44 especies de plantas, el análisis presentó una distribución de las frecuencias heterogénea con un ajuste a la ley de la potencia, lo que indicó que la red está incompleta debido al tiempo de muestreo (9 meses) y al número reducido de especies de colibríes, en tanto que el anidamiento fue significativo T° (CE $p < 0.01$) y NODF (ER $p < 0.01$ y CE $p < 0.01$) y la red es asimétrica, donde cuatro de siete especies de colibríes fueron altamente generalistas y se alimentaron de un gran número de plantas, mientras que las especies especialistas de colibríes interactuaron a su vez con especies de plantas tanto generalistas como especialistas.

Ramírez (2013) en el Parque Nacional Natural Munchique (Colombia) analizó redes de interacción planta – colibrí con el fin de argumentar la importancia de la especie de colibrí endémico *Eriocnemis mirabilis* que habita en el Bosque de niebla, ecosistema perturbado por las actividades humanas en dicha zona y frágil ante el cambio climático.

El muestreo se realizó en dos sitios del parque Veinte de Julio y Charguayaco mediante observaciones directas y cargas polen. Se generaron matrices cuantitativas y cualitativas con el fin de construir una red general que incluyo las dos localidades, una red para cada una de las localidades y una red de polen. En cada una de las redes se midió el grado, conectancia, H_2 , compartimentalización, anidamiento (NODF comparando los datos originales contra 1000 réplicas de los modelos nulos CE y ER), dependencia, asimetría de la dependencia y fuerza de la interacción. El análisis demostró que las redes son heterogeneas, anidadas, los valores de H_2 mostraron que la red de Charguayaco es especialista y que la red general, Veinte de Julio y de polen son generalistas. Cabe destacar que la red de polen obtuvo el mayor número de especies de plantas, de ahí la importancia de este método. La autora concluye que *E. mirabilis* es una de las principales especies de la red, por lo que surge la necesidad de implementar planes dirigidos a la conservación del Bosque de niebla.

2.6 Estudios previos sobre interacción planta – colibrí en la REPSA

Morales (1990) realizó un estudio durante un año registrando las interacciones entre plantas y colibríes en la REPSA, esto mediante observaciones directas en veredas establecidas. Para la comunidad de plantas se registraron cinco especies *N. glauca*, *Leonotis nepetifolia*, *Bouvardia ternifolia*, *Echeveria gibbiflora*, y *Manfreda brachystachya*. Para la comunidad de colibríes se registraron seis especies *C. latirostris*, *A. beryllina*, *Eugenes fulgens*, *Hylocharis leucotis*, *Lampornis clemenciae* y *Calothorax lucifer*. También se obtuvieron registros de manera aislada de *Lampornis amethystinus*, *Selasphorus rufus* y *Amazilia violiceps*. La autora concluyó que la especie de planta *N. glauca* fue la más visitada debido a su abundancia y prolongado periodo de floración. En tanto que el colibrí *C. latirostris* fue la especie más abundante y territorial.

Arizmendi y colaboradores (1994) analizaron la interacción planta – colibrí en la REPSA mediante observaciones directas. Para la comunidad de plantas se registraron 13 especies: *Agave stricta*, *B. ternifolia*, *Calliandra grandiflora*, *Cephalocereus hoppenstedtii*, *C. citrinus*, *E. gibbiflora*, *Erythrina coralloides*, *L. nepetifolia*, *Manfreda brachystachya*, *N.*

glauca, *Polanisia uniglandulosa* y *Tillandsia sp.* En tanto que para la comunidad de colibríes se registraron 10 especies, cinco especies residentes: *A. beryllina*, *C. latirostris*, *E. fulgens*, *H. leucotis* y *L. clemenciae*, dos especies visitantes en verano: *Timaltura dupontii* y *A. violiceps*, tres especies visitante en invierno: *C. lucifer*, *Heliomaster constantii* y *S. rufus*. Los autores concluyen que las especies de colibríes se comportaron de manera generalista ya que visitaron las flores disponibles a largo del muestreo, donde la especie de planta con el mayor número de visitas fue *N. glauca*.

3. JUSTIFICACIÓN

La REPSA es uno de los pocos refugios para la fauna y flora silvestre que habita en la Ciudad de México, dicha urbe es considerada una de las más pobladas del mundo afectando su extensión, riqueza y abundancia de especies. Por lo tanto este estudio es el primero en realizar un análisis de red de interacción planta-colibrí en la Cantera Oriente (REPSA), zona donde se llevó a cabo un proceso de restauración en años anteriores y que incluyó el establecimiento de especies de plantas exóticas.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Describir las principales características de una red de interacción planta-colibrí en la Cantera Oriente (REPSA).

4.2 Objetivos particulares

- Determinar cuáles especies de plantas y colibríes componen la red.
- Determinar si la red presenta heterogeneidad entre las especies.
- Describir el anidamiento entre especies generalistas con especies especialistas.
- Analizar la asimetría entre las especies de plantas y colibríes.

5. MÉTODOS

5.1 Sitio de estudio

La Cantera Oriente corresponde a la zona de amortiguamiento A3 de la REPSA (Fig. 4 y 5). Por su ubicación externa al campus universitario y alejada de las zonas núcleo y del resto de las zonas de amortiguamiento, quedaría fuera de la definición de zona de amortiguamiento, sin embargo, por sus antecedentes y características singulares de índole paisajista y presencia de cuerpos de agua es considerada un refugio para la biota de la Cuenca de México, lo que le atribuye un valor especial para ser considerada parte de la REPSA (Lot, 2007).



Fig. 4. Polígonos: Cuenca de México (azul), Ciudad de México (verde), Pedregal de San Ángel (negro), Ciudad Universitaria (amarillo) y la REPSA (rojo). Tomado de <http://www.repsa.unam.mx>.

Algunos acontecimientos históricos sucedidos en la Cantera Oriente se enlistan a continuación (Lot, 2007):

- Abril de 1970: La Universidad otorga la concesión a la Planta de asfalto del Departamento del Distrito Federal para explotar el material basáltico.
- Septiembre de 1985: Se usó como sitio de depósito de los escombros del terremoto que se presentó en el Distrito Federal.
- Octubre de 1994: Se da por confluída la concesión de la explotación de la Cantera Oriente, se calcula que durante casi 25 años se extrajo un volumen aproximado de cinco millones y medio de m³ de material basáltico.
- Diciembre de 1996: La Cantera Oriente se integra a la REPSA.

- Diciembre de 1997: Se inició el proceso de restauración con la introducción de arbustos, árboles y plantas en general exóticas en los rellenos establecidos. Como cualquier cantera fuente de extracción de material, representó un sitio altamente impactado, que originó la pérdida de atributos y propiedades que garantizaban el cumplimiento de una biocenosis y mecanismos de autorregulación, es por esto que representó un reto para el proceso de restauración del paisaje e intento de rehabilitación ecológica.
- Mayo de 1998 y julio de 2000: El manejo de la Cantera Oriente quedó a cargo del Programa Universitario de Conservación de la Biodiversidad.
- 2001 a la fecha: La Coordinación de la Investigación Científica, a través de su Secretaria Administrativa y el Comité Técnico se encargan del mantenimiento de la Cantera Oriente.



Fig. 5. Polígono oficial de la REPSA: El color rojo indica las 3 zonas núcleo con 171 ha (protección estricta), el color azul indica las 13 zonas de amortiguamiento con 66 ha (uso restringido para la protección ambiental) y el color amarillo indica la Cantera Oriente con 7.48 ha. Tomado y modificado de <http://www.repsa.unam.mx>.

La Cantera Oriente se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas 19°19'05'' Norte y 99°10'21'' Oeste y cuenta con una superficie de 7.48 ha. El rango de altitud en el que se encuentra es de 2,254 a 2,292 msnm. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano [Cb(w1)w], con una época lluviosa de junio a octubre y una época seca de noviembre a mayo. La temperatura media anual es de 15.6 °C y la precipitación media anual es de 833 mm. El tipo de vegetación es diferente al matorral xerófilo mayormente caracterizado en el resto de la reserva ya que cuenta con paisajes arbóreos, jardines y el establecimiento de especies de plantas exóticas. Es el único lugar en la REPSA que posee cuerpos de agua (con una superficie de 11,906.45 m²) que conforman un paisaje lacustre bordeado de una pared de basalto de hasta 40 m de altura (Fig. 6) (Lot, 2007 y REPSA).

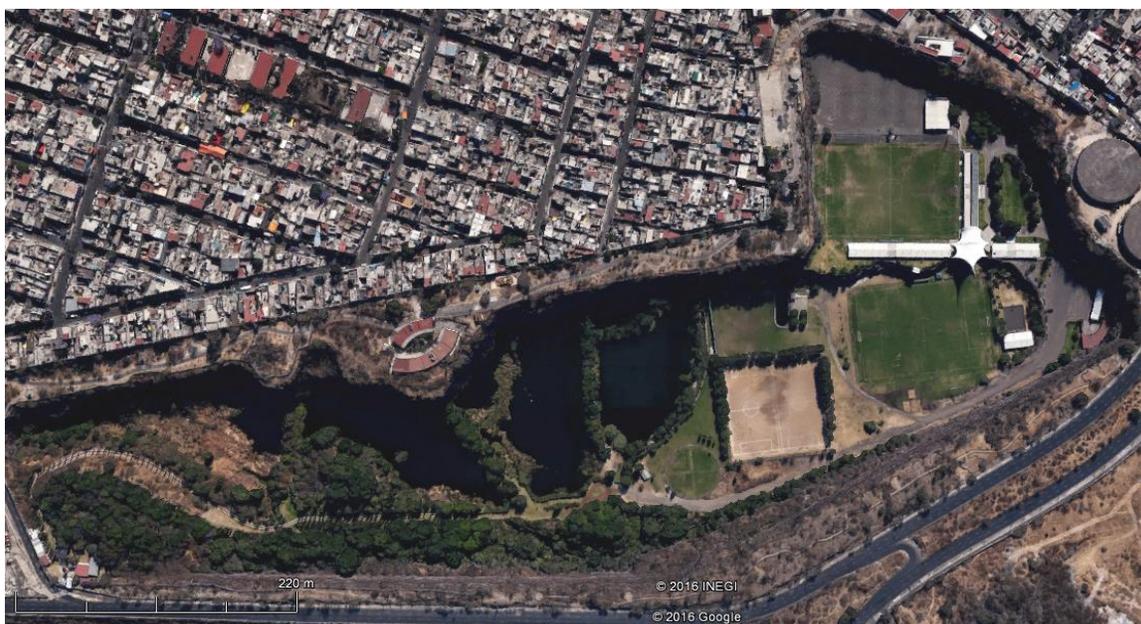


Fig. 6. Cantera Oriente (REPSA). Fuente: Google Earth.

Especies de colibríes en la Cantera Oriente:

La Cantera Oriente alberga un número considerable de aves y contribuye de manera notable a sostener poblaciones de especies residentes como es el caso de los colibríes *A. beryllina* y *C. latirostris* (Lot, 2007). El colibrí berilo (*A. beryllina*), es altamente territorial, de tamaño mediano (ambos sexos 8 a 10cm y pesa alrededor de 4.3 g). Es considerado migratorio altitudinal, con una amplia distribución que va desde el noroeste, occidente, centro y suroeste de México hasta Guatemala y Honduras. El colibrí de pico ancho (*C. latirostris*), de tamaño mediano (9 a 10 cm y pesa alrededor de 4 y 5 g),

sexualmente dimórfico. Es parcialmente migratorio con movimientos durante el invierno desde las zonas más norteñas de su distribución hacia el sur. Es semiendémico, con poblaciones residentes durante la reproducción en el sur de Arizona y Nuevo México en Estado Unidos y una distribución en México desde el suroeste de Chihuahua hasta el suroeste de Chiapas que incluye extensas áreas del occidente y centro del país (Fig. 7) (Lara *et al.* 2012, Arizmendi & Berlanga, 2014).

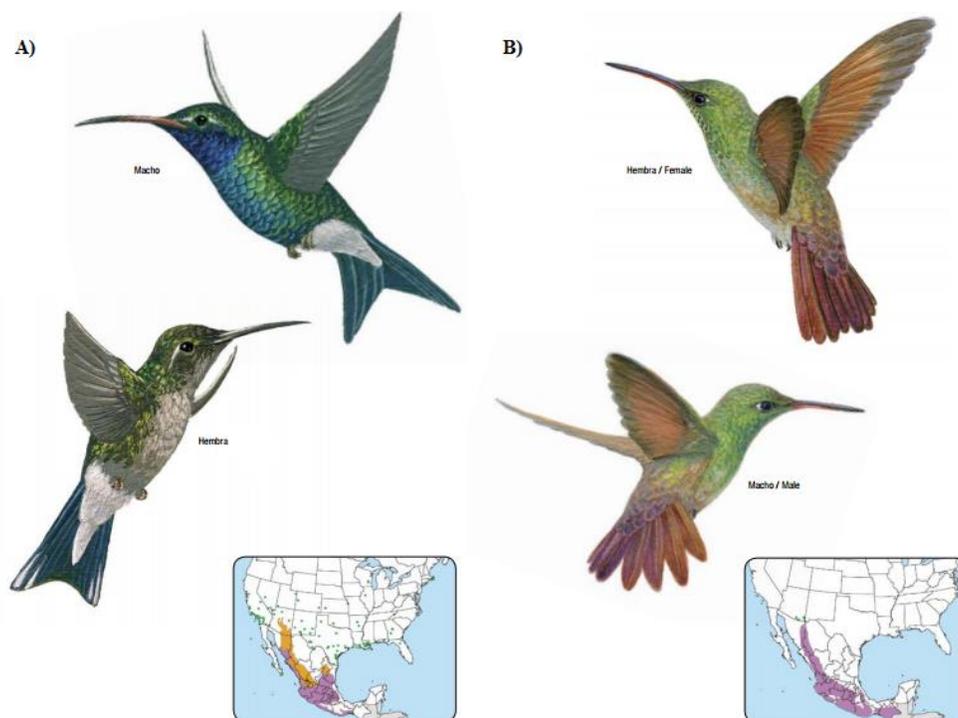


Fig. 7. Especies de colibríes residentes en la Cantera Oriente A) *C. latirostris* y B) *A. beryllina*. En los mapas se indica su distribución en el país: morado (residente) anaranjado (en verano se reproduce) y verde (observaciones aisladas). Tomado y modificado de Arizmendi & Berlanga, 2014.

5.2 Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó de agosto de 2014 a noviembre de 2015, tres días seguidos por cada mes, de 8:00 am – 1:00 pm. Para registrar las interacciones entre plantas y colibríes se realizaron observaciones directas con binoculares (8 x 40 mm) mediante 10 puntos de conteo distribuidos en la Cantera (Fig. 8), las observaciones en cada punto tuvieron una duración de 10 minutos con un radio de observación de 30m, mientras que entre punto y punto se llevaron a cabo observaciones focales, que duraron menos de 15 minutos tomando en cuenta durante el transecto 15m de cada lado. En cada caso se consideró una visita cuando el colibrí introdujo el pico dentro de la corola de la flor y se

tomaron en cuenta plantas ornitófilas y no ornitófilas. El tiempo de duración de las observaciones directas y focales durante el muestro fue de 93:10 h. A la par también se tomaron cargas de polen, mediante la técnica de gelatina coloreada con fucsina (Beattie, 1971) con modificaciones para uso práctico. Las capturas de los colibríes fueron a través de dos trampas de caída (330 horas/bebederos) y 12 redes de niebla (990 horas/red) distribuidas en la Cantera, colectando una sola muestra por cada colibrí, tomando en cuenta el pico, corona, barbilla y garganta, ya que estas son las zonas del cuerpo que tienen contacto con las anteras de las flores que visitan. Para identificar a las especies de plantas se usó la guía ilustrada de la vegetación de la REPSA (Castillo *et al.* 2007), y para la identificación de las especies de colibríes se utilizó la guía ilustrada de Arizmendi & Berlanga (2014).



Fig. 8. Distribución de los diez puntos de conteo (círculos rojos). Lugar donde se colocaron dos trampas de caída (estrella amarilla). Las 12 redes de niebla se colocaron dependiendo de la actividad de los colibríes. Tomado y modificado de Google Earth.

5.3 Trabajo de laboratorio

Previamente se realizó un catálogo de referencia tomando cargas de polen directamente de los sacos polínicos de las anteras de plantas ornitófilas y no ornitófilas que pudieran ser visitadas por los colibríes dentro de la Cantera Oriente y en algunos puntos de la REPSA, esto con el fin agilizar el análisis de las cargas de polen. La descripción de los

granos de polen fue mediante un microscopio óptico. Se describió para cada especie de planta el tamaño del grano de polen, ornamentación, aperturas, exina y otras medidas complementarias (ANEXO 2). Posteriormente se analizaron un total de 200 cargas de polen, tomando como criterio mínimo el 5% del total de las cargas para considerar a una especie de planta como visita frecuente por parte de los colibríes.

5.4 Análisis de redes

En este estudio se analizaron tres redes de interacción: **a) red de observaciones directas, b) red de cargas de polen y c) red combinada (observaciones directas y cargas de polen)**. Dada la importancia de la interacción planta – colibrí a lo largo del tiempo, en este caso ecológico, se decidió hacer una comparación de redes, es decir, de los datos del estudio de Morales y colaboradores (1990) en la REPSA, se construyó una red de observaciones directas y se comparó con la red de observaciones directas del presente estudio.

Matrices

Se elaboraron matrices cualitativas (presencia-ausencia) para cada una de las redes. Estas matrices representaron en los renglones a las especies de plantas (F) y en las columnas a las especies de colibríes (H). Si se presentó interacción entre el colibrí y la planta, en la casilla correspondiente se colocó 1 ($\alpha_{ij}=1$) y cuando no se presentó interacción, cero ($\alpha_{ij}=0$). Posteriormente se construyeron tres matrices cuantitativas (frecuencia de la interacción) con el número de veces que un colibrí visitó una especie de planta, donde cada elemento $\alpha_{ij} \neq 0$ tomó valores más allá de la presencia y ausencia. Se asumió una sola visita cada vez que un colibrí visitó una especie de planta independientemente del número de flores o del número de granos en la carga de polen (Medel *et al.* 2009, Rodríguez-Flores *et al.* 2012).

Heterogeneidad

Para identificar cuáles fueron las especies generalistas y especialistas se calculó el número de interacciones por especie o grado (k) y para determinar cómo se distribuyeron los enlaces en las especies se midió la distribución de la frecuencia $P(k)$, para eso se utilizaron los datos de las matrices cualitativas. Los datos originales se ajustaron a tres

tipos de distribuciones teóricas: ley de potencia ($P(k) \propto k^{-\gamma}$), ley de potencia truncada ($P(k) \propto k^{-\gamma} e^{-k/k_c}$) y exponencial ($P(k) \propto k^{-k}$). Para cada distribución se calculó el Criterio de Información Aikake (AIC) teniendo en cuenta que el valor más bajo es el que mejor representa la distribución original de los datos de cada una de las matrices. Las pruebas estadísticas para las distribuciones y los valores de AIC se realizaron utilizando los paquetes *brainwaver* y *waveslim* del programa R (R Development Core Team 2011).

Anidamiento

Para determinar si las especies generalistas y especialistas formaron un núcleo en la red se calculó el anidamiento mediante la temperatura T° y NODF, para esto se utilizaron los datos de las matrices cualitativas. Donde T° es una medida de desorden, $T^\circ=0$ significa una matriz anidada y $T^\circ=100$ significa que no hay anidamiento, por lo tanto N que es una medida de orden es igual a $\frac{(100-T^\circ)}{100}$, y varía entre 0 y 1 ($T=1$ matriz con máximo anidamiento, $N=0.5$ matriz con una estructura al azar o aleatoria y $N=0$ matriz con compartimentos) y para el caso de NODF los valores varían de 0=no anidamiento a 100=perfecto anidamiento. Para determinar si los valores de anidamiento de las matrices originales son más altos que por matrices generadas al azar, se compararon contra 1000 réplicas de los modelos nulos: ER = las presencias están asignadas aleatoriamente a cualquier celda de la matriz y CE = la probabilidad de que una celda aij muestre una presencia es $(\frac{P_i}{C} + \frac{P_j}{F})/2$, en la cual P_i es el número de interacciones de la planta, P_j es el número de interacciones del colibrí, C es el número de especies de colibríes y F es el número de especies de plantas. Para el análisis se utilizó el programa ANINHADO (Guimarães & Guimarães 2006).

Asimetría

Para determinar la asimetría de las interacciones entre las especies de colibríes y plantas se calculó con los datos de las matrices cuantitativas mediante el Índice de asimetría que se define como $A_i = \frac{\sum_j dij}{ki}$ donde dij es la medida de la fuerza de la interacción entre i y j , en tanto que ki es el número de especies que interactúan con la especie i . Cuando una especie obtiene valores cercanos a 1 significa que afecta fuertemente a las demás especies con las que interactúa y recibe pocos efectos de las demás especies, en cambio cuando

una especie obtiene valores cercanos a -1 significa que está fuertemente influenciada por las demás especies y que tiene pocos efectos sobre las demás especies. Los parámetros fueron calculados con el paquete *bipartite* del programa *R* (R Development Core Team 2011).

Por último con los datos de las matrices cualitativas y cuantitativas se obtuvieron los tres gráficos utilizando el paquete *bipartite* del programa *R* (R Development Core Team 2011).

6. RESULTADOS

6.1 Red de observaciones directas

La red se compuso por nueve especies de plantas, identificando las familias Lamiaceae, Myrtaceae, Hydrophyllaceae, Proteaceae, Salicaceae, Nyctaginaceae, Bignoniaceae y Convolvulaceae y por las dos especies de colibríes residentes en la Cantera Oriente, *A. beryllina* y *C. latirostris* (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz cualitativa de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA), $\alpha_{ij}=1$ presencia de interacción y $\alpha_{ij}=0$ ausencia de interacción.

Familia	Especie	<i>Amazilia beryllina</i>	<i>Cynanthus latirostris</i>	TOTAL ₁
Lamiaceae	<i>Leonotis nepetifolia</i>	1	1	2
Myrtaceae	<i>Callistemon citrinus</i>	1	0	1
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i>	1	0	1
Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i>	1	0	1
Salicaceae	<i>Salix babylonica</i>	1	0	1
Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea glabra</i>	0	1	1
Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	1	0	1
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1	0	1
Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i>	0	1	1
TOTAL ₂		7	3	20

TOTAL₁ Número total de interacciones por cada especie de planta.

TOTAL₂ Número total de interacciones por cada especie de colibrí.

Las especies de plantas y colibríes formaron una red bipartita (Fig. 9) donde la comunidad de colibríes obtuvo el mayor grado (k), *A. beryllina* con siete enlaces, seguido de *C. latirostris* con tres enlaces. Mientras que para la comunidad de plantas *L. nepetifolia* obtuvo dos enlaces y las ocho especies restantes un enlace cada una.

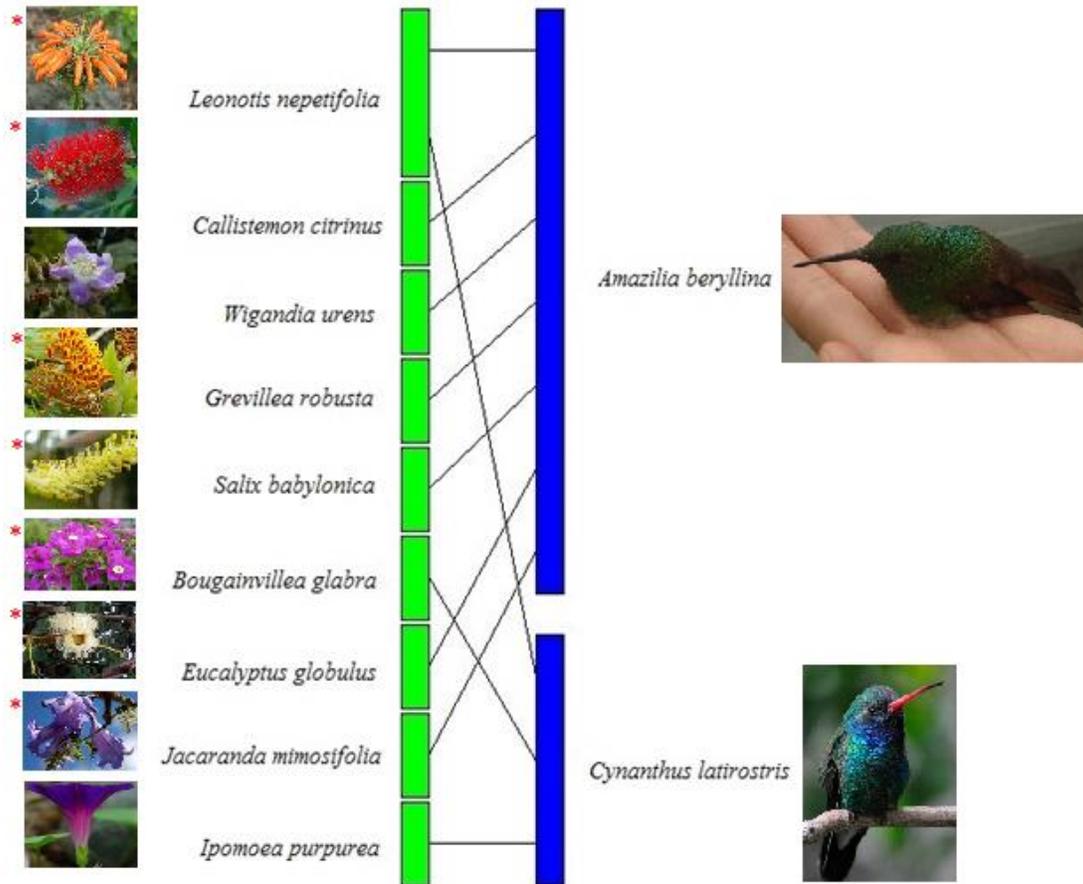


Fig. 9. Red de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Del lado izquierdo se representa la comunidad de plantas (9 especies) y del lado derecho la comunidad de colibríes (2 especies). Los enlaces representan las 10 interacciones censadas de las 18 interacciones posibles. * Indican que la especie de planta es exótica.

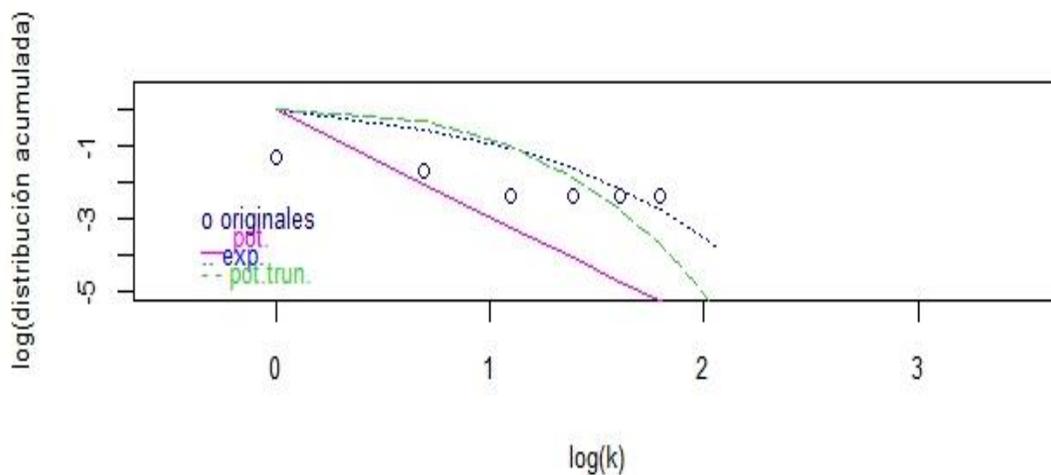


Fig. 10. Distribución de la frecuencia ($P(k)$) de la red de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Los datos originales (círculos) se ajustaron a tres distribuciones: ley de la potencia (pot) AIC = 7.727, ley de potencia trucada (pot. trun) AIC = 34.319 y exponencial (exp) AIC = 37.152.

La red es heterogénea ya que solo la especie *A. beryllina* obtuvo siete enlaces en comparación con ocho especies de plantas con un enlace cada una. La distribución de las frecuencia ($P(k)$) se ajustó a la ley de potencia ya que obtuvo el valor más bajo de AIC = 7.727, lo que indica que la red está incompleta (Fig. 10).

El valor de anidamiento fue bajo ($T^\circ=97.09$ y $N=0.02$) y no significativo con respecto a los modelos nulos T° ($CE=66.93$, $p>0.01$; $ER=100$, $p>0.01$). En tanto que el valor de NODF fue bajo (22.52) de igual manera no fue significativo con respecto a los modelos nulos NODF ($CE=42.21$, $p>0.01$; $ER=43.30$, $p>0.01$). Por otro lado, las interacciones entre colibríes y plantas fueron asimétricas, ya que las dos especies residentes de colibríes obtuvieron valores cercanos a 1; *A. beryllina* (0.81) seguido de *C. latirostris* (0.43). Mientras que las nueve especies de plantas no afectaron a las dos especies de colibríes ya que obtuvieron valores cercanos a -1 (Fig. 11).

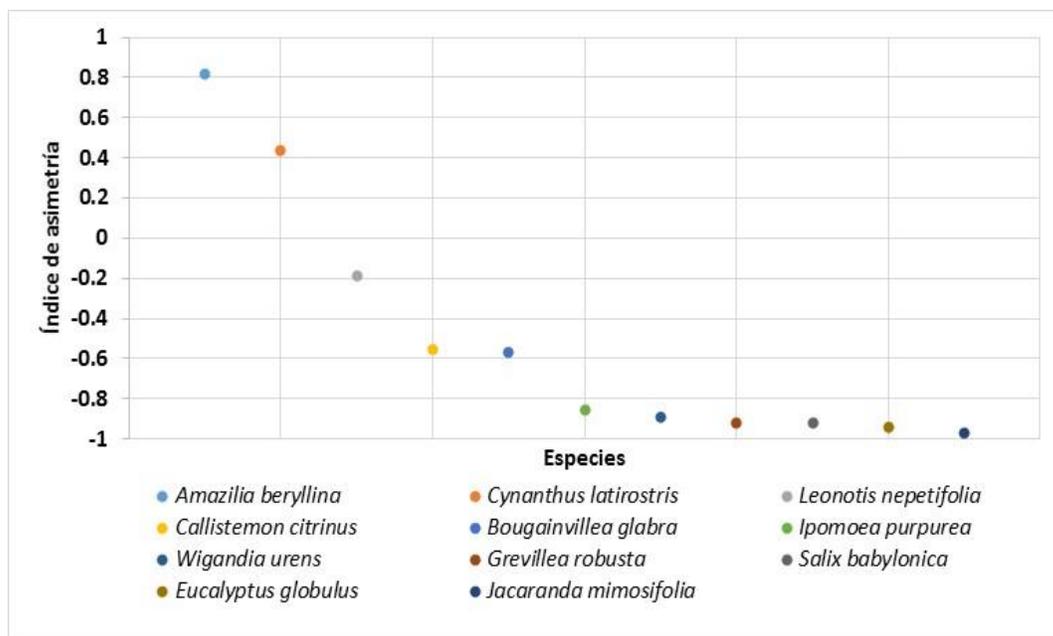


Fig. 11. Índice de asimetría de la red de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA).

6.2 Comparación de redes de observaciones directas

La red de Morales y colaboradores (1990) se compuso de 5 especies de plantas, identificando las familias Solanaceae, Lamiaceae, Rubiaceae, Crassulaceae y Agavaceae y por seis especies de colibríes *C. latirostris*, *H. leucotis*, *L. clemenciae*, *E. fulgens*, *C. lucifer* y *S. rufus* (Tabla 2).

Tabla 2. Matriz cualitativa de observaciones directas de plantas y colibríes en la REPSA (datos de Morales y colaboradores, 1990), $\alpha_{ij}=1$ presencia de interacción y $\alpha_{ij}=0$ ausencia de interacción.

Familia	Especie	<i>Cyananthus latirostris</i>	<i>Hylocharis leucotis</i>	<i>Lampornis clemenciae</i>	<i>Eugenes fulgens</i>	<i>Catolhorax lucifer</i>	<i>Selasphorus rufus</i>	TOTAL ₁
Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i>	1	1	1	1	0	1	5
Lamiaceae	<i>Leonotis nepetifolia</i>	1	1	1	0	1	0	4
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i>	1	1	1	0	1	0	4
Crassulaceae	<i>Echeveria gibbiflora</i>	1	1	0	0	0	0	2
Agavaceae	<i>Manfreda brachystachya</i>	0	0	0	1	0	0	1
TOTAL ₂		4	4	3	2	2	1	32

TOTAL₁ Número total de interacciones por cada especie de planta.

TOTAL₂ Número total de interacciones por cada especie de colibrí.

Las especies de colibríes y de plantas formaron una red bipartita donde de lo contrario a la red de observaciones directas del presente estudio (Fig. 18-A) la comunidad de plantas obtuvieron el mayor grado (k), *N. glauca* con cinco enlaces, seguido de *L. nepetifolia* y *B. ternifolia* con cuatro enlaces. En tanto que las especies de colibríes con el mayor número de enlaces fueron *C. latirostris* e *H. leucotis* con cuatro enlaces cada una (Fig. 18-B).

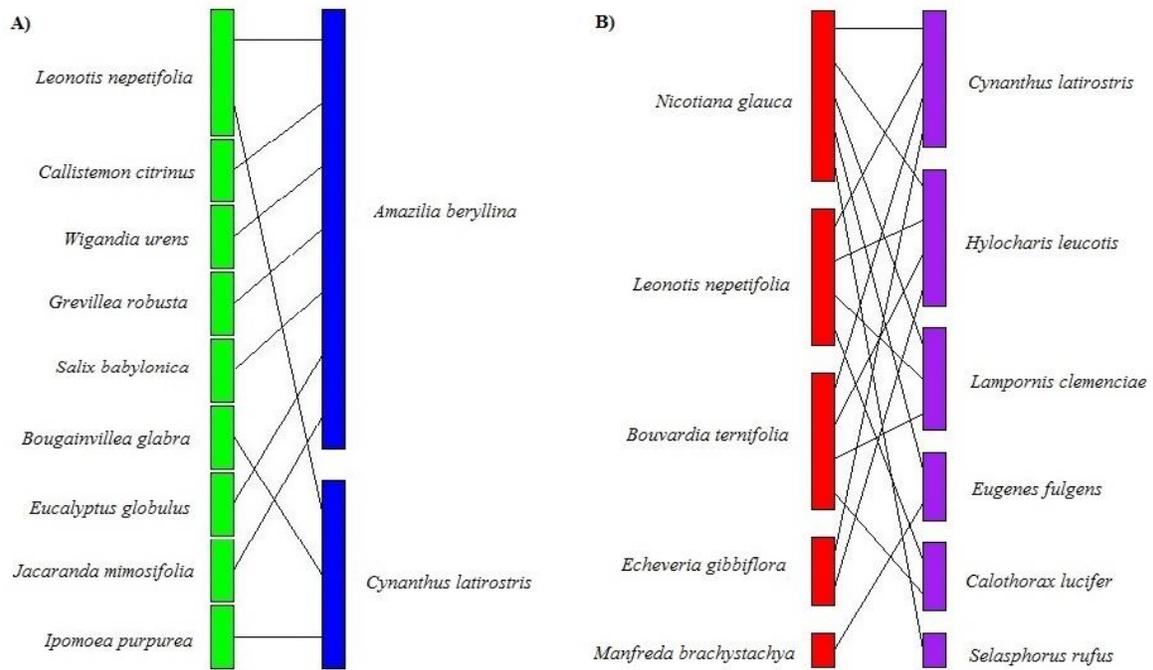


Fig. 12. A) Red de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente y B) Red de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes en la REPSA (Morales y colaboradores, 1990).

6.3 Red de cargas de polen

La red se compuso por 12 especies de plantas, identificando las familias Myrtaceae, Lamiaceae, Solanaceae, Hydrophyllaceae, Bignoniaceae, Crassulaceae, Fabaceae, Rubiaceae, Tropaeolaceae, Proteaceae y Convolvulaceae y nuevamente las dos especies residentes en la Cantera Oriente; *A. beryllina*, *C. latirostris* y el primer registro del colibrí migratorio *A. colubris* (Tabla 3).

Tabla 3. Matriz cualitativa de cargas de polen de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA), $\alpha_{ij}=1$ presencia de interacción y $\alpha_{ij}=0$ ausencia de interacción.

Familia	Especie	<i>Amazilia beryllina</i>	<i>Cyananthus latirostris</i>	<i>Archilochus colubris</i>	TOTAL ₁
Myrtaceae	<i>Callistemon citrinus</i>	1	1	1	3
Lamiaceae	<i>Salvia sp.</i>	1	1	1	3
Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i>	1	1	0	2
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i>	1	1	0	2
Lamiaceae	<i>Leonotis nepetifolia</i>	1	1	0	2
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1	1	0	2
Crassulaceae	<i>Echeveria gibbiflora</i>	1	1	0	2
Fabaceae	<i>Erythrina coralloides</i>	1	1	0	2
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i>	1	0	0	1
Tropaeolaceae	<i>Tropaeolum majus</i>	1	0	0	1
Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i>	1	0	0	1
Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i>	1	0	0	1
TOTAL ₂		12	8	2	44

TOTAL₁ Número total de interacciones por cada especie de planta.

TOTAL₂ Número total de interacciones por cada especie de colibrí.

Las especies de plantas y colibríes formaron una red bipartita donde dos especies de colibríes obtuvieron el mayor grado (k), *A. beryllina* con 12 enlaces, seguido de *C. latirostris* con ocho enlaces, por el contrario *A. colubris* solo obtuvo dos enlaces. En tanto que las especies de plantas *C. citrinus* y *Salvia sp.* obtuvieron tres enlaces cada una, seis especies con dos enlaces cada una y cuatro especies con un enlace cada una (Fig. 13).

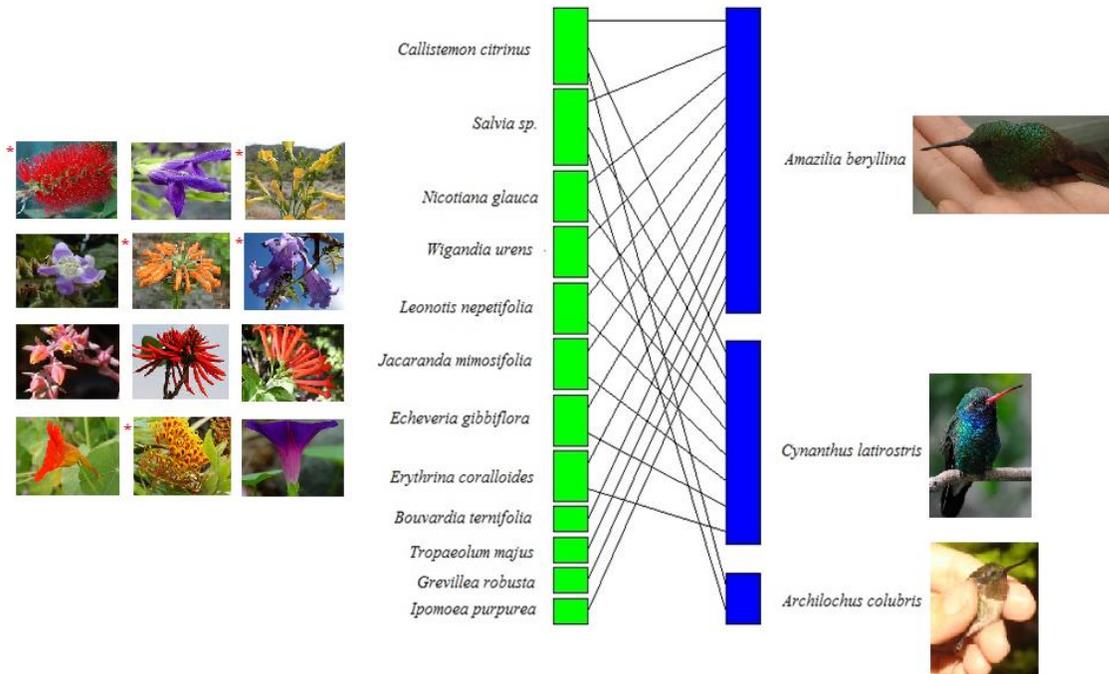


Fig. 13. Red de cargas de polen de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Del lado izquierdo se representa la comunidad de plantas (12 especies) y del lado derecho la comunidad de colibríes (3 especies). Los enlaces representan las 22 interacciones censadas de las 36 interacciones posibles. * Indican que la especie de planta es exótica.

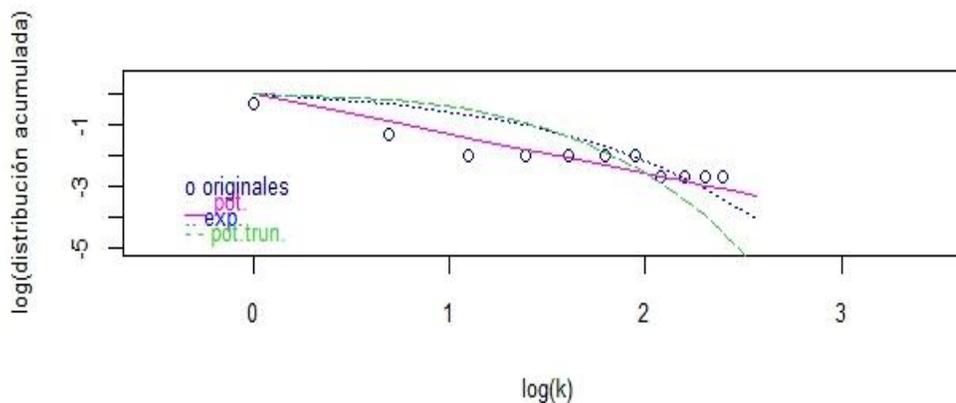


Fig. 14. Distribución de la frecuencia ($P(k)$) de la red de cargas de polen de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Los datos originales (círculos) se ajustaron a tres distribuciones: ley de la potencia (pot) AIC = 47.551, ley de potencia trucada (pot. trun) AIC = 61.656 y exponencial (exp) AIC = 64.284.

La red es heterogénea al igual que la red anterior donde *A. beryllina* obtuvo 12 enlaces en comparación con cuatro especies de plantas con un solo enlace cada una. La distribución de la frecuencia ($P(k)$) se ajustó a la ley de potencia ya que obtuvo el valor más bajo de AIC = 47.551, lo que indica que esta red también está incompleta (Fig. 14).

El valor de anidamiento fue alto ($T^{\circ}=0$ y $N=1$), sin embargo no significativo con respecto a los modelos nulos T° ($CE=22.68$, $p>0.01$; $ER=41.28$, $p<0.01$). En tanto que el valor de NODF fue alto (68.12), no obstante no fue significativo con respecto a los modelos nulos NODF ($CE=59.63$, $p>0.01$; $ER=54.89$, $p>0.01$). Por otro lado, las interacciones fueron asimétricas aunque hay cierta variación con respecto de las especies de colibríes y plantas, ya que las dos especies residentes de colibríes obtuvieron valores cercanos a 1; *A. beryllina* (0.80) seguido de *C. latirostris* (0.03) y la especie de planta *C. citrinus* (0.04). En tanto que 11 especies de plantas restantes y *A. colubris* obtuvieron valores cercanos a -1 (Fig. 15).

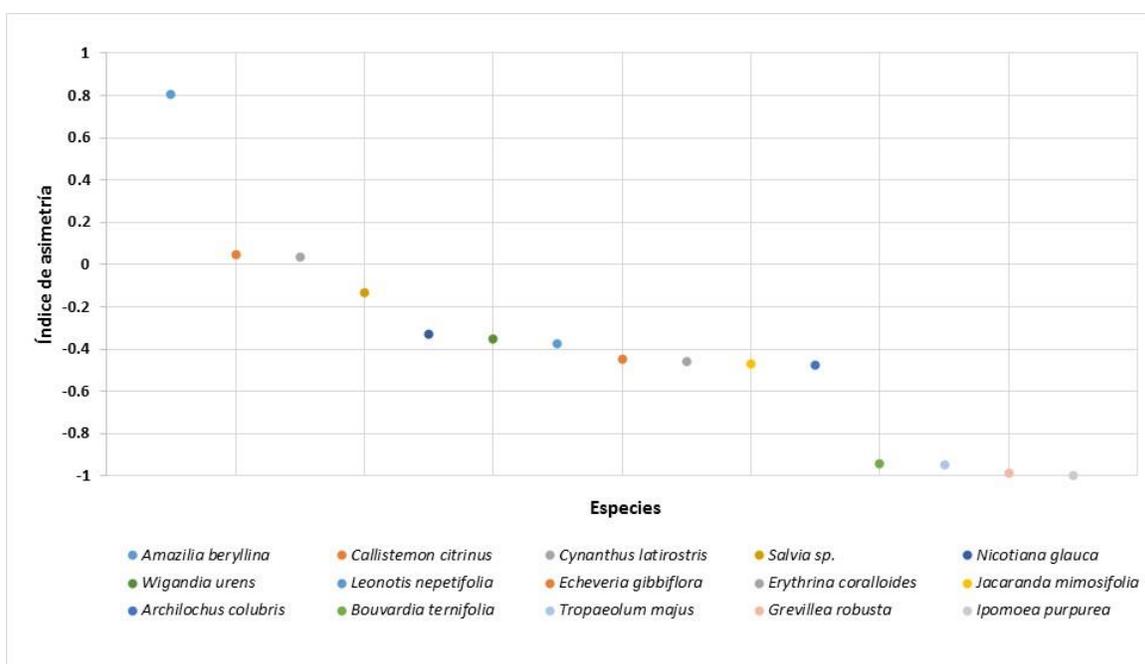


Fig. 15. Índice de asimetría de la red de cargas de polen de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA).

6.4 Red combinada (observaciones directas y cargas de polen)

La red está conformada por 15 especies de plantas, identificando las familias Myrtaceae, Lamiaceae, Solanaceae, Hydrophyllaceae, Bignoniaceae, Crassulaceae, Fabaceae, Convolvulaceae, Rubiaceae, Tropaeolaceae, Proteaceae, Salicaceae y Nyctaginaceae y por tres especies de colibrís *A. beryllina*, *C. latirostris* y *A. colubris* (Tabla 4).

Tabla 4. Matriz cualitativa de observaciones directas y cargas de polen de las especies de plantas y colibrís en la Cantera Oriente (REPSA), $\alpha_{ij}=1$ presencia de interacción y $\alpha_{ij}=0$ ausencia de interacción.

Familia	Especie	<i>Amazilia beryllina</i>	<i>Cyananthus latirostris</i>	<i>Archilochus colubris</i>	TOTAL ₁
Myrtaceae	<i>Callistemon citrinus</i>	1	1	1	3
Lamiaceae	<i>Salvia sp.</i>	1	1	1	3
Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i>	1	1	0	2
Hydrophyllaceae	<i>Wigandia urens</i>	1	1	0	2
Lamiaceae	<i>Leonotis nepetifolia</i>	1	1	0	2
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1	1	0	2
Crassulaceae	<i>Echeveria gibbiflora</i>	1	1	0	2
Fabaceae	<i>Erythrina coralloides</i>	1	1	0	2
Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i>	1	1	0	2
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i>	1	0	0	1
Tropaeolaceae	<i>Tropaeolum majus</i>	1	0	0	1
Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i>	1	0	0	1
Salicaceae	<i>Salix babylonica</i>	1	0	0	1
Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	1	0	0	1
Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea glabra</i>	0	1	0	1
TOTAL ₂		14	10	2	52

TOTAL₁ Número total de interacciones por cada especie de planta.

TOTAL₂ Número total de interacciones por cada especie de colibrí.

Las especies de colibrís y de plantas formaron una red bipartita donde dos especies de colibrís obtuvieron el mayor grado (k), donde *A. beryllina* tiene 14 enlaces, seguido de *C. latirostris* con 10 enlaces, por el contrario *A. colubris* nuevamente dos enlaces. En tanto que las especies de plantas *C. citrinus* y *Salvia sp.* obtuvieron tres enlaces, siete especies con dos enlaces cada una y seis especies con un enlace cada una (Fig. 16).

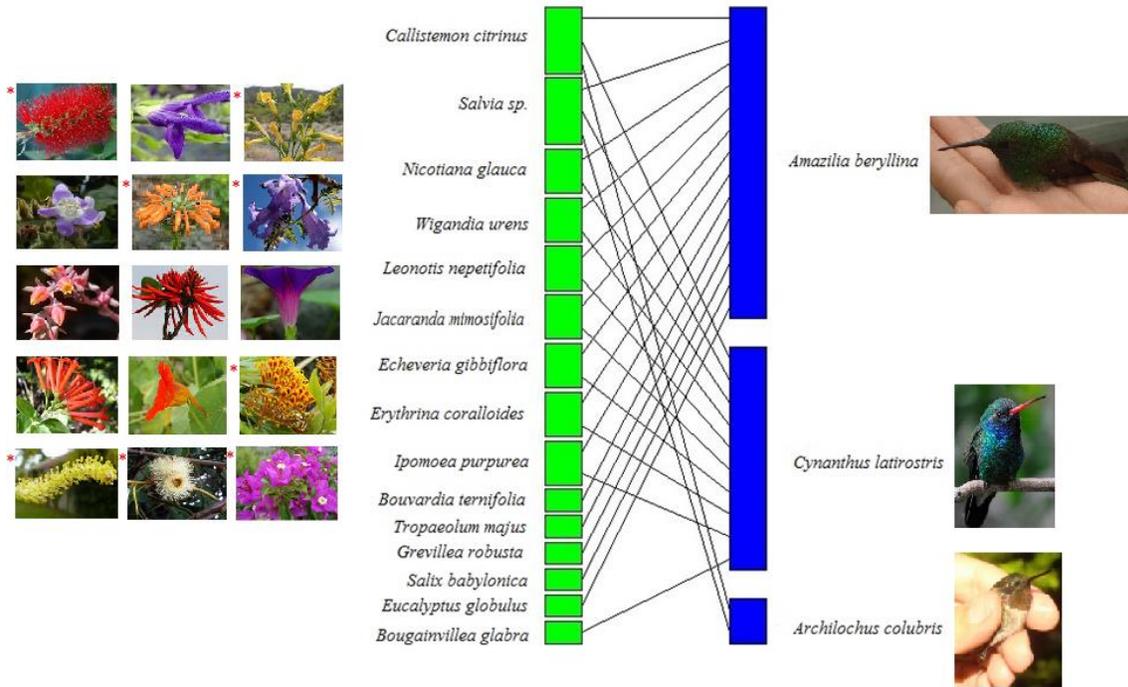


Fig. 16. Red combinada (observaciones directas y cargas de polen) de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Del lado izquierdo se representa la comunidad de plantas (15 especies) y del lado derecho la comunidad de colibríes (3 especies). Los enlaces representan las 26 interacciones censadas de las 45 interacciones posibles. * Indican que la especie de planta es exótica.

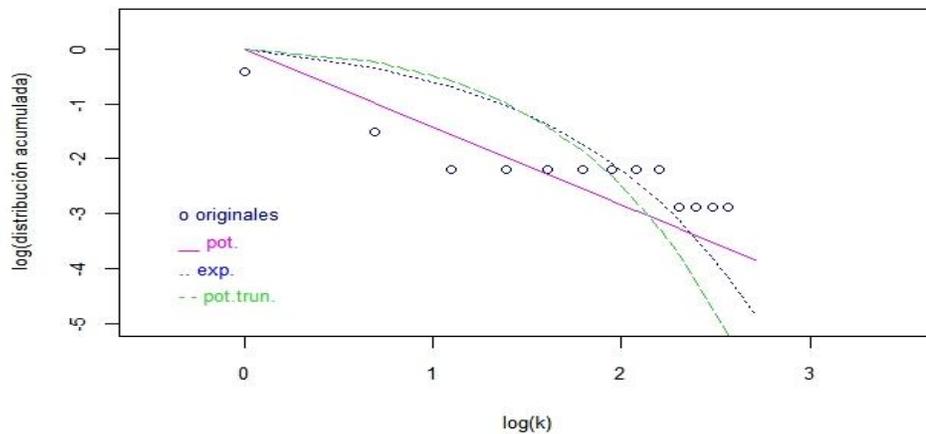


Fig. 17. Distribución de la frecuencia ($P(k)$) de la red combinada (cargas de polen y observaciones directas) de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA). Los datos originales (círculos) se ajustaron a tres distribuciones: ley de la potencia (pot) AIC =50.767, ley de potencia trucada (pot. trun) AIC =74.348 y exponencial (exp) AIC =76.191.

La red es heterogénea al igual que las redes anteriores donde *A. beryllina* obtuvo esta vez 14 enlaces en comparación con seis especies de plantas con un solo enlace cada una. La distribución de las frecuencia ($P(k)$) de igual manera se ajustó a la ley de potencia ya que obtuvo el valor más bajo de $AIC = 50.767$ indicando nuevamente que la red está incompleta (Fig. 17).

El valor de anidamiento fue alto ($T^\circ=3.72$ y $N=0.96$), sin embargo no fue significativo con respecto a los modelos nulos T° ($CE=23.18$, $p>0.01$; $ER=44.87$, $p<0.01$). Con respecto al valor de NODF este fue alto (65.65), no obstante no fue significativo con respecto a los modelos nulos NODF ($CE=57.47$, $p>0.01$; $ER=52.62$, $p>0.01$). Del mismo modo las interacciones fueron asimétricas con cierta variación entre las especies de colibríes y plantas, esta vez las dos especies residentes de colibríes obtuvieron los siguientes valores *A. beryllina* (0.79) y *C. latirostris* (0.17) y la especie de planta *C. citrinus* (0.03), en tanto que las 14 especies de plantas restantes y a *A. colubris* que obtuvieron valores cercanos a -1 (Fig. 18).

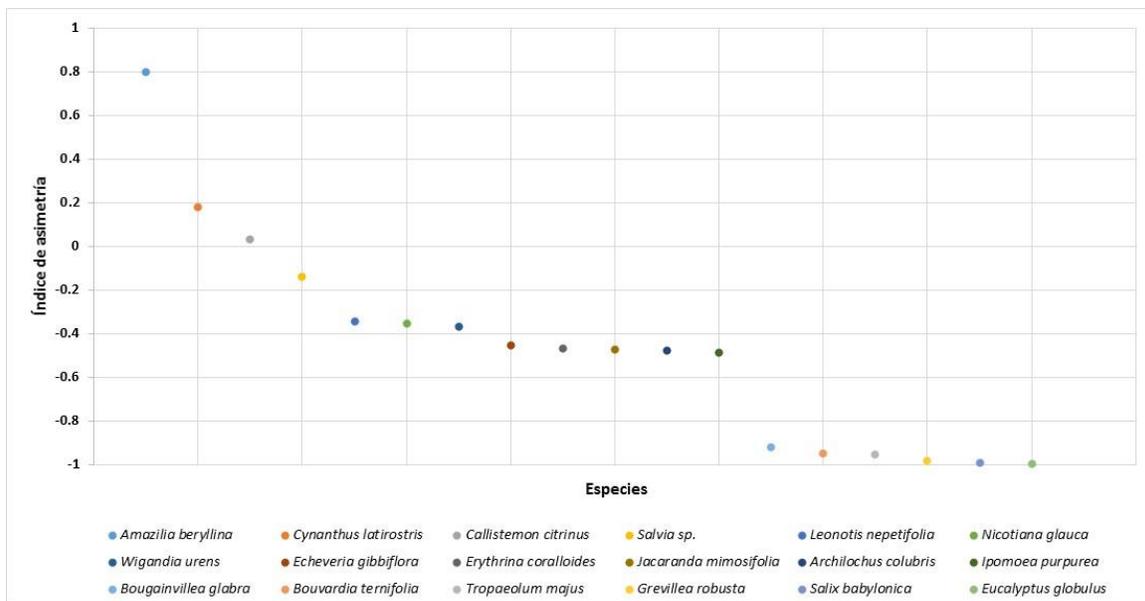


Fig. 18. Índice de asimetría de la red combinada (cargas de polen y observaciones directas) de las especies de plantas y colibríes en la Cantera Oriente (REPSA).

7. DISCUSIÓN

La composición de especies de plantas y colibríes varió de acuerdo al método de muestreo de cada red. Con respecto a la comunidad de plantas, en la red de observaciones directas se registraron nueve especies de plantas, siendo *L. nepetifolia* la especie más visitada (Fig. 12-A), en comparación con lo que registró Morales (1990), donde reportó cinco especies de plantas, donde *N. glauca* fue la especie con el mayor número de visitas (Fig. 12-B). Sin embargo, al realizar en este estudio el método de cargas de polen, la riqueza de especies de plantas incrementó a 15, siendo *C. citrinus* la especie más visitada. El método también permitió registrar a *E. gibbiflora* que crece únicamente en los muros que rodean la zona de estudio, ya que mediante observaciones directas y focales no hubiese sido posible registrar dichas interacciones, del mismo modo para las especies *B. ternifolia*, *T. majus* y *Salvia sp.* que no se encuentran dentro de la Cantera (Fig. 13).

Para la comunidad de colibríes, en la red de observaciones directas se registraron únicamente las dos especies residentes *A. beryllina* y *C. latirostris* (Fig. 12-A), en tanto que Morales (1990) registró seis especies *C. latirostris*, *E. fulgens*, *H. leucotis*, *L. clemenciae*, *C. lucifer* y *S. rufus*. (Fig. 12-B). Por otro lado, en la red de cargas de polen se obtuvo el primer registro en la zona de estudio de colibrí migratorio *A. colubris*, ya que solo se había reportado en el Pedregal de San Ángel (Ramos 1974). Podría explicarse que la baja riqueza de especies de colibríes en la Cantera se debe a la extensión de la misma (7.48 ha) en comparación con los estudios de Morales (1990) y Arizmendi *et al* (1994) que realizaron los muestreos en diferentes puntos (veredas) en la REPSA (aprox. 230 ha). No obstante, los datos del anillamiento de colibríes que simultáneamente se llevó a cabo en la misma zona de estudio demostraron que los colibríes utilizaron la Cantera Oriente para anidar y en menor medida para alimentarse, esto debido a la baja riqueza y abundancia de flores a lo largo del año (Arizmendi & Rodríguez *com. pers.*), además de que las especies visitaron plantas que se encuentran en otros puntos de la REPSA de acuerdo a los datos de las cargas de polen. Con respecto a la abundancia de especies de colibríes, Morales (1990) documentó que la especie más dominante fue *C. latirostris*, en tanto que los registros del presente estudio indicaron que *A. beryllina* fue la especie más abundante, con 182 cargas de polen (4 recapturas) y 36 registros de observaciones

directas, en comparación con *C. latirostris* donde solo se obtuvieron 13 cargas de polen y ocho registros por observaciones directas. Con estos datos aparentemente se ha presentado un cambio en las poblaciones residentes a lo largo de 25 años debido a: a) la territorialidad de *A. beryllina* (Lara *et al.* 2012, Arizmendi & Berlanga, 2014), ya que al defender la baja disponibilidad de recurso néctar en la Cantera Oriente puede que favoreciera su abundancia, cabe señalar que no se cuentan con datos suficientes que indiquen que sucede lo mismo en el resto de la REPSA y b) al ser *C. latirostris* una especie subordinada y con una baja abundancia en el sitio, es posible que los individuos de la especie buscaran otras fuentes de alimento en el resto de la REPSA o en otras zonas como lo reportado por López (2007) en el Parque Ecológico de la Ciudad de México (PEDM) ubicado en el Ajusto Medio, donde *C. latirostris* es considerado especie residente, visitando especies como *Loeselia mexicana*, *Salvia elegans*, *Castilleja tenuiflora* y *Senecio sp.* Por el contrario el mismo autor reportó a *A. beryllina* como especie migratoria altitudinal.

A lo largo del muestreo las especies de colibríes visitaron ocho especies que por sus características morfológicas principalmente corola y color presentaron el síndrome de ornitofilia: *B. ternifolia*, *E. coralloides*, *I purpurea*, *J. mimosifolia*, *L. nepetifolia*, *T. majus*, *Salvia sp.* y *N. glauca* y siete plantas no-ornitófilas; *B. glabra*, *C. citrinus*, *E. gibbiflora*, *E. globulus*, *G. robusta*, *S. babylonica*, y *W. urens* (Tabla 4. Fig. 16). Esto comprueba que los colibríes son generalistas ecológicamente hablando principalmente por dos razones a) la demanda del recurso néctar debido a los requerimientos metabólicos, ya que los colibríes deben de consumir en promedio la mitad de su peso de alimento al día y b) la disponibilidad del recurso néctar reflejado en la abundancia de flores ornitófilas y no-ornitófilas, ya que en buena medida regula la organización de la comunidad de colibríes en determinado sitio (Stiles 1978, Ornelas 1996, Rodríguez 2009, Rodríguez-Flores *et al.* 2012, Bribiesca 2012, Martínez & Ortiz 2014). Así mismo el síndrome de ornitofilia contribuyó a ser una guía durante el muestreo y no una regla estricta como lo mencionan Stiles & Rodríguez (2005), ya que con unas pocas excepciones, los polinizadores encuentran pocas ventajas en la especialización, debido a que cada especie de planta florece por un corto periodo de tiempo, por lo que los visitantes dependen de una progresión de plantas con flores a lo largo del año, éstos no

pueden permitirse dedicarse solamente a una especie de planta, por lo tanto el comportamiento de forrajeo depende de las flores que están disponibles (Stiles 1978, Morales 1990, Arizmendi *et al.* 1994, Smith & Smith, 2001). Cabe señalar que las plantas con la mayor frecuencia de visitas por parte de los colibríes fueron especies exóticas: *C. citrinus*, *N. glauca* y *L. nepetifolia*. Estas especies no pertenecen a la vegetación original de la REPSA que es el matorral xerófilo, sin embargo en la Cantera fueron utilizadas durante el proceso para los rellenos establecidos (Lot 2007). Estañol (2014) realizó un estudio de la vegetación actual de la REPSA en el cual documentó que *N. glauca* y *L. nepetifolia* son consideradas especies invasoras dentro de la reserva, concluyendo que la presencia de estas especies a menudo representa una barrera insuperable cuando estas se vuelven invasoras, ya que llegan a desplazar competitivamente a especies nativas, superando barreras de dispersión, como es el caso de *N. glauca*, ya que estudios recientes reportan visitas de colibríes en los estados de Puebla, Tlaxcala e Hidalgo (Lara *et al.* 2012, Martínez & Ortiz 2014). En relación a las plantas exóticas y polinizadores, los efectos pueden ser variados entre los que destacan: a) ser más atractivas (producen una mayor cantidad de néctar) en tanto que las especies nativas sufren una reducción en la cantidad y/o calidad de las visitas de los polinizadores, b) pueden tener un efecto neutro e incluso facilitar la visita de polinizadores a especies nativas ejerciendo una ‘atracción conjunta’ o bien c) promoviendo un crecimiento poblacional de polinizadores que incrementa las visitas a las especies nativas, sin dejar a un lado las distintas respuestas y características del grupo de polinizadores (Traveset, 2015). También hay que tomar en cuenta que los términos relacionados a especies exóticas hacen referencia a la distribución de las especies en determinadas zonas (límites biogeográfico) sin saber aún cuál es el impacto real en los ecosistemas (Estañol 2014). Estas especies tienen un impacto ambiental tan alarmante como lo son los efectos del cambio de uso de suelo, fragmentación del hábitat y cambio climático y a la fecha los escasos estudios están enfocados en interacciones entre pares de especies, desconociendo aún los efectos a nivel de comunidad (Traveset, 2015).

Con respecto al análisis de las tres redes de interacción y de acuerdo a lo esperado, las tres redes presentaron heterogeneidad, ya que de manera general solo una especie colibrí *A. beryllina* obtuvo un total de 14 enlaces en comparación con seis especies de plantas

que solo obtuvieron un enlace cada una (Fig. 16). Sin embargo, la distribución de las frecuencias ($P(k)$) en las tres redes se ajustó a la ley de potencia (Fig. 10, 14 y 17) lo que indicó que las redes están incompletas, esto debido a la baja riqueza y abundancia de las especies de colibríes y de especies de plantas con flor que se registraron durante el muestreo, y a que solamente una especie se comportó de manera super-generalista. Lo que se esperaba del análisis era que participaran más especies tanto de colibríes y de plantas y que se llevara a cabo un ajuste a la ley de potencia truncada ya que de esta manera habría un conjunto más amplio de especies moderadamente generalistas (Medel *et al.* 2009, Rodríguez-Flores *et al.* 2012). Cabe mencionar que una distribución de los enlaces que se ajuste a funciones de potencia o potencia truncada es esperable cuando la red sigue una pauta de enlace preferencial, es decir, los nuevos nodos que entran a formar parte de la red lo hacen enlazándose preferencialmente con los nodos más conectados, en este caso a lo largo del muestreo las nuevas especies de plantas se enlazaron directamente con *A. beryllina* (Bascompte & Jordano 2007, Medel *et al.* 2009). En tiempo ecológico la red crece a medida que avanza la estación y se produce la sucesión fenológica de especies con flor o la llegada y partida de especies migratorias, es decir hay una base biológica para los patrones generales que observamos en la distribución de las frecuencias ya que hay una sucesión temporal de las especies que interactúan (Medel *et al.* 2009).

De igual manera las tres redes presentaron asimetría de acuerdo a lo esperado, sin embargo, la red de cargas de polen y la red combinada (observaciones directas y cargas de polen), presentaron cierta variación entre especies colibríes y plantas (Fig. 15 y 18). Las especies que obtuvieron valores cercanos 1 fueron las especies residentes de colibríes *A. beryllina* y *C. latirostris* debido a la frecuencia de visitas a las especies de plantas, y la especie de planta *C. citrinus* debido a la alta frecuencia de visitas por parte de los colibríes, ya que es la especie de planta más abundante en la Cantera y con un prolongado periodo de floración (ANEXO 1), de modo que en la zona de estudio hay un número muy reducido de especies generalistas. Por el contrario el número de especies especialistas fue mayor, con un total de 14 especies de plantas y el colibrí *A. colubris* ya que obtuvieron valores cercanos a -1, lo cual se debe a la baja frecuencia de visitas de los colibríes a la mayoría de las especies de plantas y por la estancia mínima del colibrí migratorio (Rodríguez-Flores *et al.* 2012).

Para el caso del anidamiento, la red de visitas obtuvo un valor bajo y no significativo con respecto a los modelos nulos, en tanto que las redes de cargas de polen y combinada (observaciones directas y cargas de polen) presentaron un anidamiento alto, sin embargo, este no fue significativo con respecto a los modelos nulos, nuevamente se debió a la baja riqueza y abundancia de especies registradas y a la presencia de una especie super-generalista, algo que no se esperaba y que no es común en redes de interacción (Bascompte & Jordano 2007, 2008; Medel *et al.* 2009). Lara y colaboradores (2012) mencionan que un bajo anidamiento puede deberse a la baja riqueza de especies, como es el caso de la Cantera Oriente. En tanto que Rodríguez-Flores y colaboradores (2012) mencionan que el anidamiento se ve favorecido por la entrada de más especies a lo largo del muestreo, ya que estas se enlazaran con un número considerable de especies generalistas formando una red más anidada y cohesiva y no solamente con una especie super-generalista como es el caso del presente estudio.

8. CONCLUSIONES

- Los colibríes que participaron en las redes de interacción fueron las especies residentes; *Amazilia beryllina* y *Cyananthus latirostris*, además del primer registro en la zona de estudio del colibrí migratorio *Archilochus colubris*.
- Las especies de plantas que participaron en las redes de interacción fueron *Callistemon citrinus*, *Salvia sp*, *Leonotis nepetifolia*, *Nicotiana glauca*, *Wigandia urens*, *Echeveria gibbiflora*, *Erythrina coralloides*, *Jacaranda mimosifolia*, *Ipomoea purpurea*, *Bougainvillea glabra*, *Bouvardia ternifolia*, *Tropaeolum majus*, *Grevillea robusta*, *Salix babylonica* y *Eucalyptus globulus*.
- Las especies de colibríes visitaron plantas ornitófilas y no-ornitófilas, comprobando que este sistema es altamente generalista en términos ecológicos debido a la demanda energética reflejado en visitas a flores disponibles a lo largo del muestreo.
- Las especies de plantas con la mayor frecuencia de visitas fueron exóticas; *C. citrinus*, *N. glauca* y *L. nepetifolia*.
- Las tres redes analizadas fueron heterogéneas de acuerdo a lo esperado. A pesar de esto, el ajuste de la distribución de las frecuencias a la ley de la potencia indicó que las redes están incompletas debido a la baja riqueza y abundancia de especies.
- El anidamiento en las tres redes no fue significativo nuevamente debido a la baja riqueza y abundancia de especies de colibríes y plantas y a la presencia de una especie super-generalista.
- Las tres redes fueron asimétricas de acuerdo a lo esperado, cabe mencionar que las especies con mayores efectos fueron *A. beryllina* y *C. latirostris* dado su alta frecuencia de visitas a las especies de plantas disponibles y *C. citrinus* debido a la alta frecuencia de visitas por parte de los colibríes.
- La técnica de cargas de polen incrementó la probabilidad de que más especies de plantas participaran en las redes, por lo que se recomienda este método para posteriores estudios sobre interacción planta-colibrí.

9. PERSPECTIVAS

- Realizar redes de interacción planta-colibrí en otros sitios de la REPSA, como pueden ser zonas conservadas (matorral xerófilo) y zonas perturbadas.
- Realizar estudios enfocados en el impacto de las especies exóticas y los colibríes en la REPSA, tomando en cuenta si los colibríes son polinizadores efectivos de estas especies.
- Realizar estudios sobre las poblacionales residentes de colibríes en la REPSA, para comprobar o no la sucesión de especies.
- Tomar en cuenta estudios previos sobre interacciones planta-colibrí para proyectos de restauración, jardines para polinizadores, reforestación, especies en riesgo, etc. dando prioridad a especies nativas.
- La información que brinda el análisis de redes de interacción planta-animal puede utilizarse en temas sobre educación y conciencia ambiental dirigido a todo tipo de público.

10. LITERATURA CITADA

- Aguilar, V. 2005. Especies invasoras: una amenaza para la biodiversidad y el hombre. CONABIO. Biodiversitas 60:7 -10.
- Amaya, M. M., F. G. Stiles y J. O. Rangel-Ch. 2001. Interacción planta-colibrí en Amacayacu (Amazonas, Colombia): una perspectiva palinológica. Biología de la polinización. Caldasia 23 (1): 301-322.
- Arizmendi, M. del C., Espinoza, de los M. A., Ornelas, F. J., Morales, A., Acosta, I., Moreno, J. y Pérez L. 1994. Las plantas polinizadas por colibríes en el Pedregal de San Ángel. Ecología, Historia Natural y Manejo. Centro de Ecología. UNAM.
- Arizmendi, M. del C. 2009. La crisis de los polinizadores. CONABIO. Biodiversitas 85:1-5.
- Arizmendi, M. del C. & C. I. Rodríguez-Flores. 2012. How many plant species do hummingbirds visit?. Ornitología neotropical 23: 71–75
- Arizmendi, M. del C y H. Berlanga. 2014. Colibríes de México y Norteamérica. Primera edición. CONABIO. México. 160 pp.
- Bascompte, J. y P. Jordano. 2007. Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity. Ecol. Evol. Syst. 2007. 38:567–93.
- Bascompte, J. y P. Jordano. 2008. Redes mutualistas de especies. Investigación y ciencia.
- Beattie, A. J. 1971. A technique for the study of insect-borne pollen. Pan-Pacific Entomologist 47:82
- Begon, M., C. R. Townsend y J. L. Harper. 2006. Ecology from individuals to ecosystems. Cuarta edición. Blackwell Publishing. USA, 381 – 390.
- Bribiesca, F. R 2012. Efecto de la abundancia floral y las interacciones intra y heteroespecíficas en el comportamiento territorial de *Hylocharis leucotis*. Tesis de Maestría en Ciencia Biológicas. FES Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castillo-Argüero, S., Y. Martínez-Orea, M.A. Romero-Romero, P. Guadarrama-Chávez, O. Núñez-Castillo, I. Sánchez-Gallén y J.A. Meave. 2007. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: aspectos florísticos y ecológicos.

Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.

- Estañol, T. F. 2014. Estructura de la comunidad vegetal en zonas perturbadas, conservadas sujetas a restauración ecológica en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Tesis para obtener el título de Biólogo. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Faegri, K. & L. Van Der Pijl. 1979. *The Principles of Pollination Ecology*. Pergamon Press, Oxford, UK.
- Guimarães, P. R. y P. Guimarães. 2006. Improving the analyses of nestedness for large sets of matrices. *Environmental Modelling and Software* 21:1512-1513.
- Lara, C., T. P. Feria-Arroyo., J. Dale., J. Muñoz., M del C. Arizmendi., J. F. Ornelas., R. Ortiz-Pulido., C. I. Rodríguez-Flores., R. Díaz-Valenzuela., V. Martínez-García., A. Díaz-Palacios., R. Partida., P. L. Enríquez., J. L. Rangel-Salazar & Schondube, J. 2012. Potential effects of the climate change in the distribution of hummingbirds: a study case with hummingbirds from the genus *Amazilia* and *Cyananthus*. *Ornitología neotropical* 23: 57–70.
- Lara R. N. Z., R. Díaz-Valenzuela, V. Martínez-García, E. Mauricio-López, S. A. Díaz, O. I. Valle-Díaz, A. D. Fisher, C. Lara, & R. Ortiz-Pulido. 2012. Redes de interacciones colibrí-planta del centro-este de México. *Rev. Mex. Biodivers.* 83: 569–577.
- López, S. E. G. 2007. Efecto de la presencia de bebederos artificiales sobre los colibríes en el Parque Ecológico de la Ciudad de México, Ajusco Medio. Tesis de Maestría en Ciencia Biológicas. FES Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lot, A. 2007. Guía ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización ambiental e inventario biológico. Secretaria Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Coordinación de la Investigación Científica. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez-García V. & R. Ortiz-Pulido. 2014. Redes mutualistas colibrí-planta: comparación en dos escalas espaciales. *Ornitología neotropical* 25, 273–289.

- Medel, R., A. M. Aizen y R. Zamora. 2009. *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: conceptos y aplicaciones*. Primera edición. Universitaria, S.A. Santiago de Chile.
- Morales, H. A. E. 1900. *Estudio de las interacciones colibrí-planta en el Pedregal de San Ángel, D. F.* Tesis de licenciatura en Biología. FES Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Murcia, C. 2001. *Coevolución de los colibríes y las flores*. Pp. 120–167 en *Mazariegos, Joyas aladas de Colombia*. Cali, Colombia.
- Ornelas, J. F. *Origen y evolución de los colibríes*. 1996. *Ciencias* 42:38-47.
- R Development Core Team. 2011. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Descargado el 5 de marzo del 2016 de <http://www.rproject.org>
- Ramírez, B. M. B. 2013. *Redes de interacción mutualista colibrí -flor en el Parque Nacional Natural Munchique: ¿La pérdida de un colibrí endémico y en peligro crítico de extinción, acarrea el colapso del sistema?*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ramos, O. M. 1974. *Estudio ecológico de las aves del Pedregal de San Ángel, D. F (México)*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). Visitado el 1 de abril del 2016 en <http://www.repsa.unam>.
- Rodríguez, F. C. I. 2009. *Dinámica de las estrategias de forrajeo por néctar en colibríes (Aves: Trochilidae) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (Jalisco, México)*. Tesis de Maestría en Ciencia Biológicas. FES Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez-Flores, C., F. G. Stiles & M. del C. Arizmendi. 2012. *Pollination network of a hermit hummingbird community (Trochilidae, Phaethornithinae) and their nectar resources in the Colombian Amazon*. *Ornitología neotropical* 23: 85–100.
- Stiles, F. G. 1978. *El ciclo anual en una comunidad coadaptada de colibríes y flores en el bosque tropical muy húmedo de Costa Rica*. *Rev. Biol. Trop.*, 27(1): 75-1 01.

- Stiles, F. G. y C. I. Rodríguez-Flores. 2005. Análisis ecomorfológico de una comunidad de colibríes ermitaños (Trochilidae, Phaethorninae) y sus flores en la Amazonia Colombiana. *Ornitología Colombiana* N°3: 7-27.
- Smith, R. L y T. M. Smith. 2001. *Ecología*. Cuarta edición. Pearson Educación, S. A. Madrid.
- Traveset, A. 2015. Impacto de las especies exóticas sobre comunidades mediado por interacciones mutualistas. *Ecosistemas* 24(1): 67–75.
- del Val, E., & Boege, K. (Coordinadoras). 2012. *Ecología y evolución de las interacciones bióticas*. Fondo de Cultura Económica, CIECO, UNAM. México, D.F.

11. ANEXO 1. Patrón de floración

Especies/Meses de muestreo	2014					2015										
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
<i>Jacaranda mimosifolia</i> (Bignoniaceae)																
<i>Ipomoea purpurea</i> (Convolvulaceae)																
<i>Echeveria gibbiflora</i> (Crassulaceae)																
<i>Erythrina coralloides</i> (Fabaceae)																
<i>Wigandia urens</i> (Hydrophyllaceae)																
<i>Leonotis nepetifolia</i> (Lamiaceae)																
<i>Callistemon citrinus</i> (Myrtaceae)																
<i>Eucalyptus globulus</i> (Myrtaceae)																
<i>Bougainvillea glabra</i> (Nyctaginaceae)																
<i>Grevillea robusta</i> (Proteaceae)																
<i>Bouvardia ternifolia</i> (Rubiaceae)																
<i>Salix babylonica</i> (Salicaceae)																
<i>Nicotiana glauca</i> (Solanaceae)																
<i>Tropaeolum majus</i> (Tropaeolaceae)																

12. ANEXO 2. Catálogo de polen

Asteraceae

Dahlia coccinea Nash y Williams

Forma: Prolato-esferoidal. EP/EE=1.02 μ m. EP= 22.67 \pm 0.62 μ m y EE= 22.10 \pm 1.02 μ m

Apertura: Biporado. EP= 3.14 \pm 0.24 μ m y EE=2.99 \pm 0.31 μ m

Exina: 2.02 \pm 0.45 μ m

Ornamentación: Equinada. Alto= 4.2 \pm 0.58 μ m y ancho= 3.25 \pm 0.46 μ m

Estatus migratorio en México: Nativa



Fig. 19. Vista polar del grano de polen de *Dahlia coccinea* a 100x, se observa la ornamentación equinada y uno de los poros.

Bignoniaceae

Jacaranda mimosifolia D.Don

Forma: Suboblato. EP/EE= 0.75 μ m. EP= 36.23 \pm 2.24 μ m y EE= 47.8 \pm 3.5 μ m

Apertura: Tricolpado. Alto= 31.78 \pm 3.33 μ m y ancho= 15.4 \pm 2.45 μ m

Apocolpo: 12.91 \pm 1.52 μ m

EEVP: 46.05 \pm 1.67 μ m

Exina: 1.98 \pm 0.26 μ m. Perforada

Estatus migratorio en México: Exótica



Fig. 20. Vista polar del grano de polen de *Jacaranda mimosifolia* a 100x, se observan los tres colpos.

Convolvulaceae

Ipomoea purpurea Roth

Forma: Esferoidal. EP/EE= 1 μ m. EP=122.32 \pm 3.71 μ m y EE= 121.9 \pm 3.52 μ m

Apertura: Pantoporado. EE= 6.24 \pm 0.61 μ m y EP= 6.55 \pm 0.99 μ m

Exina: 4.9 \pm 0.33 μ m

Ornamentación: Equinada. Alto= 9.1 \pm 0.84 μ m y ancho= 5.25 \pm 0.61 μ m

Estatus migratorio en México: Nativa



Fig. 21. Vista polar del grano de polen de *Ipomoea purpurea* a 40x, se observan poros y la ornamentación equinada.

Crassulaceae

Echeveria gibbiflora A.P. de Candolle

Forma: Oblato. EP/EE= 0.70 μ m. EP= 21.2 \pm 1.89 μ m y EE= 30.15 \pm 1.95 μ m

Apertura: Tricolporado. Colpo (Alto= 19.23 \pm 1.59 μ m y ancho= 10.10 \pm 1.04 μ m).

Poros: (EE= 6.27 \pm 1.12 μ m y EP= 6.93 \pm 1.06 μ m).

Apocolpo: 3.97 \pm 0.56 μ m

EEVP: 29.68 \pm 3.11 μ m

Exina: 1.04 \pm 0.16 μ m. Perforada

Estatus migratorio en México: Nativa



Fig. 22. Vista polar del grano de polen de *Echeveria gibbiflora* a 100x, se observan los tres colpos con margo.

Fabaceae

Erythrina coralloides A.P. de Candolle

Forma: Suboblato. EP/EE= 0.81 μ m. EP= 25.06 \pm 2.08 μ m y EE= 30.82 \pm 2.46 μ m

Apertura: Triporado. EP= 7.16 \pm 0.67 μ m y EE= 6.60 \pm 0.88 μ m

EEVP: 30.96 \pm 1.43 μ m

Exina: 1.40 \pm 0.29 μ m

Ornamentación: Rugulada

Estatus migratorio en México: Nativa



Fig. 23. Vista del grano de polen de *Erythrina coralloides* a 100x, se observa uno de los poros y la ornamentación rugulada.

Hydrophyllaceae

Wigandia urens Kunth

Forma: Oblato-esferoidal. EP/EE= 0.88 μ m. EP= 15.78 \pm 0.73 μ m y EE= 17.83 \pm 0.93 μ m

Apertura: Tricolpado. Alto= 11.10 \pm 1.30 μ m y ancho= 4.74 \pm 0.61 μ m

Apocolpo: 3.34 \pm 0.45 μ m

Exina: 1.08 \pm 0.18 μ m

Ornamentación: Reticulada

Estatus migratorio en México: Nativa



Fig. 24. Vista polar del grano de polen de *Wigandia urens* a 100x, se observan los tres colpos.

Lamiaceae

Leonotis nepetifolia R. Br

Forma: Oblato-esferoidal. EP/EE= 0.99 μ m. EP= 32.41 \pm 2.70 μ m y EE= 32.66 \pm 3.73 μ m

Apertura: Tricolpado. Alto= 27 \pm 1.48 μ m y ancho= 12.08 \pm 1.11 μ m

Apocolpo: 5.06 \pm 0.78 μ m

EEVP: 28.72 \pm 1.68 μ m

Exina: 1 \pm 0.22 μ m. Perforada

Estatus migratorio en México: Exótica



Fig. 25. Vista polar del grano de polen de *Leonotis nepetifolia* a 100x, se observan los tres colpos y la exina perforada.

Myrtaceae

Callistemon citrinus Curtis, Skeels

Forma: Suboblato. EP/EE= 0.78 μ m. EP= 10.95 \pm 0.66 μ m y EE= 14.03 \pm 0.89 μ m

Aperturas: Sincolporado.

EEVP: 14.89 \pm 0.88 μ m

Exina: 0.76 \pm 0.11 μ m

Ornamentación: Rugulada

Estatus migratorio en México: Exótica



Fig. 26. Vista polar del grano de polen de *Callistemon citrinus* a 100x.

Nyctaginaceae

Bougainvillea glabra Choisy

Forma: Prolato-esferoidal. EP/EE= 1.02 μ m. EP=21.33 \pm 1.99 μ m y EE= 20.85 \pm 2.04 μ m

Exina: 2.9 \pm 0.29 μ m

Ornamentación: Semitectada-reticulada

Estatus migratorio en México: Exótica



Fig. 27. Vista polar del grano de polen de *Bougainvillea glabra* a 100x, se observa la ornamentación semitectada-reticulada.

Proteaceae

Grevillea robusta A. Cunn. ex R. Br

Forma: Oblato. EP/EE= 0.58 μ m. EP= 27.6 \pm 2.26 μ m y EE= 46.96 \pm 3.00 μ m

Apertura: Triporado. EP= 10.9 \pm 1.56 μ m y EE= 10.42 \pm 1.59 μ m

EEVP: 45.77 \pm 2.72 μ m

Exina: 2.49 \pm 0.38 μ m

Ornamentación: Semitectada-reticulada

Estatus migratorio en México: Exótica



Fig. 28. Vista polar del grano de polen de *Grevillea robusta* a 100x, se observa la ornamentación semitectada-reticulada.

Rubiaceae

Bouvardia ternifolia Cav. Schltdl

Forma: Prolato-esferoidal. EP/EE= $1.03\mu\text{m}$. EP= $28.30 \pm 1.13\mu\text{m}$ y EE= $27.46 \pm 0.86\mu\text{m}$

Apertura: Estefanocolporado. Poro (EE= $4.28 \pm 0.60\mu\text{m}$ y EP= $5.27 \pm 0.71\mu\text{m}$) y colpo (Alto= $22.63 \pm 1.03\mu\text{m}$ y ancho= $2.92 \pm 0.63\mu\text{m}$).

Exina: $1.74 \pm 0.20\mu\text{m}$

Ornamentación: Semitectada-reticulada

Estatus migratorio en México: Nativa



Fig. 29. Vista polar del grano de polen de *Bouvardia ternifolia* a 100x, se observa un colpo y en el fondo un poro, la ornamentación es semitectada-reticulada.

Solanaceae

Nicotiana glauca Graham

Forma: Suboblato. EP/EE= $0.80\mu\text{m}$. EP= $18.65 \pm 0.91\mu\text{m}$ y EE= $23.17 \pm 1.23\mu\text{m}$

Apertura: Tricolpado. Alto= $14.54 \pm 1.97\mu\text{m}$ y ancho= $8.66 \pm 2.27\mu\text{m}$

EEVP: $23.39 \pm 0.77\mu\text{m}$

Apocolpo: $4.70 \pm 0.71\mu\text{m}$

Exina: $1.01 \pm 0.19\mu\text{m}$. Perforada

Estatus migratorio en México: Exótica



Fig. 30. Vista del grano de polen de *Nicotiana glauca* a 100x, se observa uno de los colpos.

Tropaeolaceae

Tropaeolum majus Carl von Linnaeus

Forma: Oblato. EP/EE= 0.72 μ m. EP= 21.44 \pm 0.94 μ m y EE= 29.49 \pm 1.41 μ m

Apertura: Tricolpado. Alto= 15.37 \pm 1.08 μ m y ancho= 7.84 \pm 0.92 μ m

EEVP: 28.06 \pm 2.04 μ m

Apocolpo: 15.04 \pm 1.75 μ m

Exina: 1.22 \pm 0.17 μ m

Ornamentación: Semitectada-reticulada

Estatus migratorio en México: Nativa



Fig. 31. Vista ecuatorial del grano de polen de *Tropaeolum majus* a 100x, se observan los tres colpos y la ornamentación semitectada-reticulada.