



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA



Laboratorio de Ecología Evolutiva de Anfibios y Reptiles

DIVERSIDAD FENOLÓGICA DE LA COMUNIDAD DE AVES DEL PARQUE
CULTURAL Y RECREATIVO TEZOZÓMOC, AZCAPOTZALCO

PRESENTA:

Solis Sotelo Marco Eduardo

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

BIÓLOGO

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Pérez-Mendoza Hibraim Adán

Av. De Los Barrios 1, Colonia Los Reyes Iztacala Tlalnepantla, Estado de México,
C.P. 54090.

2022



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.

Índice

Resumen.....	1
1. Introducción.....	2
2. Antecedentes.....	6
3. Justificación	8
4. Hipótesis	9
5. Objetivos	10
5.1. Objetivo General	10
5.2. Objetivos Particulares.....	10
6. Área de estudio	11
6.1. Localización.....	11
6.2. Clima.....	11
6.3. Hidrografía	11
6.4. Suelos.....	12
6.5. Fauna.....	12
6.6. Flora.....	13
7. Materiales y métodos.....	14
7.1. Puntos de muestreo	14
7.2. Muestras	15
7.3. Identificación de especies	16
7.4. Listado de especies.....	16
7.4.1. Categorías de riesgo NOM-059-SEMARNAT-2010.....	16
7.4.2. Residencia y endemismo	16
7.5. Fenología	17
7.6. Análisis de datos	17
7.6.1. Series de tiempo.....	18
7.6.2. Diversidad fenológica	18
8. Resultados	20
8.1. Riqueza de especies.....	20
8.2. Residencia, categorías de riesgo y endemismo	22
8.2.1. Residencia.....	22
8.2.2. Categorías de riesgo.....	24
8.2.3. Endemismo	24

8.3. Diversidad fenológica por puntos	25
8.4. Diversidad fenológica por fenofases.	34
9. Discusión	49
10. Conclusiones	58
11. Recomendaciones.....	60
12. Literatura citada.....	61
13. Anexos	67

Jurado

Dr. Salvador Rodríguez Zaragoza

Dr. Cristian Alberto Espinosa Rodríguez

Dr. Hibrain Adán Pérez Mendoza

Dra. Sandra Fabiola Arias Balderas

Dra. Laura Edith Núñez Rosas

Agradecimientos

La vida puede ser definida de muchas formas, exacta, idílica, irreverente o científica, alguien podría decir que la vida no es más que un flujo constante de tiempo visto a través de una persona y la ciencia puede explicar una gran parte de todo lo que vivimos día a día. Aunque es cierto que cada rama de la ciencia lo puede apreciar de una forma única, pero ninguna de ellas lo hace como la biología, la ciencia misma de la vida, que puede dividirse en múltiples líneas más, una de sus principales cualidades. Pues la vida, aunque corta para algunos, es inmensa para otros.

Durante cuatro años tuve la fortuna de experimentar muchas de estas vertientes, que me mostraron diferentes formas de vista de un objetivo común, la vida, y no puedo encontrar misión más noble y romántica. Durante 4 años conocí amigos, maestros y guías que se convirtieron en mi familia, aquellos quienes compartían conmigo la búsqueda de la vida, mientras al mismo tiempo, nosotros vivíamos.

No puedo imaginar haber estudiado otra carrera tan bella como esta, me siento tan feliz de haberlo hecho, y como todo, nada es perfecto, es seguro, pero al final, lo único que me viene a la mente es aquello que amé y atesoraré cada momento de ese tiempo; pues *“comprender a quien se desea es una aventura llena de equívocos, de errancias y errores a veces afortunados. La mayoría de las veces no”* (Alberto Ruy Sánchez).

Veo al pasado y veo cuanto crecí, gracias a mi esfuerzo, y a la ayuda de muchas más personas. No puedo expresar lo tanto que agradezco a mi familia, quienes me apoyaron en todo momento, a mi madre Sandra y compañera de observación que siempre me escuchó, ayudó y acompañó aun cuando significara despertar a las 5 de la mañana, sin mencionar que me impulso a estudiar lo que hoy me acontece; a mi padre Octavio, que me apoyó siempre, esperando lo mejor de mí; a mi hermana Palomita que me hacía reír y me impulsaban a ser mejor cada vez, aun cuando yo no pudiera ayudarla siempre; a mi hermano Octavio, que me mostró el inefable asombro que significaba la biología y que siempre que era necesario estaba ahí para ayudar; a todos mis profesores que me mostraron nuevas cosas sobre cada parte de esta bella carrera y forma de vida, que me impulsaban a conocer y ver cada vez más e ir más allá; a mis amigos y más, que con su competencia amistosa nos ayudaba a mejorar, pero cuyo sentido del humor hacía cada día único, gracias infinitamente.

Además de ellos, me gustaría agradecer a mi tutor Hibraim, ciertamente no pude conocerlo tanto como hubiese deseado por la situación, sin embargo, siempre me ayudó en todo lo que pudo e impulso a hacer grandes cosas, siempre con una visión aún mayor. Así mismo, agradezco a cada uno de mis asesores, que han sido a su vez mis profesores y mentores en este arduo camino, simplemente gracias.

Al final, he llegado a este día, aquel en el que mi viaje con la biología termina, pero al mismo tiempo acaba de comenzar en una escala aun mayor, el miedo inunda mi ser, así como la emoción y melancolía de saber que terminó una parte de mi vida donde aprendí tanto. Jamás olvidaré cada salida al campo que excitaba mi mente esperando conocer y aprender cosas nuevas mientras podíamos aprender a vivir, despertar cada mañana con el frío que mantenía despiertos mis ojos, mientras veía el amanecer de cada nueva esperanza que me impulsaba cada día para llegar a este momento.

Algunos podrían decir que la biología es la ciencia más bella de todas, que cada ser vivo, cada especie extinta o que aún falta por descubrir reflejan una parte de un vitral infinito, un amor platónico, un sueño de conocimiento al que todo biólogo aspira. Esperando ver aquel amante que se oculta entre la incertidumbre, para poder apreciar aquella belleza absoluta, aguardando que crezca una vez más, para continuar la búsqueda de aquel amor a la vida misma.

Gracias.

Agradecimientos institucionales.

PAPIIT

IN201521

Dinámica espacial y temporal en la presencia y abundancia de vertebrados nativos y exóticos en áreas verdes de la Ciudad de México

¡Mil gracias!

Resumen

La fenología es la ciencia que estudia los estadios consecutivos de los organismos, su duración, así como las relaciones existentes con el ambiente, principalmente con el clima; por su parte la diversidad fenológica es la variación fenológica a través del espacio o de los niveles de organización, y esta diversidad puede ser un reflejo de la misma biodiversidad. Las aves, son uno de los principales modelos para medir los cambios fenológicos, principalmente relacionados al tiempo de migración y anidamiento de las especies y sus modificaciones debido al cambio climático. A través del presente estudio se midió la diversidad fenológica de la comunidad de aves del parque cultural y recreativo Tezozómoc a través del marco de referencia de los números efectivos de especies. Se visitaron 6 puntos de muestreo en el parque a través de 10 meses, dos veces a la semana; registrando un total de 73 especies. A través del cálculo de diversidad fenológica se obtuvieron las unidades de curvas fenológicas efectivas (C.F.E.), a través de las cuales se determinó que los puntos D y C poseen los valores más altos de diversidad. Además de los puntos, se calculó la diversidad fenológica para cada una de las fenofases, en este caso la fenofase individuo activo (IA) fue la mayor diversidad. Así mismo, se concluyó que la diversidad fenológica depende de la riqueza, abundancia, gremios tróficos, influencia humana, vegetación, así como la fenología de los recursos que son utilizados para las especies. Estos resultados contribuyen a una rama de la fenología pocas veces estudiada y que podría ser mas robusta con una homogeneización de su metodología como la mostrada en este estudio.

Palabras clave: avifauna, biodiversidad, fenología.

1. Introducción

La fenología es el estudio de las fases recurrentes en el ciclo de vida de los organismos, enfocado en su duración y la relación que tiene con los factores ambientales, principalmente cómo es que las características climáticas pueden afectar dichos estadios (Schwartz, 2013). En la actualidad la fenología es una ciencia de gran utilidad y relevancia por ser parte fundamental de las investigaciones relacionadas al cambio climático, sobre todo enfocada a los cambios de la fenología de plantas en años recientes (Peñuelas, *et al.*, 2009; Körner y Basler, 2010), sin embargo, la mayoría de los estudios presentan una heterogeneidad en relación a la metodología utilizada, por lo que palidece en profundidad con otras ramas de la ciencia bien conformadas (Schwartz, 2013; Denny *et al.*, 2014).

Las aves son uno de los grupos animales que presentan una gran cantidad de características relacionadas al clima, tales como el comportamiento, migración, crianza o la misma distribución geográfica de las especies, por lo que son uno de los principales modelos utilizados para medir los cambios fenológicos (Gordo y Sanz, 2006; Denny *et al.*, 2014). En la actualidad existen una gran cantidad de artículos relacionados a los cambios de migración de aves, así como anidación de especies, los cuales demuestran que el aumento de la temperatura a través de los años genera migraciones tempranas, inicio tardío en la reproducción de las especies y/o el inicio de anidación en tiempos diferentes a los registrados para las especies en años anteriores (Sparks, 1999; Gordo y Sanz, 2006; Chambers y Keatley, 2010; Sparks *et al.*, 2013).

En la actualidad existen pocos estudios enfocados a la diversidad fenológica (Sakai, 2001; Armstrong *et al.*, 2016); así mismo, en aves, existen una gran cantidad de estudios relacionados a su fenología, pero realmente son pocos los que abordan la diversidad fenológica de este grupo (Sparks *et al.*, 2013). La diversidad fenológica es referida a la variación fenológica expresada a través de espacio o niveles de organización biológica, de acuerdo con Armstrong *et al.* (2016); esta diversidad vislumbra una relación con la diversidad taxonómica y complejidad de las redes tróficas en los ecosistemas, pues se ha comprobado que un aumento en la

diversidad fenológica de poblaciones o especies aumenta la complejidad de interacciones en el ecosistema, mientras que la pérdida de biodiversidad lleva consigo menor capacidad de expresión de variación fenológica, por lo que podría inferirse que la diversidad fenológica podría ser un indicador de la biodiversidad.

Ahora bien, el concepto de diversidad ha sido modificado durante el tiempo debido a los distintos problemas semánticos de su definición misma, a tal grado que se ha mencionado ser un concepto sin sentido, sin embargo, conforme al paso del tiempo se ha aceptado que la diversidad tiene un gran valor en el estudio de la ecología de comunidades, así como la administración de áreas naturales protegidas (Moreno *et al.*, 2011). Uno de los principales problemas que han existido es el inadecuado entendimiento de los índices para su medición, de tal manera que índices como el de Shannon o Simpson que hacen referencia a la entropía, son tomados como índices de diversidad aún cuando estos no pueden sustentar las propiedades que deberían de cumplir como la duplicación y replicación, además de exhibir unidades difíciles de interpretar; sin embargo, eso no quiere decir que sean malos, pues son de los mejores sustentados y robustos en la actualidad (Jost, 2006).

Siguiendo con ese razonamiento, existen diferentes alternativas para medir la diversidad, una de ellas son los llamados números de Hill (*Eq1*) o números efectivos de especies (Hill, 1973), los cuales hacen alusión al número de especies igualmente abundantes en una comunidad virtual cuyo valor de índice de diversidad es el mismo al medido (Jost, 2006; Chao *et al.*, 2014). Este método ha sido considerado como uno de los que deben utilizarse actualmente debido a las distintas ventajas que posee en comparación a los índices de entropía, siendo una de las más importantes, la facilidad de su expresión e interpretación, sin mencionar que estos sí consideran las propiedades indicadas de los índices de diversidad (Ellison, 2010). En adición, una de las grandes ventajas del uso de los números efectivos, es la presencia del orden “q”, el cual determina la sensibilidad del índice ante la abundancia diferencial de las especies, de tal manera que sus distintos valores nos

permiten apreciar de mejor manera los posibles resultados omitidos al usar los índices entrópicos (Moreno *et al.*, 2011).

$${}^qD = \left(\sum_{i=1}^S p_i^q\right)^{1/(1-q)} \quad Eq1$$

Prosiguiendo, los números de Hill poseen además una propiedad única que pocas veces ha sido explorada en los demás índices, y es la fascinante flexibilidad que posee de evaluar diferentes facetas de la biodiversidad, de tal manera que no debe trabajar solamente con las especies como entidades fundamentales, sino que permite hacer uso de unidades distintas, esto tal y como lo menciona Chao y colaboradores (2014), donde usa los números efectivos para medir la diversidad filogenética, específica y funcional de distintas especies. Unificando lo anterior, sería posible medir la diversidad fenológica a partir del marco unificado basado en los números de Hill propuesto por Chao *et al.* (2014).

En la actualidad, la mayor parte de la población humana en el planeta se va a encontrar en ciudades y áreas urbanas, que representan aproximadamente solo el 4% de la superficie terrestre (Grimm *et al.*, 2008), de tal manera que los espacios verdes presentes en estas ciudades son uno de los principales mitigadores de los efectos de la urbanización, pues estos otorgan una gran cantidad de servicios ambientales, sin mencionar los beneficios psicológicos y fisiológicos para los humanos (Fuller *et al.*, 2007). Además de estos servicios, existen beneficios a la misma biodiversidad, pudiendo soportar poblaciones de múltiples especies, así como la conservación de especies en riesgo gracias a la heterogeneidad presentes en ellos (Goddard *et al.*, 2009; Oertli y Parris, 2019). De esta manera, la ecología urbana es una de las ramas de la ecología en mayor crecimiento, debido a este aumento poblacional y su condensación en los centros urbanos, por ello el estudio de la ecología en ciudad y de la ecología de la ciudad se ha intensificado en la actualidad, siendo el grupo de las aves de los más abordados (MacGregor-Fors, 2019).

El parque Tezozómoc se localiza en la alcaldía de Azcapotzalco de la Ciudad de México. Las especies de aves presentes en el parque son bien conocidas y

registradas en los trabajos de Villafranco (2000) y; Ramírez (2000) quienes midieron la diversidad de especies de aves presentes en el parque, sin embargo, en la actualidad no existen datos recientes sobre la comunidad de aves presentes en el parque y mucho menos sobre la fenología de estas, por lo que es de gran importancia actualizar los datos sobre este grupo en dicho parque.

Tanto la falta de estudios relacionados a la diversidad fenológica de especies, como una homogeneización de los métodos para realizar las investigaciones en este ámbito científico son de gran importancia, pudiendo ayudar a apreciar la biodiversidad desde otro nivel, más allá de los conocidos (genético, específico y ecosistémico), además de esto, se encuentra el papel de los parques en mantenimiento de las poblaciones, así como la conservación de especies y los beneficios que estos pueden otorgar al humano. Por lo que el objetivo principal de este trabajo es medir la diversidad fenológica de la comunidad de aves de parque urbano Tezozómoc, Azcapotzalco, para así auxiliar en el aumento de estudios de esta índole.

2. Antecedentes

El término diversidad fenológica fue utilizado por primera vez por Armstrong y colaboradores (2016), quienes la definieron como “*la variación fenológica expresada a través de espacio o niveles de organización biológica*”, es importante descollar que aquí mismo se puede observar la importancia de esta misma diversidad en los diferentes niveles de biodiversidad a partir de ejemplos de olas de recursos para consumidores móviles, representando la variabilidad fenológica una gran oportunidad para este tipo de organismos.

En lo que respecta a la forma de medición de la fenología, tal y como se mencionó en la introducción, la mayor parte de los estudios presentan una metodología heterogénea, que pocas veces permiten generar comparaciones adecuadas entre los distintos estudios. Ante este panorama Denny *et al.* (2014), generaron una revisión de la fenología de distintos grupos de organismos, de tal manera que crearon una propuesta para la estandarización de metodologías para el monitoreo de la fenología, siendo algunos de estos grupos plantas, insectos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

Referente al parque Tezozómoc, en el año de 2000, Villafranco realizó su tesis sobre la avifauna de 1998 a 1999, registrando un total de 75 especies, de las cuales la gran mayoría se presentaron de forma esporádica, concluyendo que el parque, pese a estar aislado en zonas urbanas de alta densidad demográfica, presenta una riqueza alta. Considerando al parque como un punto fundamental para el tránsito, descanso y reabastecimiento de múltiples especies de aves.

En el mismo año 2000, Ramírez-Bastida, estudió aves en humedales en la Ciudad de México, siendo uno de sus puntos el parque Tezozómoc, en este caso, se registraron un total de 67 especies, en el periodo de dos años, de 1996 a 1998.

Por último, en el caso de la medida de diversidad fenológica, los números de Hill o número efectivo de especies es un modelo de diversidad que debido a su flexibilidad posibilita la medida de diferentes facetas de la biodiversidad, de tal manera que Chao *et al.* (2014) hizo uso de este método para medir la diversidad

específica, filogenética y funcional de especies, generando así un marco teórico que permite hacer uso de diferentes entidades para medir diversidad.

3. Justificación

La falta de conocimientos sobre la diversidad fenológica en el grupo de las aves, así como la desactualización de los datos sobre la avifauna del parque Tezozómoc, nos permiten tomarlo como un modelo de estudio donde es posible medir la diversidad fenológica haciendo uso del marco teórico propuesto por Chao *et al.* (2014) el cual se basa en los números efectivos de especies, permitiendo así evaluar la posible relación que puede tener la fenología y su variedad con los diferentes niveles de la biodiversidad establecidos con anterioridad.

Además de lo anterior, la importancia de los parques como mitigadores de la urbanización, los servicios ambientales que otorgan, beneficios al humano y la biodiversidad, hacen que sea imperativo realizar estudios que nos ayuden a conocer el estado de estas áreas verdes. Sin mencionar el seguimiento de los estudios realizados con anterioridad en el parque por Ramírez (2000) y Villafranco (2000), posibilitando así la toma de decisiones sobre el manejo, cuidado y conservación del parque considerando las especies de aves presentes, que son uno de los constituyentes ecosistémicos de gran importancia.

4. Hipótesis

Debido al uso de los números efectivos para medir diferentes vertientes de la biodiversidad, es posible usarlos para medir la diversidad fenológica, por ende, la relación existente entre la riqueza de especies y su abundancia con los números efectivos se verá reflejada en la diversidad fenológica; de tal manera que los valores de q serán de los factores más importantes al momento del cálculo, siendo que en comunidades con mayor igualdad en los valores de abundancia de las especies, las diferencias entre valores sean mínimas y crezcan conforme más peso tengan ciertas especies. Sin embargo, además de estos, tanto los comportamientos, como los distintos tipos de alimentación podrían modificar la diversidad fenológica, debido al vínculo existente con la fenología de aves; de forma que entre mayor heterogeneidad exista de estos elementos la diversidad fenológica aumentará independientemente de la igualdad en la abundancia.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

- Determinar la diversidad fenológica de aves del parque Tezozómoc entre los diferentes puntos de muestreo y compararla.

5.2. Objetivos Particulares

- Identificar la avifauna presente en el parque.
- Conocer la riqueza de especies del área de estudio.
- Calcular la diversidad fenológica a través del uso de los números efectivos.
- Analizar la diversidad fenológica del parque.

6. Área de estudio

6.1. Localización

El Parque Cultural y Recreativo Tezozómoc, se encuentra en la alcaldía de Azcapotzalco, Ciudad de México, está localizado en las coordenadas 19°29'05" N y 99°12'36" O, a una altitud de 2250 m.s.n.m. y cuenta con una extensión de 270 00 m² (27 ha), colindando con el municipio de Tlalnepantla de Baz en el norte y noreste, mientras que con Naucalpan en el oeste (Oliva *et al.*, 2008). Este parque fue diseñado en el año de 1978 por el arquitecto Mario Schjetman de Garduño, con el objetivo de establecer un área verde en el noreste de la Ciudad; una de sus ideas principales era crear una representación de la topografía-orografía de la Ciudad de México a finales del siglo XV exhortando a los visitantes a tener un recorrido cultural y ecológico del México pasado, de tal manera que fue inaugurado el 21 de Marzo de 1982 (Reséndiz *et al.*, 2015).

6.2. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1964), el parque posee un clima de tipo C(w0) templado subhúmedo con lluvias en verano, además de tener una temperatura media anual de entre 12 y 16°C siendo el mes de mayo el que posee la temperatura más cálida (18-19°C) y el de diciembre, por el contrario, la más fría (11-12°C), además de contar con una precipitación de 500 a 800 mm anuales (Arzate, 2002).

6.3. Hidrografía

El parque posee un cuerpo de agua artificial clasificado como lago urbano, con una superficie de 17,000 m², una profundidad máxima de 2.4 m y una capacidad es de 38,000 m³. Cabe señalar que este cuerpo de agua se encuentra en un estado hipertrófico, en gran medida por la concentración de nutrientes provenientes de aguas residuales de la planta que lo abastece (Planta de tratamiento El Rosario) cuyo suministro diario es de 6 L s⁻¹ (Oliva *et al.*, 2008).

6.4. Suelos

En el caso del relieve del parque, este es de origen artificial, ya que los montículos de tierra no se encontraban anteriormente y fueron construidos a partir de los materiales de desperdicio proveniente de obras del metro; estos montículos presentan una altura variable que va de los 3 a 7 metros (Villafranco, 2000). Uno de los principales problemas del parque es la erosión presente en una gran cantidad de áreas, por lo que se pueden apreciar las raíces de una gran cantidad de árboles, por último, el pH del suelo es constante y tiene valores que van de los 6.6 a 7.6 (Guzmán *et al.*, 2011).

6.5. Fauna

Además de la avifauna presente en el parque, se encuentra fauna perteneciente a distintos taxones, aunque es necesario recalcar la falta de variedad dentro de cada taxón; en el cuerpo de agua se pueden encontrar cladóceros, Hemípteros (Vellidae), Dípteros, así como Odonatos (Orden Anisóptera). Asociados con la vegetación es posible apreciar insectos de la familia Phyrrocoridae (Orden Lepidóptera), así como quelicerados (Orden Araneidae), sin mencionar una gran variedad de patógenos (hongos) presentes en el arbolado cuya riqueza sobrepasa a las 45 especies (*e.g. Melampsora epitea, Alternaria sp. Phoma glomerata, etc.*) (Villafranco, 2000; Reséndiz *et al.*, 2019).

Por su parte, la riqueza de peces dentro del lago es baja, teniendo registros de carpa (*Cyprinus carpio*) (Ramírez, 2000), sin embargo, se mencionan que el único pez que se encuentra en el lago es el llamado pez “guppy” (*Poecilia reticulata*) (Elías-Fernández *et al.*, 2006; Oliva *et al.*, 2008). Un caso similar se presenta en el caso del Orden Testudines, de las cuales se han registrados géneros como *Pseudemys* y *Kinosternon* (Ramírez, 2000), así como *Trachemys* (Oliva, *et al.*, 2008). Por último, también es posible encontrar una alta densidad poblacional de ardillas (Sciuridae), así como perros (*Canis lupus familiaris*) de forma incidental, ya que está prohibida su entrada.

6.6. Flora

La vegetación del parque está constituida por un total de 30 especies, de las cuales la mitad son nativas, mientras que la otra mitad son introducidas, todas agrupadas en un total de 16 familias; dentro de los árboles la mayoría son perennifolios (67%) y solamente el 33% son caducifolios (Reséndiz *et al.*, 2019). Es necesario mencionar que la vegetación del parque posee en su mayoría problemas con las enfermedades, debido a hongos o entomofauna fitófaga (Guzmán *et al.*, 2011; Reséndiz *et al.*, 2015; Reséndiz *et al.*, 2019).

Dentro de las especies de plantas se encuentran las siguientes: eucalipto (*Eucalyptus globulus*), fresno (*Fraxinus uhdei*), álamo blanco (*Populus alba*), jacaranda (*Jacaranda miosifolia*), durazno (*Prunus persica*), ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), sauce llorón (*Salix babylonica*), colorín (*Erythrina coralloides*), trueno (*Ligustrum lucidum*), pino radiata (*Pinus radiata*), pino insigne (*Pinus radiata var. binata*), cedro (*Cupressus sempervirens*), encino (*Quercus acutifolia*), yuca (*Yucca elephantipes*) (Reséndiz *et al.*, 2019).

7. Materiales y métodos

7.1. Puntos de muestreo

Para este estudio se usó el método de conteo por puntos para aves, debido a que permite medir más variables, como en este caso las fenofases (Nava *et al.*, 2019). Se escogieron un total de 6 puntos de muestreo en el parque (Figura 1), los cuales poseen un radio de 25 metros con una distancia mínima entre ellos de 250 metros; estos fueron seleccionados de acuerdo con las características que exhiben, de tal manera que se pudiera contar con la mayor parte de las características del parque.



Figura 1. Puntos de muestreo. A: característico del lago urbano, B: sobre un montículo y al lado del depósito temporal de basura del parque, C: al lado de los aparatos de ejercicios, así como eucaliptos a la derecha, D: en la parte frontal presenta yuca y agave, E: al lado de los juegos infantiles, F: sobre un montículo, siendo el más cercano a la calle y con árbol de trueno.

Las coordenadas de los puntos son las siguientes: 19°29'53.60"N 99°12'37.60"O, 19°29'58.90"N 99°12'43.80"O, 19°29'53.50"N 99°12'30.00"O, 19°29'59.60"N 99°12'28.70"O, 19°30'2.00"N 99°12'32.10"O, 19°29'57.50"N 99°12'36.30"O (Figura 2).



Figura 2. Mapa del parque Tezozómoc, Azcapotzalco en el que se indican los puntos de muestreo, así como el radio de 25 m.

7.2. Muestreos

Para el caso de los avistamientos, los muestreos se llevaron a cabo los lunes y jueves, que comenzaron desde el mes de febrero del 2021 y finalizaron el mes de noviembre del mismo año; debido a las condiciones sanitarias en las que se encuentra la Ciudad de México no fue posible comenzar los muestreos al amanecer y, su hora de inicio aproximada fueron a las 7:30 a.m. (dependiendo del personal del parque); así mismo, durante el último mes, hubo un cambio en los días de muestreo, cambiando a martes y viernes, esto debido al cambio de administración del parque y el término del permiso de ingreso a éste.

El tiempo de muestreo por punto fue de 10 minutos en cada uno, con un tiempo no mayor a los 10 minutos entre cada uno, siendo un total de 60 minutos de avistamiento. Para apreciar los cambios en la composición de aves en cada punto debido al ciclo circadiano, se intercambiaron los puntos durante cada visita, de tal manera que en la visita 2 se comenzó por el punto 2, y así sucesivamente.

7.3. Identificación de especies

Para la adecuada identificación de aves, se hizo uso de binoculares (Bushnell 10x50), así como guías de campo (CONABIO, 2012, Olmo y Roldán, 2013, Dunn y Alderfer, 2017); además de las guías tradicionales, en caso de ser necesario se hizo uso de la aplicación de identificación de aves “Merlin Bird ID” del Laboratorio de Cornell.

7.4. Listado de especies

En el caso del listado de especies, se procedió a organizar todas las especies registradas durante el muestreo (Anexo II), las cuales fueron organizadas taxonómicamente de acuerdo con la Sociedad Ornitológica Americana (AOS) (Chesser *et al.*, 2021).

7.4.1. Categorías de riesgo NOM-059-SEMARNAT-2010

Junto con el listado taxonómico, se cotejo con el listado de especies en riesgo de la NOM-059-SEMARNAT (2010), para poder identificar las diferentes categorías de riesgo que se presentaron en las aves (Anexo III). Las categorías de riesgo en las que se clasifica este listado son las siguientes:

- Sin categoría (SC)
- Sujetas a protección especial (Pr)
- Amenazadas (A)
- En peligro de extinción (P)

7.4.2. Residencia y endemismo

Por último, en lo que se refiere al listado de aves, estas fueron clasificadas de acuerdo con su residencia y endemismo en México (Anexo III), en este caso obteniendo la información del listado de Aves de México (Berlanga *et al.*, 2020) en el caso de la residencia, se presentaron las categorías siguientes:

- Residente (R)
- Migratoria de invierno (MI)

- Migratoria de verano (MV)
- Transitorio o transeúnte (T)

Mientras que, para el caso del endemismo, las categorías fueron:

- No endémica (ne)
- Exótica (Exo)
- Semiendémica (SE)
- Cuasiendémica (CE)
- Endémica (EN)

7.5. Fenología

Los datos referentes a las observaciones se registraron en un formato (Anexo I) modificado del propuesto por Ralph *et al.* (1996), en el que se incluyen las fenofases propuestas para aves de Denny *et al.* (2014). Las fenofases registradas fueron las siguientes: Individuos activos, alimentándose, consumo de frutas o semillas, consumo de insectos, visita de flores, recolección de bellotas, cantos o llamados, machos cantando, posición de pareja, construcción de nidos y organismos muertos. De acuerdo con los autores, las fenofases se definen como las fases presentes en los ciclos anuales de los organismos que se caracterizan por poseer un inicio y un final. Hay que mencionar que de acuerdo con la clasificación de Denny *et al.* (2014), una gran parte de estas fases se encuentra restringida a ciertos grupos de aves (aves en general, aves de playa, aves cantoras y colibríes), por lo que las fenofases únicas de cada grupo serán registradas solo para el grupo en cuestión, de tal manera que la comparación de fenofases se realizará con las fenofases comunes entre grupos.

7.6. Análisis de datos

Posterior a la obtención de los datos en las hojas de registros antes mencionadas, se procedió a digitalizar los mismos en bases de datos en el programa de Excel. Las bases de datos se guardaron como archivos de “valores separados por comas” (“.csv”) para su posterior lectura y análisis en el programa de R (ver. R 4.1.2).

7.6.1. Series de tiempo

Una vez que los datos se ordenaron, se crearon series de tiempo a través del uso de la abundancia de organismos por especie a lo largo de cada punto; así mismo, se crearon series de tiempo para cada una de las fenofases de acuerdo con la intensidad de las especies que exhibían tal fase.

Debido a que la obtención de los datos no es un proceso continuo fue necesario hacer uso de la transformada de Wavelet; esta herramienta matemática permite suavizar las señales no estacionarias, pues a diferencia de su precursora la transformada de Fourier, permite escalar una señal madre en un análisis de multiresolución, de tal manera que puede obtener la mayor cantidad de información de señales que pudieran presentar ruido o por la pérdida de detalle debido a las fluctuaciones de datos (Castro y Castro, 1995; Horgan, 1999; Mannelli *et al.*, 2021).

7.6.2. Diversidad fenológica

La diversidad fenológica se calculó a partir de un análisis de diversidad propuesto por Sánchez-Ochoa *et al.* (En revisión), tomando como base los expuestos por Chao *et al.* (2014) para las diferentes facetas de la biodiversidad; llevándose a cabo en el programa de Rstudio. La diversidad fenológica principal fue medida punto por punto a partir de los datos de abundancia que fueron modificados por la transformada de Wavelet para su suavizado; así mismo, se hizo un procedimiento similar para cada fenofase tomando en este caso la intensidad de cada especie expresada; debido a que las entidades utilizadas para este análisis serán las curvas fenológicas, las unidades obtenidas serán curvas fenológicas efectivas.

Al igual que en el análisis de número efectivo de especies, se hará uso del orden “ q ” para considerar la sensibilidad de la abundancia en los valores del índice. Se tomarán 3 diferentes valores de q , siendo $q=0$ (no toma en cuenta la abundancia de especies), $q=1$ (todas las especies incluidas con el mismo peso de abundancia) y $q=2$ (mayor peso a especies comunes), para obtener el número de curvas fenológicas efectivas (Chao *et al.*, 2014).

Sánchez-Ochoa *et al.* (En revisión) tomó en cuenta que cada especie tiene curvas fenológicas específicas, siendo que la distancia entre curvas permite medir el nivel de superposición entre pares de curvas fenológicas. Siendo que O_{ij} es la distancia de superposición de pares entre curvas fenológicas de las especies i y j , definido como:

$$o_{ij} = 1 - \frac{2 \int z_i(t)z_j(t)dt}{\int z_i(t)^2 dt + \int z_j(t)^2 dt} \quad \text{Eq.2}$$

Donde z_i y z_j son las curvas fenológicas continuas-en el tiempo suavizadas de las especies i y j respectivamente, mientras que la integral es calculada sobre el intervalo del tiempo de estudio. O_{ij} tiene un rango $[0,1]$, con $O_{ij} = 1$ cuando las curvas están completamente superpuestas, y $O_{ij} = 0$ cuando no se muestra una superposición entre ellas. Siendo que el objetivo propuesto por Sánchez-Ochoa *et al.* es medir la distancia de superposición para poder medir la diversidad fenológica.

El cálculo de la diversidad fenológica (PD), fue dado a partir de las ecuaciones siguientes:

$$Q = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S O_{ij} p_i p_j, \quad \text{Eq.3}$$

Donde Q es la suma de la superposición relativa de las curvas fenológicas y O_{ij} es calculada a partir de Eq.2, mientras que p_i es la intensidad relativa o la abundancia del evento fenológico medido en la especie i definida como:

$$p_i = \frac{\int z_i(t)dt}{\sum_{j=1}^S \int z_j(t)dt}. \quad \text{Eq.4}$$

Por último, el promedio de la diversidad fenológica de orden q , qPD se calcula como:

$${}^qPD = \left[\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S o_{ij} \left(\frac{p_i p_j}{Q} \right)^q \right]^{\frac{1}{2*(1-q)}} * Q. \quad \text{Eq.5}$$

Dado que cuando $q = 1$ el exponente $\frac{1}{2*(1-q)}$ es indefinido, se decidió el mismo acercamiento.

8. Resultados

8.1. Riqueza de especies

Se registraron 73 especies, distribuidas en 56 géneros, 27 familias y 11 órdenes. La familia con mayor número de representantes en el parque fue la Parulidae con un total de ocho especies, seguida de Tyrannidae y Cardinalidae con seis especies cada uno, posteriormente con cinco especies se encuentran las familias Anatidae e Icteridae; Columbidae, Psittacidae con cuatro, Trochilidae, Accipitridae, Vireonidae y Passerellidae cada una con tres representantes; Ardeidae, Picidae, Troglodytidae, Mimidae, Turdidae y Fringilidae con sólo dos especies, por último, las familias Podicipedidae, Rallidae, Scolopacidae, Hirundinidae, Aegithalidae, Bombycillidae, Ptiliognatidae, Polioptilidae, Sturnidae y Passeridae únicamente contaban con una especie (Figura 3).

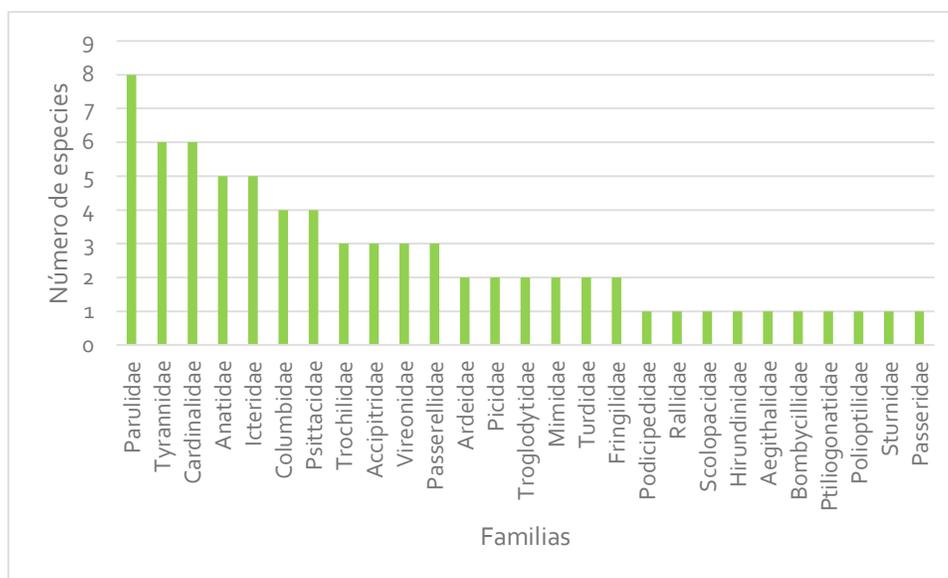


Figura 3. Riqueza específica por Familia de aves.

El Orden con mayor diversidad de especies fueron los Paseriformes (Figura 4) , con un total de 46 especies, lo cual contrasta con los demás ordenes, pues en segundo lugar se encuentra el Orden de los Anseriformes con cinco especies, Columbiformes y Psittaciformes con cuatro, Apodiformes y Accipitriformes con tres, Pelecaniformes y Piciformes dos, y por último Podicipediformes, Gruiformes y

Charadriiformes con sólo una especie; de tal manera que los Passeriformes tenían más especies que las de los demás ordenes juntos.

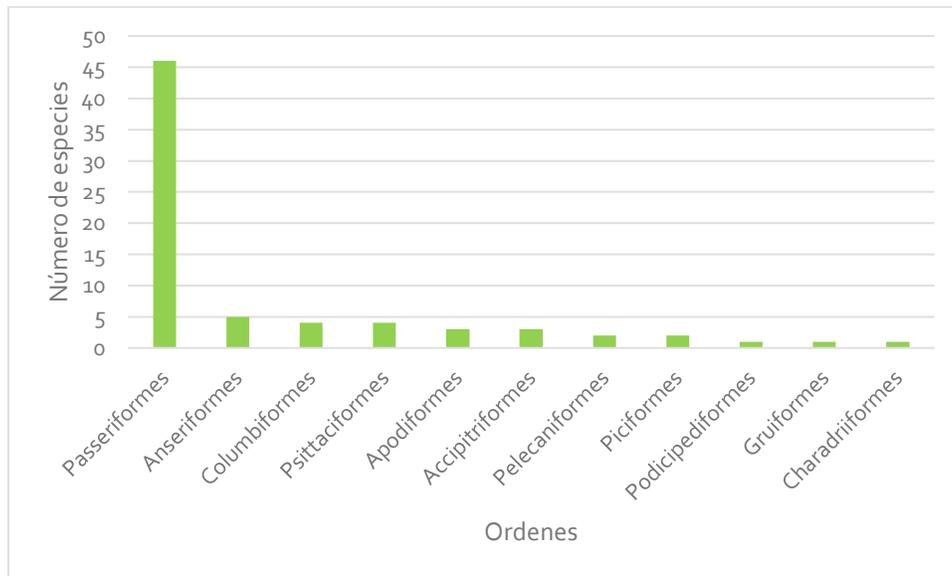


Figura 4. Riqueza específica por Ordenes de aves.

Continuando con la riqueza específica de aves del parque, se midió la riqueza por cada punto de muestreo (Figura 5); en este caso se puede observar que si bien existen diferencias entre los puntos de muestreo estas son poco apreciables, sin embargo, si es posible identificar los puntos más ricos en especies, siendo el primero de ellos el punto A con un total de 48 especies, posteriormente el punto D con 46 especies, el punto B con 42, punto C con 38, F con 37 y por último el punto E como el que menos especies exhibió con un total de 33 especies.

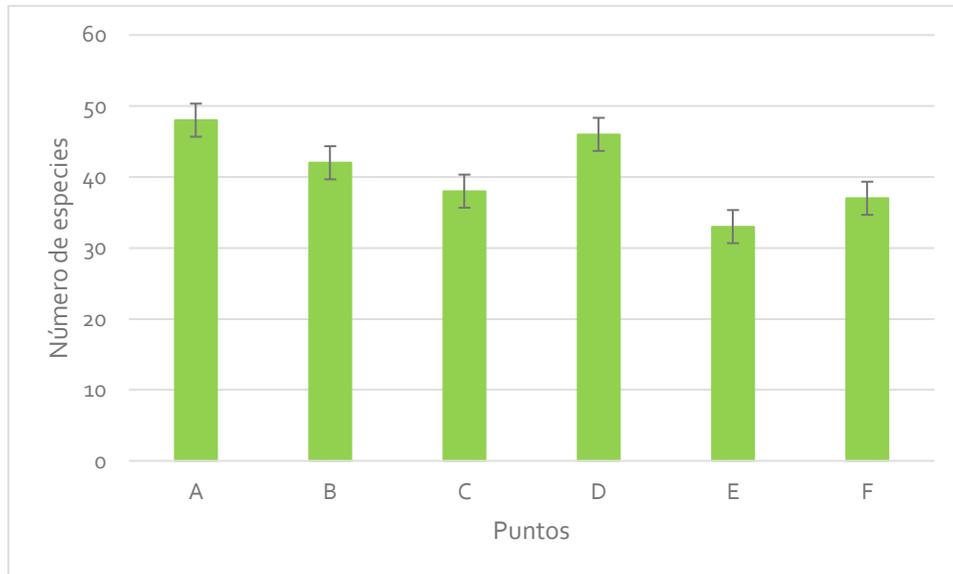


Figura 5. Riqueza de especies por punto de muestreo.

8.2. Residencia, categorías de riesgo y endemismo

8.2.1. Residencia

Cuando hablamos de la residencia de las especies presentes en el estudio, tenemos un total de 4 categorías distintas, las cuales son: residente (R), migratoria de verano (MV), migratoria de invierno (MI) y transitorio o transeúntes (T); en el caso específico de la residencia de las especies es posible que estas presenten más de una categoría en el país dependiendo de la localización en la que se revise, sin embargo, los resultados mostrados a continuación corresponden a todas las categorías de cada especie para el país.

Tal como se puede observar en la Figura 6, más de 50 especies son residentes en el país, posteriormente tenemos a las MI, en este caso representadas por 41 especies, un número bastante alto y cercano a R; a su vez tenemos las especies MV que solamente son nueve especies, entre las que se encuentran las especies del género *Icterus*; por último, se encuentran las especies transitorias con solo dos representantes, las cuales son *Hirundo rustica* y *Troglodytes aedon*, sin embargo, es necesario mencionar que estas especies también están registradas como residentes y migratorias, por lo que depende de la zona de muestreo.

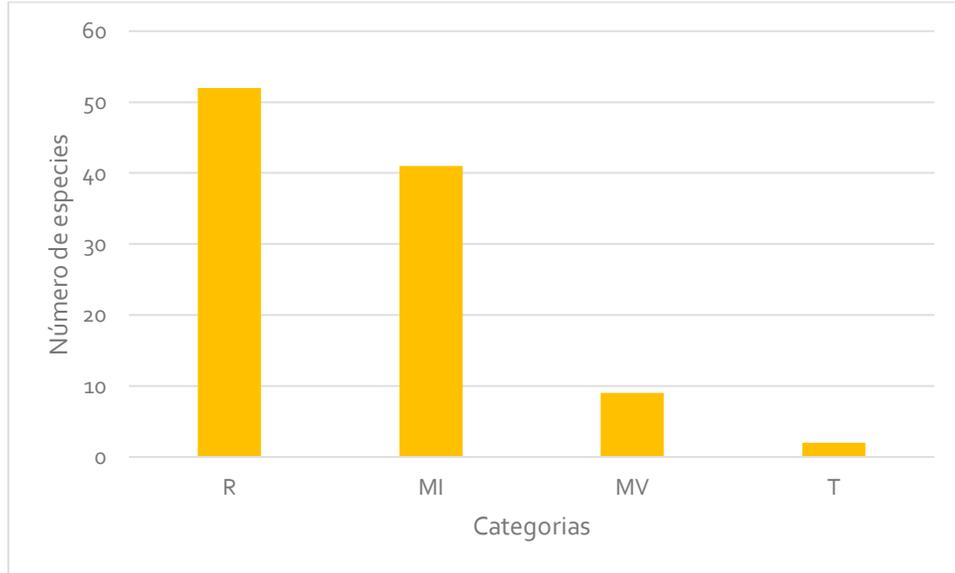


Figura 6. Residencia de la avifauna presente. R: especies residentes, MI: migratorias de invierno, MV: migratorias de verano, T: transitorias.

8.2.2. Categorías de riesgo.

De las 73 especies presentes, 62 de ellas no se encuentran en ninguna categoría de protección. Posteriormente, tres se encuentran catalogadas bajo protección especial (*A. striatus*, *A. cooperii* y *Parabuteo unicinctus*), dos especies amenazadas (*Anas diazi* y *Amazona autumnalis*). Por último *A. viridigenalis* y *A. oratrix* están catalogadas en peligro de extinción (Ver Figura 7).

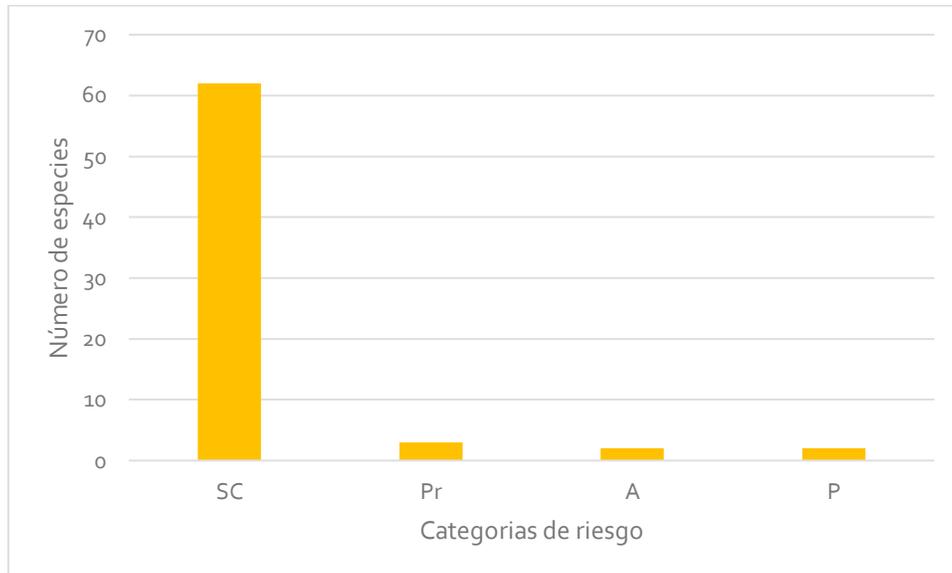


Figura 7. Categorías de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010. SC: sin categoría, Pr: protección especial, A: amenazadas, P: peligro de extinción.

8.2.3. Endemismo

Se encontraron 54 especies no endémicas (Figura 8), cinco semiendémicas (*Lampornis clemenciae*, *Tyrannus vociferans*, *Icterus cucullatus*, *I. bullockii* y *Pheucticus melanocephalus*), cinco especies exóticas (*Anas platyrhynchos domesticus*, *Streptopelia decaocto*, *Myiopsitta monachus*, *Sturnus vulgaris* y *Passer domesticus*), tres cuasiendémicas (*Amazona viridigenalis*, *Amazona oratrix* y *Ptiliogonys cinereus*) y dos endémicas (*Turdus rufopalliatu*s y *Rhodothraupis celaeno*).

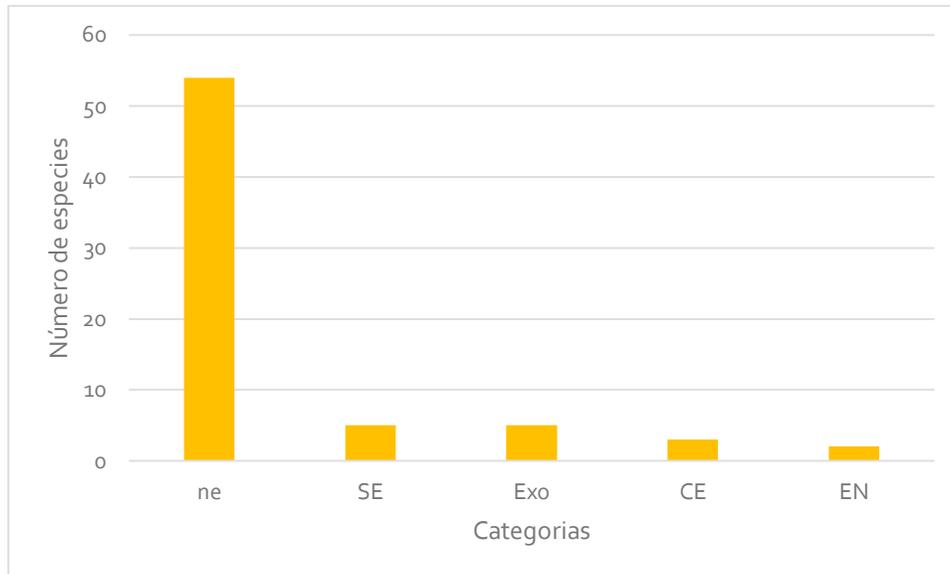


Figura 8. Endemismo de la avifauna presente. ne: no endémica, SE: semiendémica, Exo: exótica, CE: cuasiendémica, EN: endémica.

8.3. Diversidad fenológica por puntos

En el caso de la diversidad fenológica, estos se compararon entre cada uno de los puntos (Figura 9), dentro de ellos es posible apreciar que el punto D presentó el valor más alto de número efectivo de curvas fenológicas (35.45) cuando no se toma en cuenta la abundancia de las especies ($q=0$), posteriormente se encuentra el punto A con 35.12 curvas fenológicas efectivas (C.F.E.), después está B con 32.21 C.F.E., el punto C exhibiendo 29.03 C.F.E., punto F con 27.49 C.F.E., finalizando con el punto E, el cual presentó solamente 24.56 C.F.E.

Un punto para tomar en cuenta es que dependiendo del valor de “q” los valores de la diversidad fenológica se ven modificados, en todos los casos disminuyendo; sin embargo, la diferencia de valores es más amplia cuando el valor $q=0$ pasa a ser $q=1$, es decir, tomando en cuenta la abundancia de las especies. Podemos observar que el patrón presente entre los puntos difiere al pasado, no obstante, el punto D mostró los valores más altos nuevamente 13.65 C.F.E., a diferencia de los demás puntos que manifestaron un orden diferente, siendo el punto C el siguiente con 13.12 C.F.E., posteriormente el punto B con 11.80 C.F.E.; el punto F presentando 9.58 C.F.E.; el punto E en este caso no tuvo el menor valor, siendo

de 9.53 C.F.E.; mientras que el punto A que anteriormente fue el segundo valor más alto, esta vez fue el valor más bajo solamente con 8.20 C.F.E.

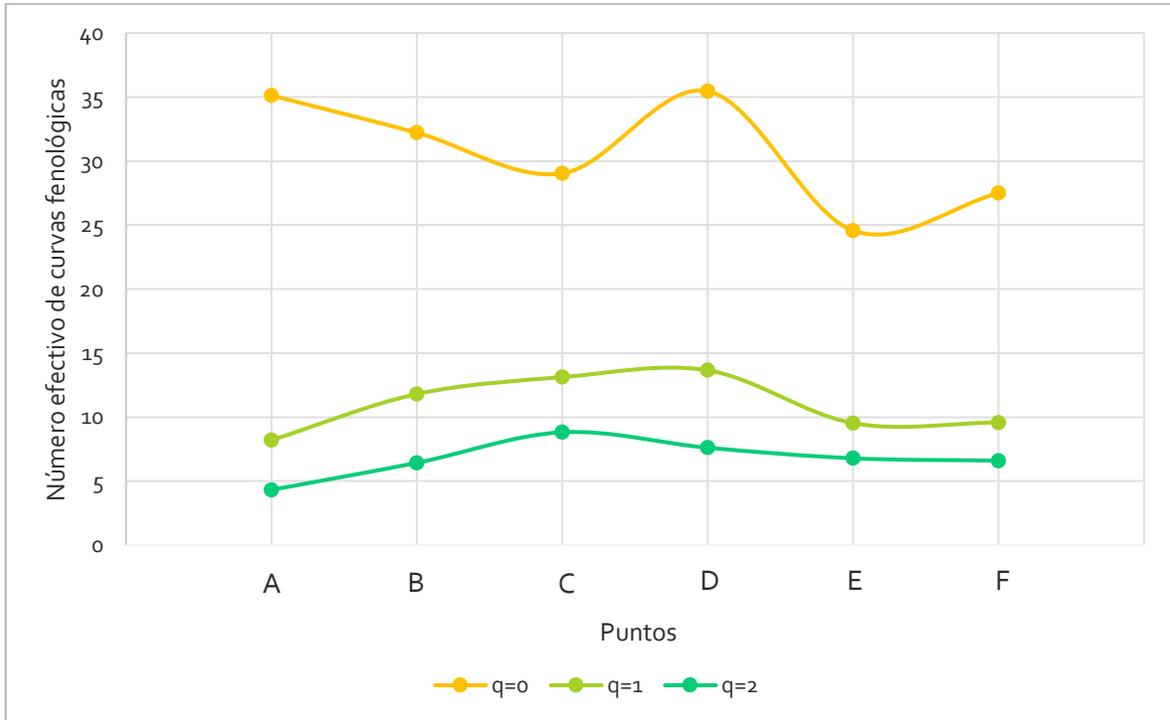


Figura 9. Diversidad fenológica por punto de muestreo

Al mismo tiempo podemos ver que cuando el valor $q=2$ los valores de diversidad manifiestan una disminución, sin embargo, en este caso menos considerable, el patrón de la gráfica es modificado nuevamente, desplazando el valor más alto hacia el punto C con 8.82 C.F.E., posteriormente D 7.61 C.F.E., después el punto E presentando 6.78 C.F.E., el punto F con 6.60 y los puntos B 6.43 C.F.E. y A con 4.31 C.F.E.

Además de los patrones de mayor diversidad presentes en cada punto, es muy interesante observar la distancia entre puntos debido al cambio de valores de “q”, pues como se mencionó este modificó la forma de las gráficas, un ejemplo es el punto A, el cual fue el segundo punto más diverso cuando no se toman en cuenta las abundancias ($q=0$), sin embargo, en los datos posteriores sus valores disminuyeron enormemente teniendo la mayor disminución de más de 26 en el valor de diversidad, sin embargo, cuando $q=2$ la diferencia entre los valores de este punto

fue menor incluso que en otros puntos como C; por otra parte, tenemos el punto E, que tuvo el patrón opuesto, ya que aun teniendo valores de diversidad bajos en primera instancia, los valores de diferencia entre cada una de las líneas de “q” son los menores, es decir, aún cuando la abundancia puede afectar la diversidad del punto E, es en éste donde tuvo menor influencia.

Resumiendo, la diversidad de especies cuando no se toma la abundancia presenta el mismo patrón que la riqueza específica por puntos, lo cual tiene sentido al considerar que $q=0$ no toma en cuenta la abundancia de las especies, solamente las especies, sin embargo, al momento de tomar en cuenta la abundancia, los valores se ven modificados considerablemente cambiando el patrón de la diversidad hacia puntos que anteriormente no presentaban valores tan altos, además de lo anterior, es preciso mencionar que la distancia entre puntos debido al cambio del valor de “q” es de gran importancia, pues refleja la importancia de la abundancia en la diversidad de cada uno de los puntos, lo que nos ayuda a inferir la igualdad en la abundancia de las especies presentes, así como el número de especies raras concurrentes en cada punto.

Respecto a la diversidad fenológica por puntos, el punto A (Figura 10) presentó dos grandes curvas que sobresalen de las demás especies, *Anas diazi* (naranja) y *Quiscalus mexicanus* (azul). *A. diazi*, presenta una mayor intensidad durante los primeros meses, pero con una caída posterior, que volvería a aumentar después del muestreo 60. Durante la caída de *A. diazi*, *Q. mexicanus* fue la especie que aumento en intensidad. Por último, cuando fue la disminución de *Q. mexicanus* y el aumento de *A. diazi*, *Anas platyrhynchos domesticus* (naranja claro) tuvo un aumento pequeño.

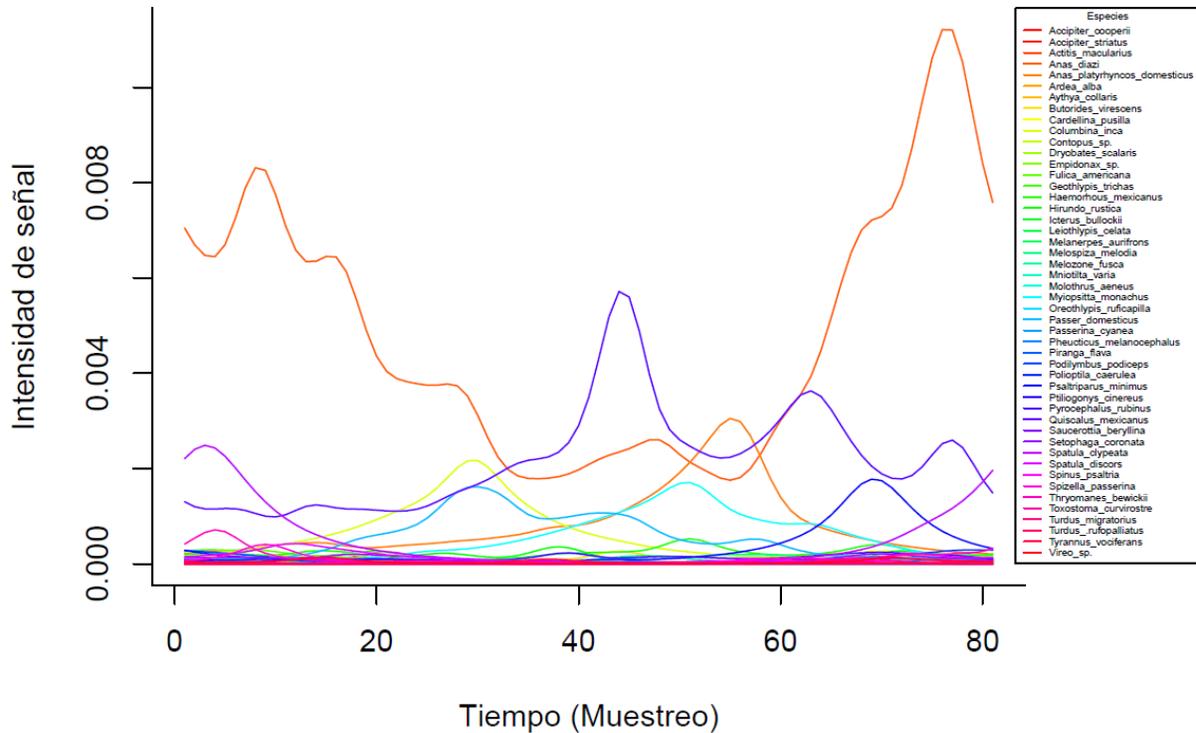


Figura 10. Curvas fenológicas efectivas del punto A por especie.

Posteriormente, se encuentra el punto B, el cual es el tercer punto con mayor cantidad de especies (Figura 5); podemos apreciar que el existe una mayor cantidad de curvas fenológicas cuyo valor en intensidad permite que sean apreciables (Figura 11). En este caso, la intensidad alcanzada en los puntos máximos es menor en el punto A. Asimismo es posible apreciar 4 curvas fenológicas sobresaliente, que al igual que en el punto A en su mayoría presentan su punto álgido cuando otra de las curvas presenta sus menores valores; *Columbina inca* (naranja claro) comienza a aumentar para posteriormente generar una caída y un segundo aumento, justo debajo de esta especie en su primer pico se encuentra *Haemorrhous mexicanus* (verde) que exhibe el pico muy cercano a *C. inca*, sin embargo, solamente un valor máximo.

Posterior a la caída del primer pico de *C. inca*, *Setophaga coronata* (púrpura) tiene un único aumento de intensidad; a pesar de la intensidad expuesta por estas especies, la que presentó los valores más altos fue *Quiscalus mexicanus* (azul) cuyo comportamiento es irregular, ya que comienza a subir en gran medida encontrando

su mayor intensidad cerca de la visita 30, sin embargo, desde ese momento existen altibajos en la intensidad de esta especie. Además de estas especies, *Passer domesticus* (azul claro) tuvo un comportamiento similar a *Q. mexicanus*, pero de menor intensidad.

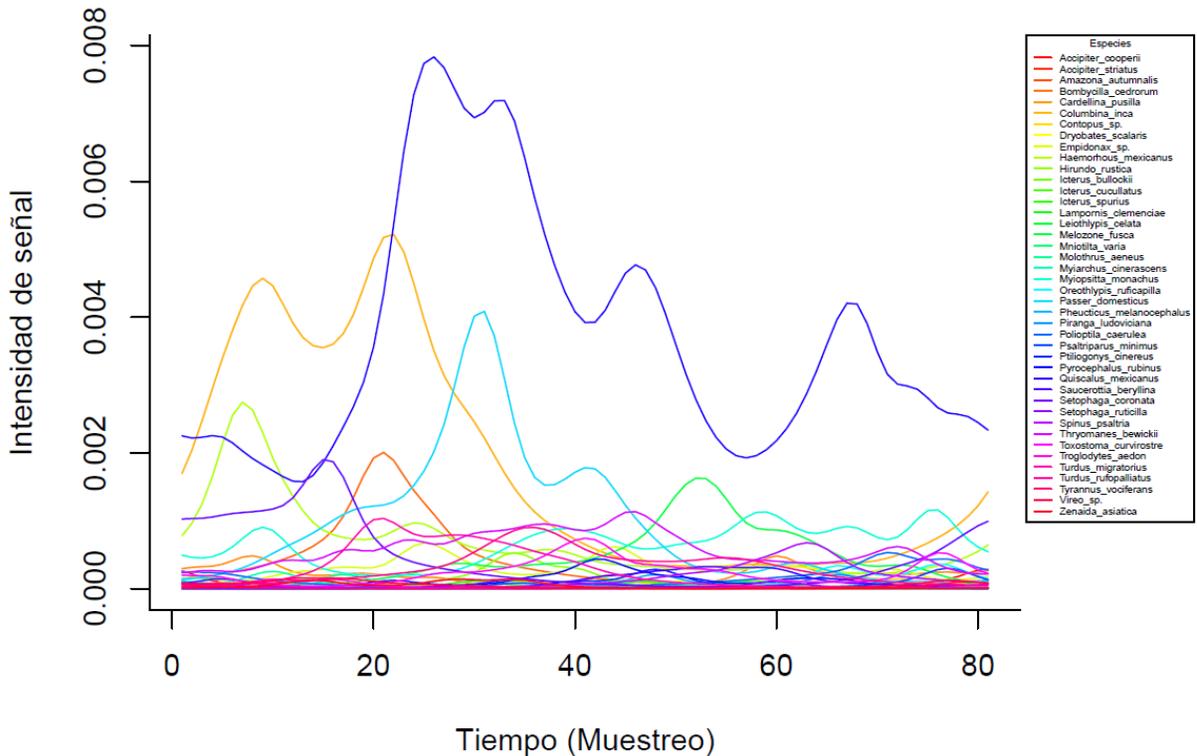


Figura 11. Curvas fenológicas efectivas del punto B por especie.

Prosiguiendo con el punto C, este presenta uno de los comportamientos más complejos, pues se pueden apreciar más de 10 curvas fenológicas de gran intensidad, sin embargo, al igual que en punto B, la intensidad máxima presente en el punto sigue siendo menor a las del punto A; lo cual corresponde a la Figura 9, pues el punto tiene su valor más alto en cuanto a diversidad fenológica con $q=0$, sin embargo sus valores disminuyen en gran medida al tomar en cuenta la abundancia, mientras que el punto C se vuelve uno de los más diversos en cuanto al número de C.F.E. tal y como se puede apreciar en la Figura 12.

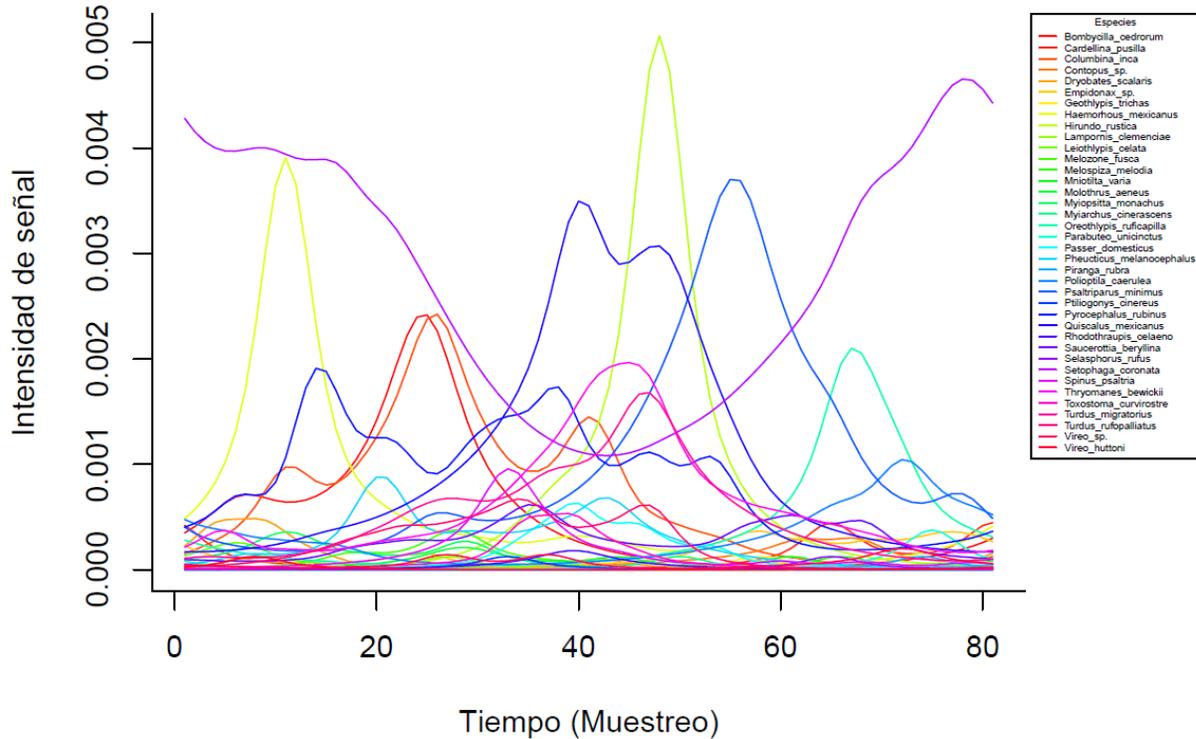


Figura 12. Curvas fenológicas efectivas del punto C por especie.

Para comenzar a analizar el punto C se puede apreciar un gran pico al iniciar los muestreos correspondientes a *H. mexicanus* (verde olivo), al mismo tiempo que esta especie tiene su mayor intensidad, *Setophaga coronata* (morado) comienza a disminuir generando un gran valle, pues en las últimas visitas, su valor aumenta nuevamente; de hecho, es durante este valle que una gran parte de curvas fenológicas se muestran; justo después del pico de *H. mexicanus* se pueden apreciar dos grandes curvas con un desfase corto, la primera de *Bombycilla cedrorum* (rojo) y la segunda de *Columbina inca* (naranja); una vez estas curvas disminuyeron, se erigen tres grandes curvas, la primera de ellas con dos picos *Q. mexicanus* (azul), posteriormente una campana delgada justo en el segundo pico de *Q. mexicanus*, esta curva es de *Hirundo rustica* (verde), de hecho, siendo el punto más alto de intensidad en toda la gráfica; una vez que esta comienza a disminuir se vislumbra una curva con una mayor amplitud representando a *Psaltriparus minimus* (azul); por último, al mismo tiempo vuelve a crecer la intensidad de *H. mexicanus* se puede apreciar una curva perteneciente a *Oreothlypis*

ruficapilla (verde aqua), la cual se mantiene como una de las pocas con intensidad para diferenciarse al final del muestreo.

Posteriormente tenemos el punto D (Figura 13), podemos apreciar nuevamente una disminución en el número de curvas fenológicas efectivas de gran intensidad, sin embargo, en este caso el valor máximo de intensidad es comparable con el presente en el punto B; así mismo, es posible apreciar en primera instancia una inclinación hacia los extremos por parte de una sola especie y más de una curva en la parte central; la curva de color azul que comienza con una intensidad apreciable para posteriormente tener valores bajos durante la mayor parte del muestreo y volver a subir cerca de la visita 70 corresponde a *Psaltriparus minimus*; es justo cerca a día 10 que se puede ver el aumento de *Haemorhous mexicanus* (verde) que presenta un comportamiento alargado, es decir, un aumento progresivo, un mantenimiento, un aumento nuevamente y posteriormente una disminución, sin embargo, esto durante todo el ciclo; así mismo, durante el primer pico de intensidad de *H. mexicanus*, es posible ver otro pico que subyace debajo, en este caso de *Columbina inca* (anaranjado) y que posteriormente disminuiría casi por completo; una vez que *H. mexicanus* presentó un mantenimiento en su valor de intensidad es posible observar el crecimiento de *Passer domesticus* (azul claro) y que consecuentemente disminuyó ampliamente, de hecho, justo debajo de esta curva existe otra de color azul con una intensidad que se mantiene durante más de 10 días y que pertenece a *Quiscalus mexicanus*.

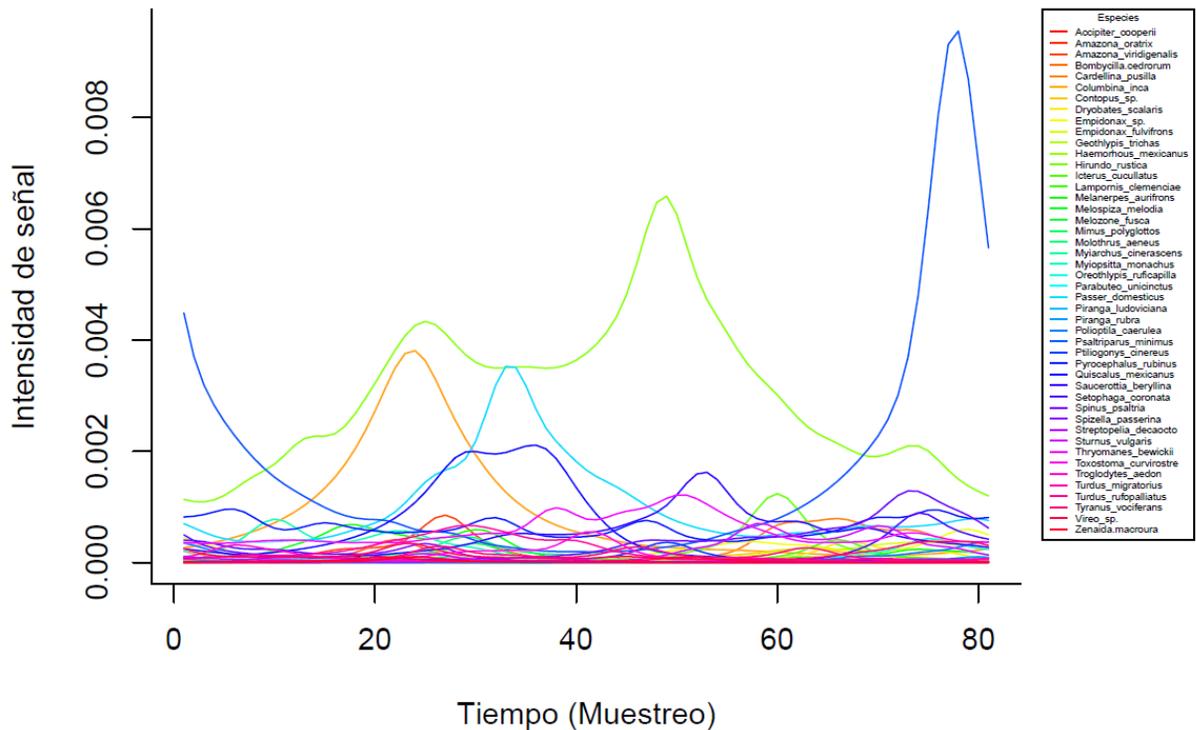


Figura 13. Curvas fenológicas efectivas del punto D por especie.

Ahora bien, cuando hablamos del punto E (Figura 14) el número de curvas aumenta de nuevo, esta vez, con una mayor inclinación hacia los extremos, a diferencia del punto C que exhibió un mayor número en la parte central de la gráfica. Primeramente, podemos apreciar la curva de *C. inca* (naranja) que comienza a descender durante las primeras visitas encontrando sus valores mínimos cerca de la mitad del muestreo, pero que posterior a la visita número 60 su valor comienza a aumentar exponencialmente encontrando incluso su intensidad más importante; mientras comienza la disminución de *C. inca*, comienza el aumento de tres curvas importantes, la primera de ellas de color azul claro (*P. domesticus*) cuyo valor máximo se encuentra cerca del día 10 y que posteriormente disminuiría poco a poco encontrando un segundo pico entre las visitas 50 y 60; casi al mismo tiempo en que *P. domesticus* aumenta, *Spizella passerina* (morado) incrementa igualmente, pero con una menor intensidad y que en fechas posteriores no volvería a ser tan notoria, es durante el segundo pico de *S. passerina* que una línea roja comienza a aumentar generando una campana y que corresponde a *Bombycilla cedrorum*; así, en el momento en el que mayor parte de las curvas antes mencionadas comienzan a

disminuir cerca del día 30 cuando *H. mexicanus* (verde) tiene su punto álgido y que con el tiempo tendría una variación continua, de hecho, cerca de la visita 40 al tiempo en que sus valores bajan, la línea correspondiente a *Q. mexicanus* (azul) aumenta considerablemente en intensidad con una gran amplitud de más de 20 días teniendo su caída posterior al muestreo 60 donde nuevamente *C. inca* incrementa y justo debajo de ella una pequeña curva color azul de *Psaltriparus minimus*.

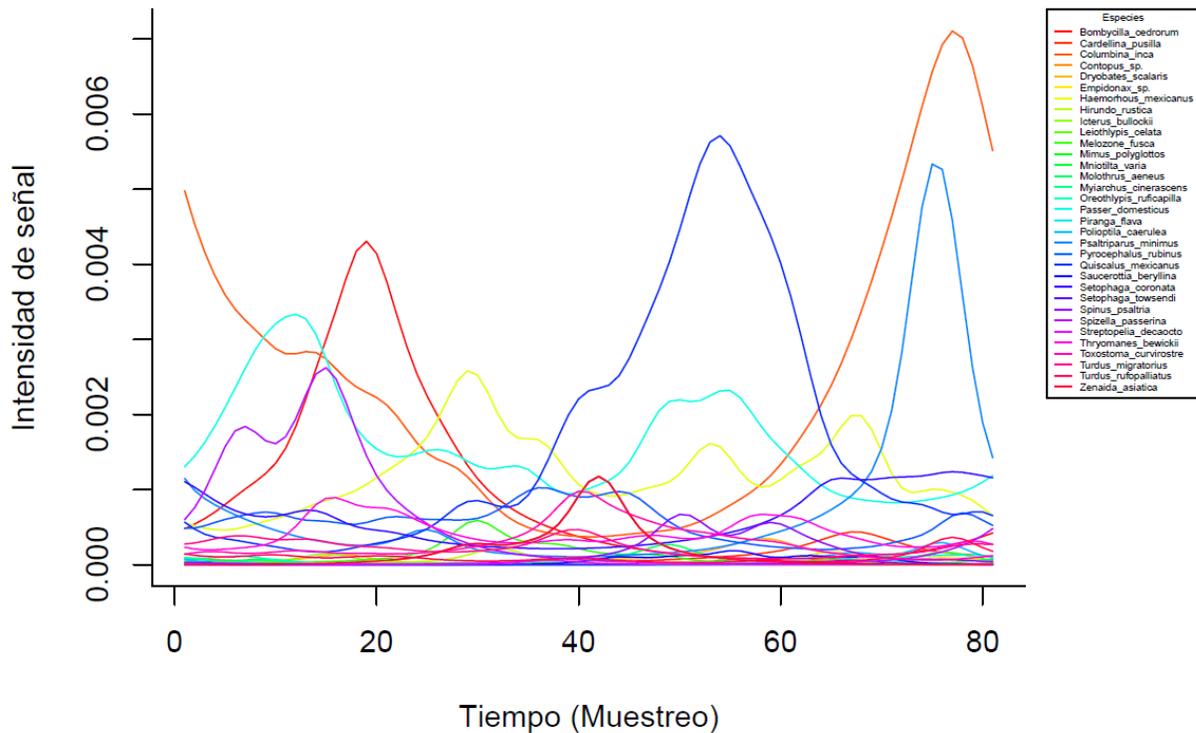


Figura 14. Curvas fenológicas efectivas del punto E por especie.

Por último, se encuentra el punto F (Figura 15), lo primero que podemos observar de esta gráfica es una proclividad hacia los primeros días de muestreo, es decir, hacia el lado izquierdo de la gráfica, lo cual se puede apreciar debido a que las curvas de mayor intensidad se localizan en esta parte, sin embargo, durante los últimos días también es posible ver múltiples líneas, aunque en este caso con una intensidad menor. Algo muy notorio es que las líneas de mayor intensidad parecen tener un desfase en su presencia, ya que podemos ver a *B. cedrorum* de línea roja con el punto más alto y que volvería a aumentar al final del muestreo; posterior a ella se encuentra la de color morado perteneciente a *S. passerina* y que en este

caso no tendría valores altos nuevamente; a su vez la línea naranja con un comportamiento muy similar, pero con un mantenimiento en la mitad del muestreo que carecía *S. passerina*; una vez que estas grandes curvas decrecen cerca de la visita 30 es que se puede vislumbrar la presencia de otras especies; la primera de ellas *H. mexicanus* (verde pasto), así como dos líneas de color azul, la que presenta mayor intensidad en el día 60 *Q. mexicanus* y *P. domesticus* (aqua) muy cercana a *C. inca*; tal y como mencioné cerca del muestreo 80 los valores de la mayor parte de las especies se encuentran en su mínimo, sin embargo, con una tendencia a subir nuevamente en la visita 80.

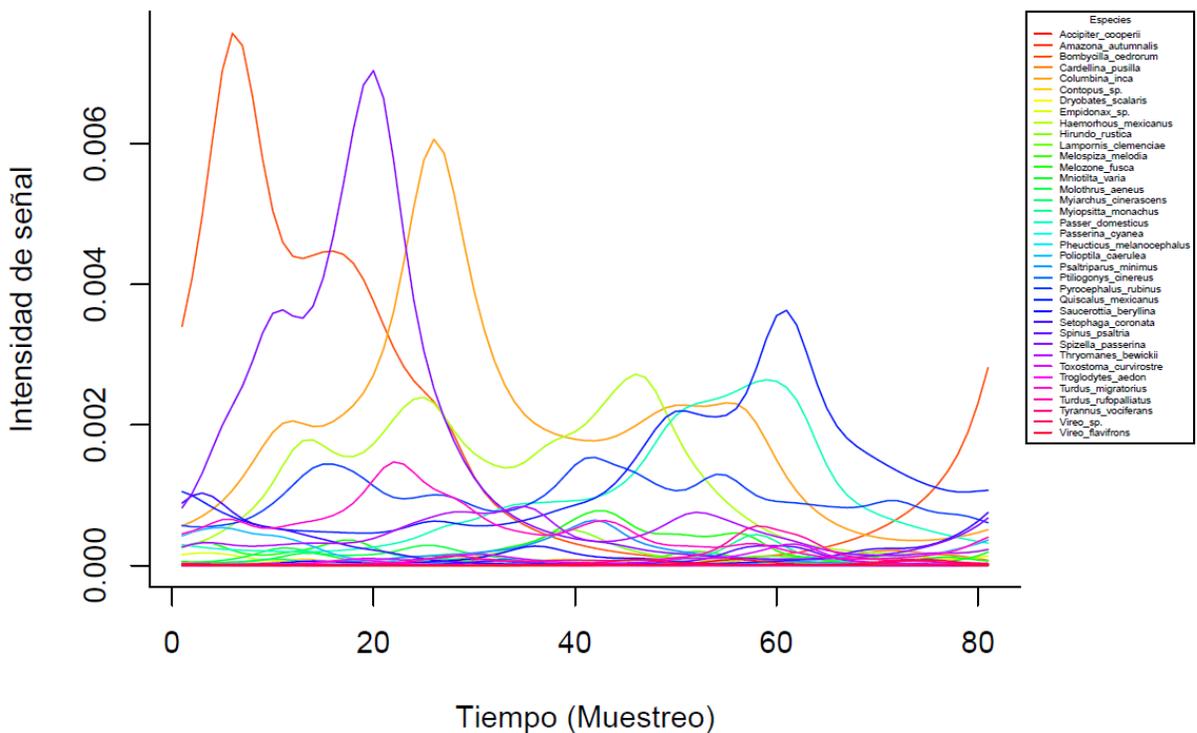


Figura 15. Curvas fenológicas efectivas del punto F por especie.

8.4. Diversidad fenológica por fenofases.

Comenzando ahora con la fenología de las especies, lo primero que se procedió a obtener fue el número de especies que exhibió cada una de las fenofases (Figura 16). Para aves existen restricciones de taxones para una parte de ellas, sin embargo, es necesario mencionar que en más de una ocasión durante el muestreo se pudieron apreciar irregularidades con tales restricciones. Lo primero que se

puede observar es que la fenofase de individuo activo (IA) tuvo mayor número de especies un total de 66, posteriormente se encuentra alimentándose (AL) con 42 especies, 41 especies para cantos o llamados (CL), consumo de frutas o semillas (CFS) con 22 especies, lo que significó una gran reducción en comparación a las fenofases anteriores; a su vez se encuentra consumo de insectos (CI) con 16 especies, machos cantando (MC) siete especies, visita de flores (VF) seis especies, organismos construyendo nido (N) cinco especies, posición de pareja (P) cuatro especies, organismos muertos (D) solamente dos especies y por último recolección de bellotas (RB) que no exhibió ninguna especie.

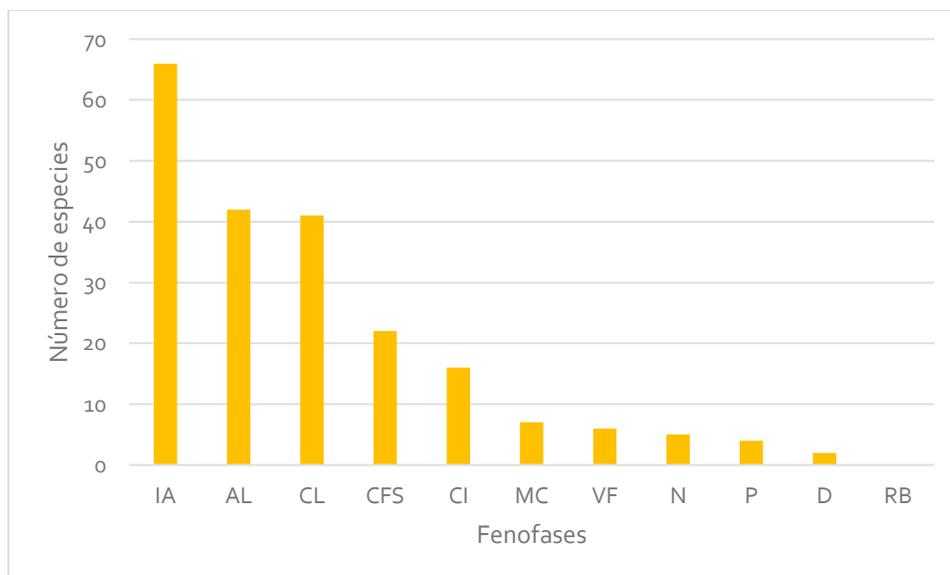


Figura 16. Número de especies presentes en cada fenofase. IA: individuo activo, AL: alimentándose, CL: cantos o llamados, CFS: consumo de frutos o semillas, CI: consumo de insectos, MC: machos cantando, VF: visita de flores, N: organismos construyendo nido, P: posición de pareja, D: organismos muertos, RB: recolección de bellotas.

Continuando, podemos apreciar el valor en cada una de las fenofases de acuerdo con el diferente valor de “q” (Figura 17). Al igual que en el caso de los puntos de muestreo, una gran parte de las fenofases presenta una disminución en cuanto al número de curvas fenológicas efectivas a medida que el valor de “q” aumenta, siendo más evidente en aquellas fenofases con mayor número de

especies representadas, como es el caso de IA, AL y CFS; además, es posible apreciar en este caso que es posible que el valor de C.F.E. se mantenga en los diferentes valores de “q”, esto cuando se presentan pocas especies, pues fue en D cuando los valores fueron iguales, mientras que P posee valores muy cercanos entre sí, comparando con la Figura 16 estas fenofases son las que exhibieron menor número de especies; de tal manera que entre mayor número de especies se expresen en cada fenofase la diferencia entre $q=0$ y $q=1$ será mayor, mientras que entre menos especies la desigualdad será menor.

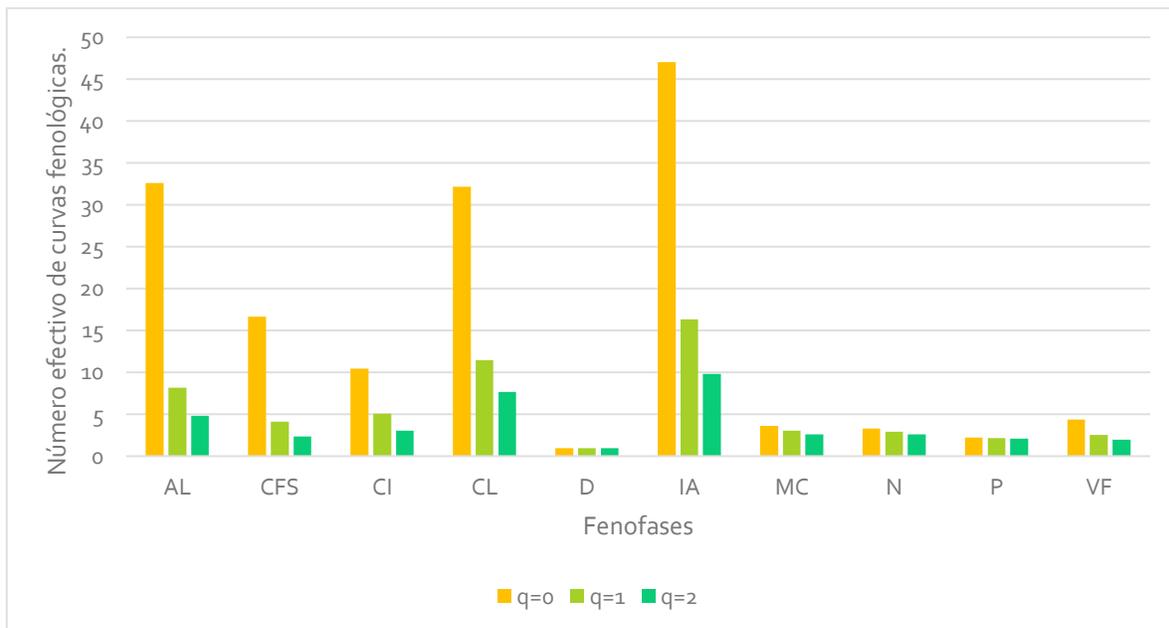


Figura 17. Diversidad fenológica por fenofases. AL: alimentándose, CFS: consumo de frutas o semillas, CI: consumo de insectos, CL: cantos o llamados, D: organismos muertos, IA: individuo activo, MC: machos cantando, N: organismos construyendo nido, P: posición de pareja, VF: visita de flores.

Ahora bien, cuando observamos los valores obtenidos entre “q” podemos identificar el patrón de mayor a menor cuando $q=0$ resultando el orden siguiente: IA,AL,CL,CFS,CI,VF,MC,N,P y D; por su parte cuando se toma en cuenta la abundancia de las especies, el orden se ve modificado: IA,CL,AL,CI,CFS,MC,N,VF,P y D; por último, cuando el valor de la abundancia posee mayor influencia el acomodo es: IA,CL,AL,CI,N,MC,CFS,P,VF y D; tal como

se puede ver, existe variación en cada uno de los diferentes análisis, pero también es posible reconocer patrones que se repiten en cada uno de ellos, uno de ellos es que las fenofases IA, CL y AL presentan el valor más alto de C.F.E. para cada valor de “q”; así mismo, ocurre con D que en todas las ocasiones es la fenofase con el menor valor, y es que tal como se mencionó, esta no manifestó cambios en los tres cálculos.

Prosiguiendo con cada una de las gráficas de fenofase, se encuentra organismos alimentándose (AL), la cual constituye una de las más complejas debido a sus altos valores de curvas fenológicas efectivas, esto se puede ver representado en la Figura 18, donde podemos apreciar una gran cantidad de curvas fenológicas heterogéneas entre sí; la primera de ellas y más importante es la de *C. inca* (color amarillo), que comienza con un crecimiento continuo durante más de 20 visitas, para posteriormente encontrar una caída y un consecuente aumento cerca del final del muestreo; también es posible apreciar a *H. mexicanus* de color verde cuyo pico de máxima intensidad está debajo de *C. inca*, pero con valores más bajos, además de presentar su segundo aumento cerca de la visita 50, así mismo, con un comportamiento similar en el inicio de las visitas está *S. passerina* que posteriormente disminuiría a valores mínimos.

Otra especie importante es *P. domesticus* (verde azulado) y que posee un comportamiento parecido al de *H. mexicanus*, aunque en este caso con un desfase hacia la derecha mostrando un gran pico cuando *C. inca* tiene sus valores más bajos. Otra de las curvas de gran impacto es la de *Q. mexicanus* (azul intenso) que tiene un comportamiento distinto, en este caso con un incremento lento dentro de las primeras 20 visitas, para decrecer y volver a tener un nuevo pico cada vez menos intenso, repitiéndose dos veces este comportamiento; nuevamente es importante recalcar que sus dos últimos picos se encuentran en la zona vacía por *C. inca*. Además de las especies anteriores se encuentra *Anas platyrhynchos domesticus* cuyo pico está cerca de la visita 60. Para el caso de AL, se encuentra *Anas diazi* (rojo), que, si bien no tuvo altos valores de intensidad, su presencia se mantuvo constante a lo largo del tiempo, careciendo de puntos en 0.

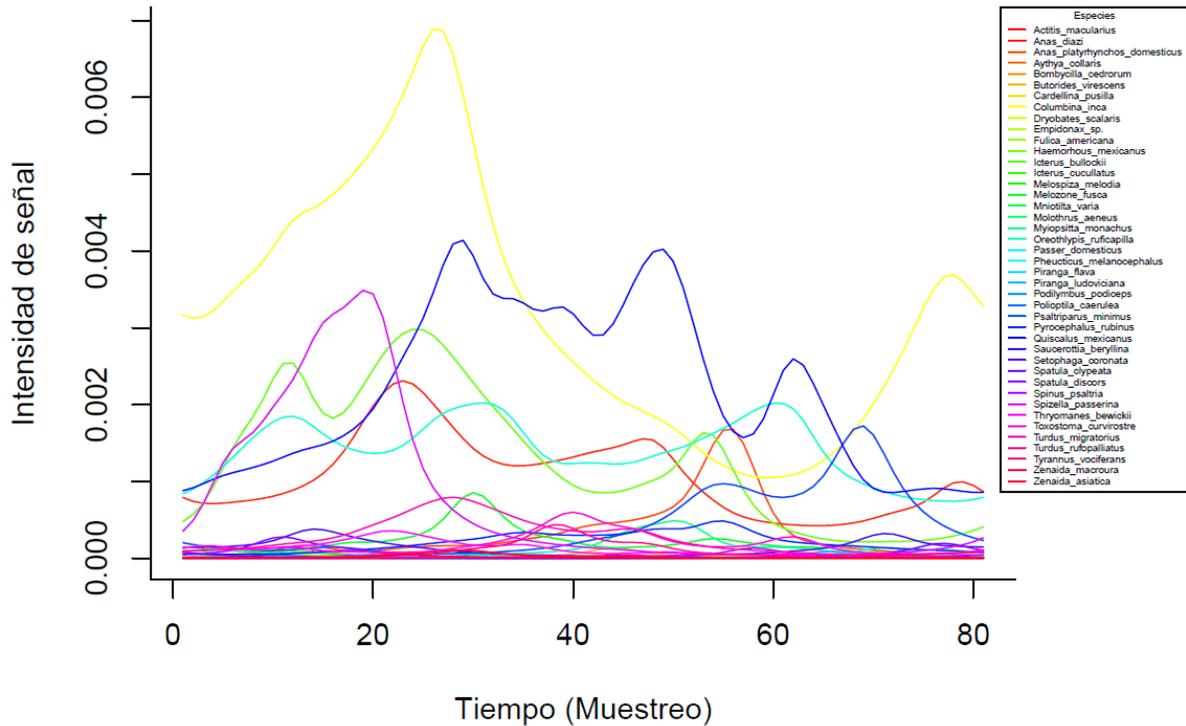


Figura 18. Curvas fenológicas efectivas de la fenofase AL por especie.

A continuación, se encuentra la gráfica correspondiente al consumo de frutas o semillas (CFS), la cual posee menos especies presentes, así como curvas fenológicas (Figura 19); en este caso es posible apreciar una curva importante de color rojo que posee un crecimiento exponencial para disminuir después de la visita 20 y con un panorama de aumento al final del muestreo, esta línea corresponde a *B. cedrorum*, y que al igual que en casos anteriores, durante su disminución en la visita 60, dos especies aumentaron en intensidad, la primera de ellas *H. mexicanus* (lima) y *Spinus psaltria* (morado), sin embargo, es preciso mencionar que en esta fenofase la intensidad de las curvas es mínima en comparación a *B. cedrorum*.

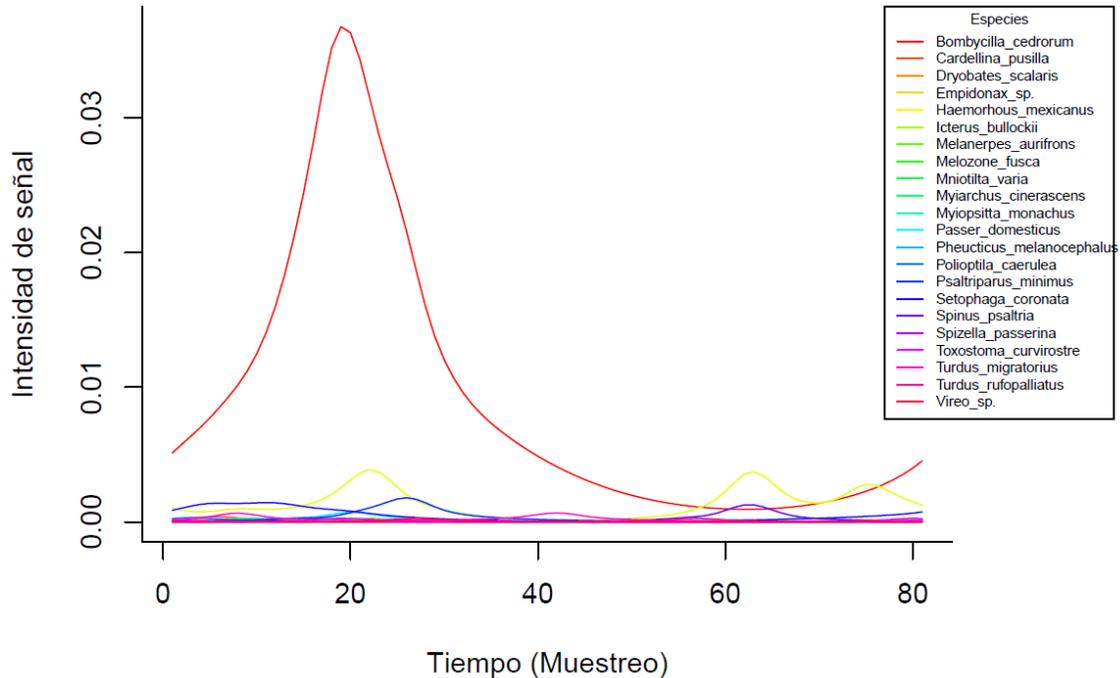


Figura 19. Curvas fenológicas efectivas de la fenofase CFS por especie.

A continuación, está representada la fenofase del consumo de insectos (CI), en comparación a CFS las curvas en esta gráfica están inclinadas hacia el final del muestreo (Figura 20), presentando los mayores valores de intensidad y variación de especies distinguibles entre sí. La primera línea reconocible es la de *Setophaga coronata* (azul cielo) que comienza a disminuir para crecer nuevamente al final del muestreo; además de esta especie, al inicio de las visitas *D. scalaris* (naranja) también mostró un pico pero de menor intensidad; después de estas especies, existió una representación de llanura en la mitad del muestreo para subir al final; la primera de ellas con color verde y su máximo debajo de *S. coronata* corresponde a *Oreothlypis ruficapilla*; posteriormente se encuentra *P. minimus* (verde), pero cuyo pico es el más alto en la visita 70; por debajo de estas 3 especies, también es posible observar a *Cardellina pusilla* (rojo) que tiene un aumento pequeño y una disminución que se prolonga más de lo que su crecimiento inicial y por último *Poliophtila caerulea* con un comportamiento similar de aumento y disminución, pero con un desfase en las visitas hacia el final del muestreo.

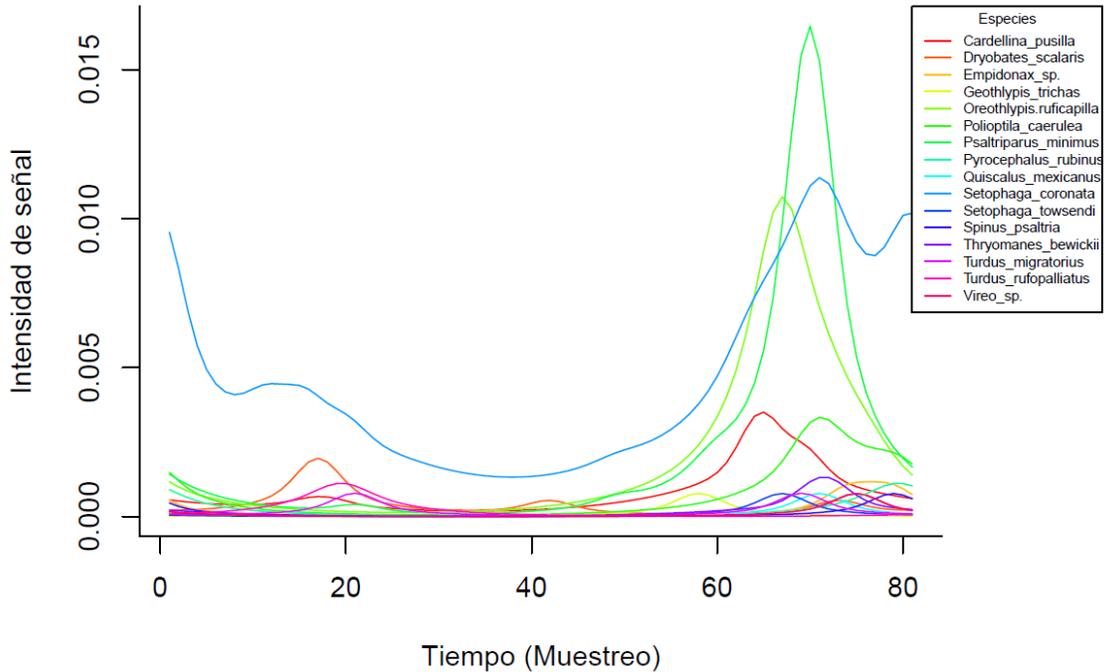


Figura 20. Curvas fenológicas efectivas de la fenofase CI por especie.

La fenofase siguiente son los cantos o llamados (CL), nuevamente se presenta una de las gráficas más complejas en cuanto al comportamiento de las curvas de las especies (Figura 21), sin embargo, los valores de intensidad son menores a los de CI. En este caso es posible apreciar más de 6 especies con gran intensidad a lo largo del tiempo, pero existen tres especies que sobresalen en comparación a las demás, la primera de ellas simbolizada *B. cedrorum* (amarillo) teniendo el pico más alto durante las primeras visitas al parque, y que posee una especie con valores opuestos o de “espejo” siendo esta *P. minimus*, ambas carecen de valores altos durante la parte intermedia del muestreo, siendo que durante estos días la especie *Myiopsitta monachus* (azul claro) exhibe el mayor pico de intensidad. Además de estas especies, es posible observar la importancia de *Q. mexicanus* (morado) para esta fenofase, pues aun teniendo altibajos durante el muestreo, sus valores son fácilmente identificables. Aún cuando las especies con alta intensidad son pocas, también es cierto que el número de especies que tuvieron esta fenofase es alto y heterogéneo en cuanto al comportamiento.

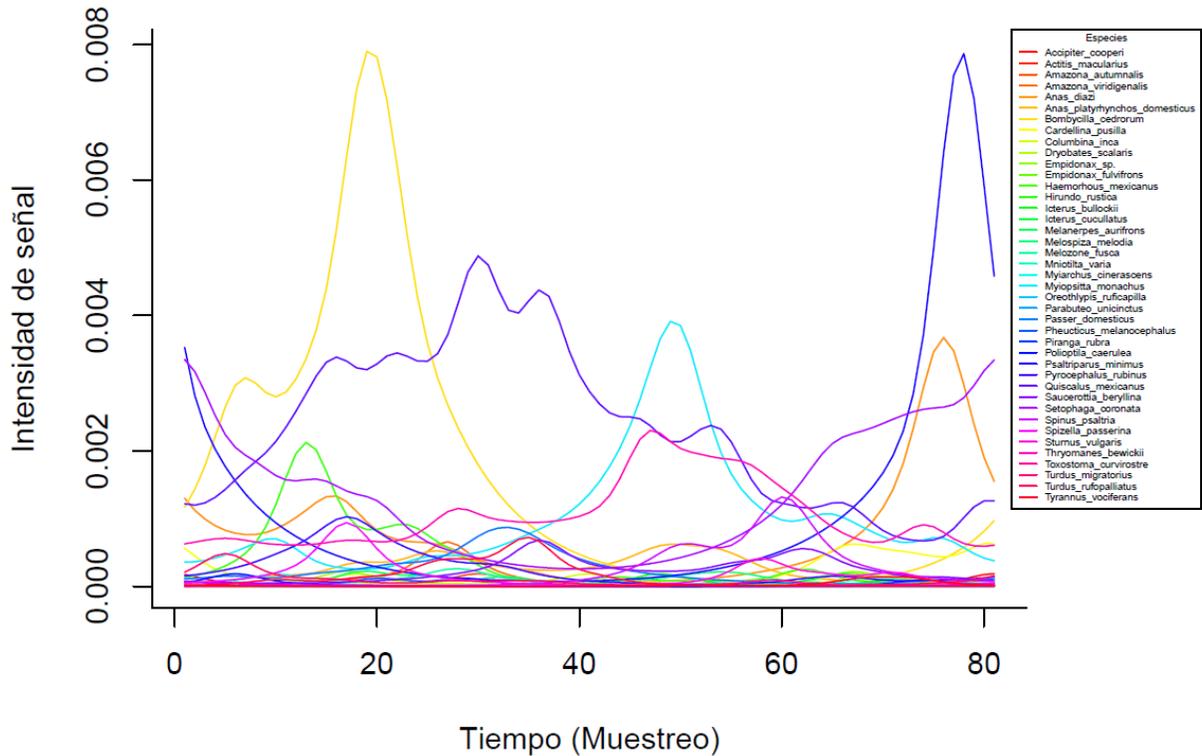


Figura 21. Curvas fenológicas efectivas de la fenofase CL por especie.

Ahora bien, cuando hablamos de los organismos muertos, es la fenofase con menor número de especies representadas, en este caso correspondientes a aves acuáticas *A. diazi* y *A. platyrhynchos domesticus*. Solamente se pudieron observar 3 individuos muertos, dos de ellos corresponden a *A. platyrhynchos domesticus*, la primera en la visita 17 y la segunda en la 59; mientras que para *A. diazi*, solo un organismo muerto fue encontrado en la visita 63 (Figura 22).

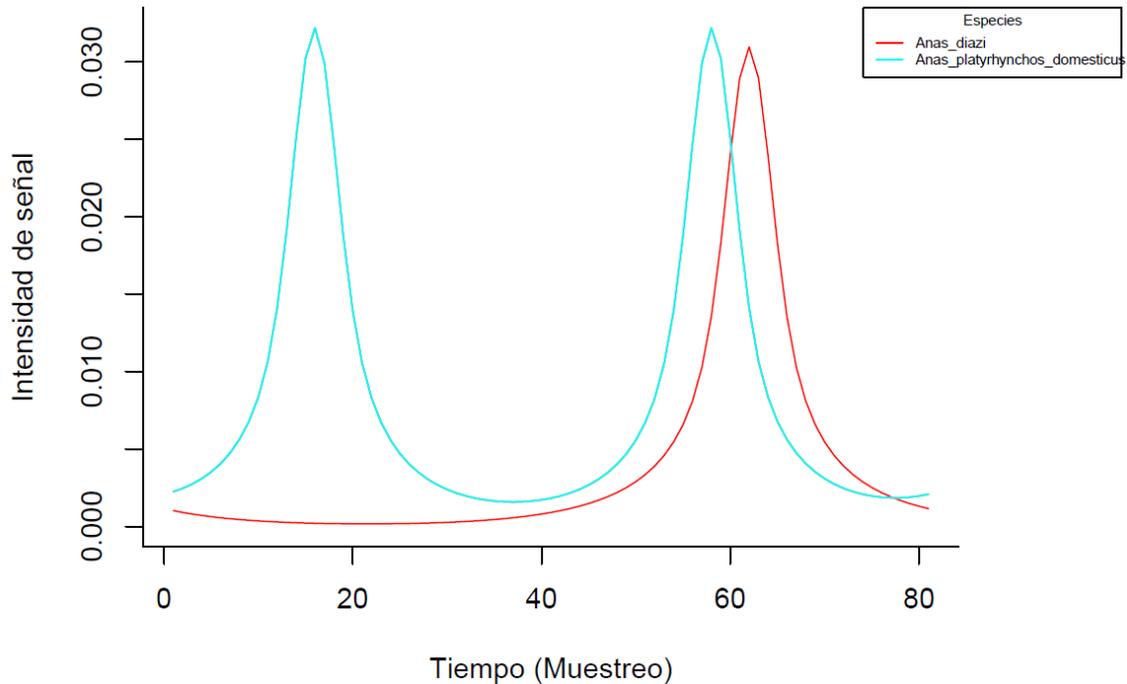


Figura 22. Curvas fenológicas efectivas de la fenofase D por especie.

Es entonces que llegamos a la gráfica de curvas fenológicas efectivas más compleja (Figura 23), la fenofase individuo activo (IA). Lo que se tiene que recalcar es la presencia de 66 especies presentes, siendo el número más alto en cualquier gráfica dentro de este reporte, lo cual se ve reflejado en gran medida en la complejidad e intrincado de las curvas de cada una de las especies, teniendo un gran número de patrones de intensidad. La primer especie que se aprecia es *A. diazi* (naranja) que tiene alta intensidad en las primeras visitas, baja en la media del tiempo y vuelve a subir en el último tercio del muestreo; es justo durante los primeros días que las curvas tienen los valores más bajos en intensidad exceptuando *A. diazi*; sin embargo, aun así es posible reconocer ciertas especies como *Spatula clypeata* (morado), *Pyrocephalus rubinus* (azul), *S. coronata* (morado oscuro), *Thryomanes bewickii* (rosa) y *S. passerina* (rosa claro); la mayor parte con valores bajos durante todo el muestreo y mostrando picos de intensidad a través del tiempo.

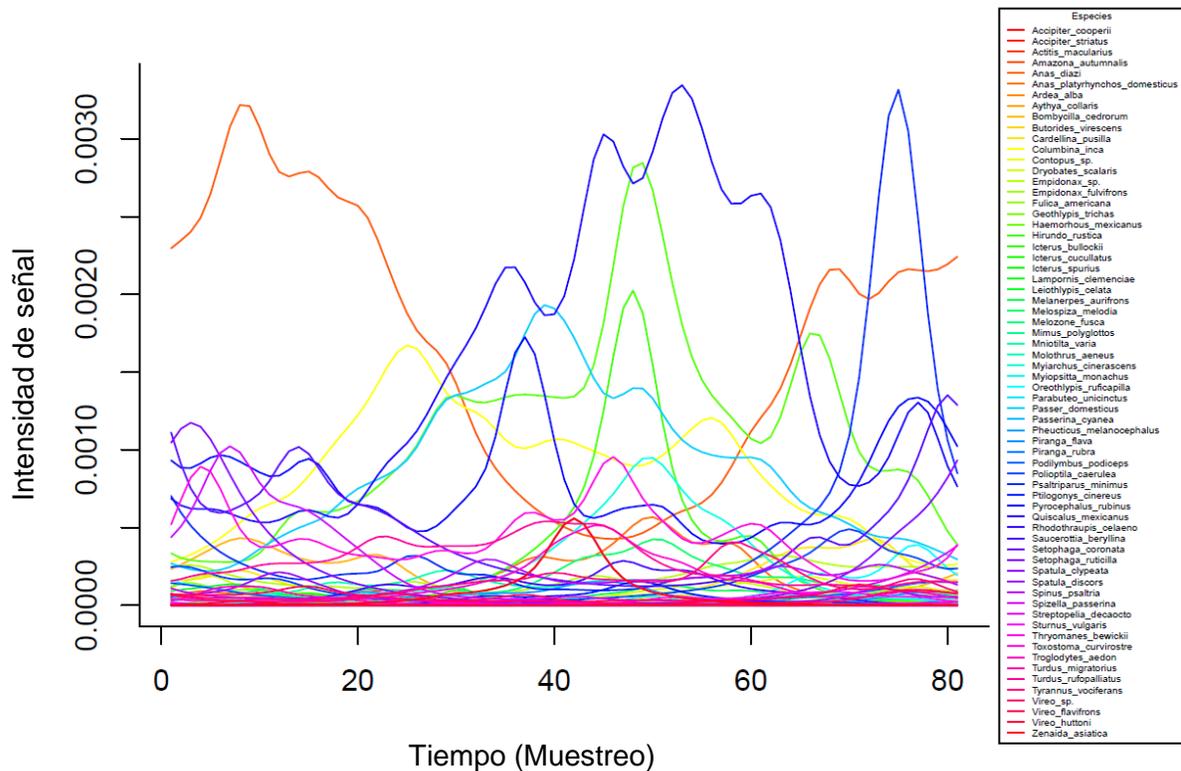


Figura 23. Curvas fenológicas efectivas de la fenofase IA por especie.

Pasando a la parte central de la gráfica, se puede observar el aumento paulatino de *C. inca* después del día 20, además de un crecimiento exponencial en la intensidad de *Q. mexicana* (azul) en el segundo tercio del muestro que incluso se extiende al final de este aun con las caídas en su valor; por debajo del aumento de *Q. mexicana* se encuentra *P. domesticus* (turquesa) que crece teniendo su mayor valor en la visita 40, mientras que *H. mexicana* (verde pasto) aun cuando comienza a crecer al mismo tiempo, se desplaza a la derecha en su crecimiento y posee su pico cerca del día 50. Es importante resaltar que estas dos últimas especies tienen su mayor intensidad en los momentos en que *Q. mexicana* presentó caídas. Subyaciendo a *P. domesticus*, *Pyrocephalus rubinus* (azul) creció nuevamente; mientras que en el caso de *H. mexicana*, *H. rustica* tiene un comportamiento similar pero inferior en intensidad. Finalmente, es posible apreciar un tercer gran pico de intensidad en el desenlace del muestro, con una forma de campana estrecha que indica un rápido crecimiento y caída, correspondiente a *P.*

minimus, mientras que debajo realzan especies que al inicio estaban presentes como *S. coronata*.

Es muy interesante mencionar que aún con el gran número de especies, la mayor parte de ellas tenían un comportamiento único; si bien, existen curvas con comportamientos parecidos, pero intensidades distintas, una gran parte de especies tenían patrones únicos que aprovechaban la ausencia o disminución de la intensidad de otras especies para poder aumentar en ese lapso.

Posteriormente se encuentra machos cantando en defensa, atracción o proclamación (MC), solamente se presentaron 7 especies (Figura 24), siendo la de mayor intensidad *Q. mexicanus* al inicio del muestreo, al igual que *Amazona viridigenalis* y *A. diazi* con dos organismos; justo debajo de ellas se encuentran *Melanerpes aurifrons*, *A. oratrix* y *H. mexicanus*. En el caso de *A. oratrix* no se puede ver, debido a que su valor es igual al de *M. aurifrons*, y en el mismo día, de tal manera que se solapaban. En realidad, este fue un suceso simultáneo, pues se registró la presencia de un grupo conformado por *A. viridigenalis* y *A. oratrix* que comenzaron a proclamar un orificio dentro de un árbol que pertenecía a *M. aurifrons*, generando así un continuo de cantos de defensa y proclamación por parte de las tres especies.

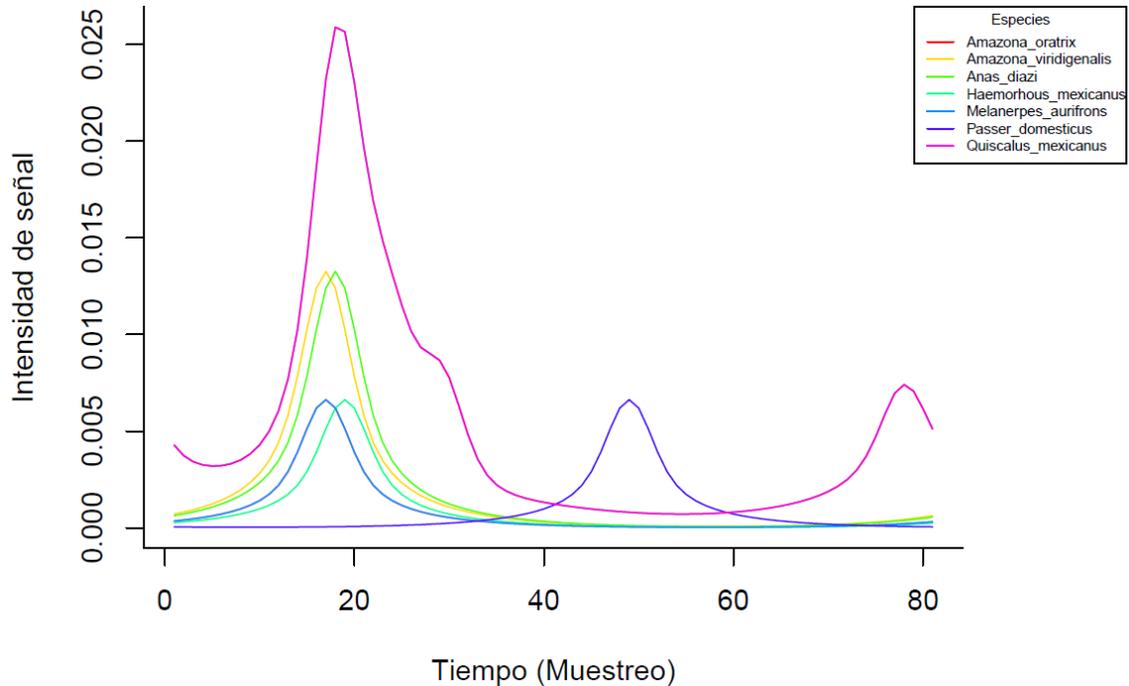


Figura 24. Curvas fenológicas efectivas de la fenofase MC por especie.

La siguiente fenofase organismos construyendo su nido (N) registró cinco especies (Figura 25). En este caso la mayor parte con comportamientos únicos que permiten identificarlos, la especie con mayor intensidad fue *Melozone fusca*, con un pico máximo y un pico posterior, pero de menor intensidad, posteriormente se encuentra *Q. mexicanus*, esta especie tiene tres picos de intensidad durante la primera mitad del muestreo, debajo se encuentra *P. domesticus* con dos picos de igual intensidad y por último se puede ver a *Toxostoma curvirostre* con su mayor intensidad cerca del punto 20, cabe recalcar que *Thryomanes bewickii* no se puede apreciar debido que posee los mismos valores que *T. curvirostre*.

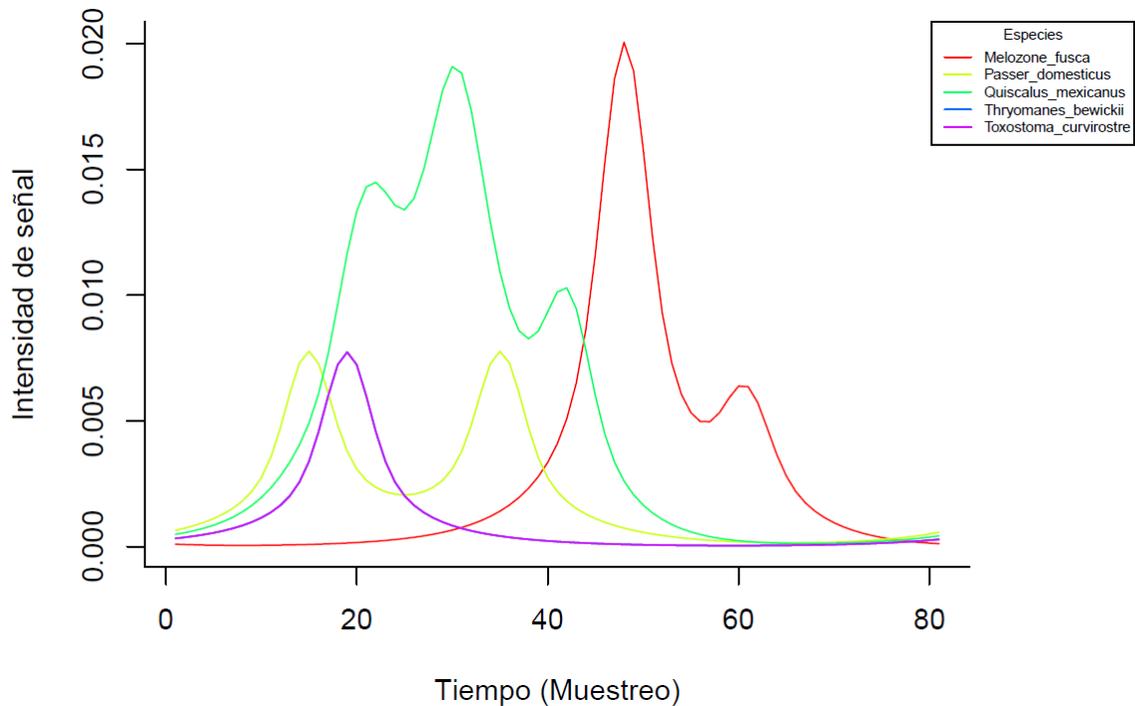


Figura 25. Curvas fenológicas efectivas de la fenofase N por especie.

La fenofase posterior es organismos en posición de reproducción (P), esta vez con menos especies representadas (Figura 26), pues solo son cuatro, la mayor parte de estas especies tienen su mayor intensidad posterior a la mitad del muestreo. Solamente *M. fusca* tuvo un registro antes del día 40; en cuanto al nivel de intensidad, *C. inca* obtuvo mayor valor, mientras que *M. fusca*, *Saucerottia beryllina* y *Pyrocephalus rubinus* tuvieron el mismo valor de intensidad, de hecho, tanto *S. beryllina* como *P. rubinus* exhibieron sus valores en el mismo día y con la misma intensidad, evitando así su apreciación.

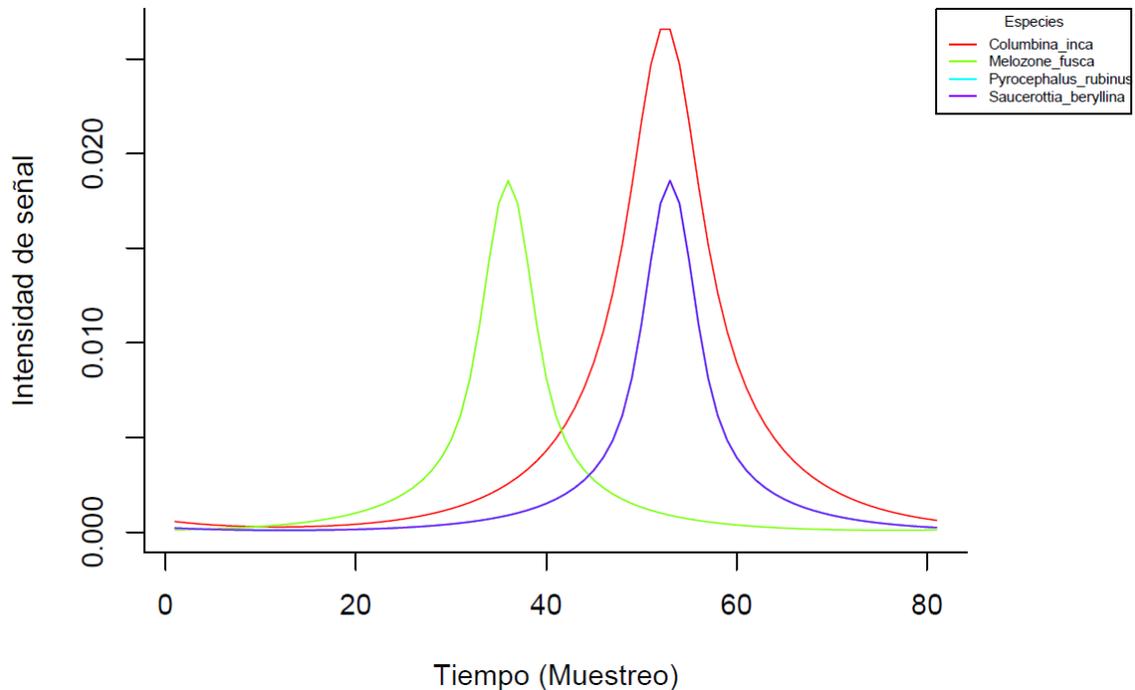


Figura 26. Curvas fenológicas efectivas de la fenofase P por especie.

Para concluir se encuentra la fenofase de visita de flores (VF), observando un total de seis especies que se encontraban en flores (Figura 27), ya sea alimentándose o moviéndose entre ellas. Lo primero que se puede notar es la intensidad de una especie sobre otras, la cual corresponde a *S. beryllina* que comienza con valores bajos y aumentan en la segunda mitad de las visitas, teniendo dos picos de intensidad, siendo el más grande aquel que se encuentra posterior a la visita 50. Durante el inicio del muestreo también fue posible observar un gran aumento de *H. mexicanus* que se reduciría en el tiempo; además de eventos esporádicos de la presencia de *P. caerulea*, *Piranga ludoviciana* al inicio y *Lampornis clemenciae* y *Selasphorus rufus* después de la visita 60, cerca de la caída de *S. beryllina*.

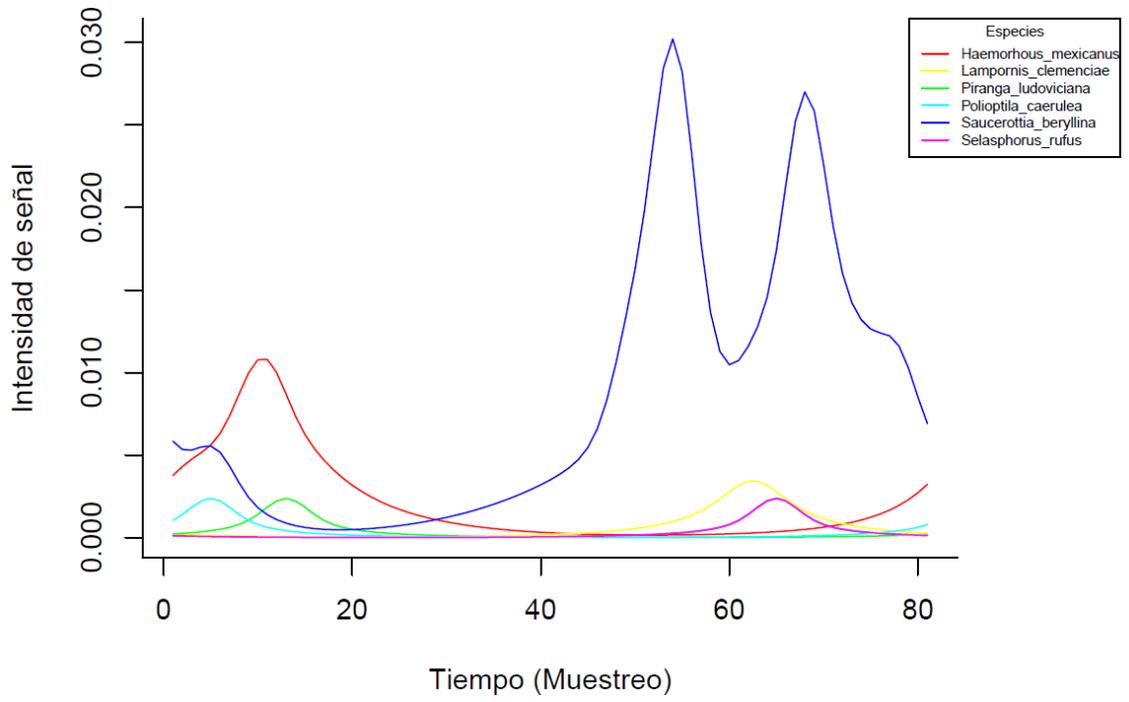


Figura 27. Curvas fenológicas efectivas de la fenofase VF por especie.

9. Discusión

Lo primero que se puede discutir es la riqueza de especies registrada en el parque, en este caso, se obtuvieron un total de 73 especies durante 10 meses, en comparación con las 75 especies registradas por Villafranco (2000), es decir, solamente dos especies de diferencia; mientras que Ramírez (2000) registró un total de 67 especies. En este caso se superó tal registro por 6 especies, sin embargo, tal y como lo menciona Villafranco, considerando el año en que se llevaron a cabo su muestreo y el de Ramírez, la suma total de riqueza debería ser 89 especies para el parque, siendo que, con esta cifra, nuestro muestreo careció de 16 especies para alcanzar el número mencionado. Sin embargo, es importante decir que la diferencia en el tiempo en el que se llevaron a cabo los estudios anteriores y el presente pudo haber modificado las especies presentes, sin mencionar la introducción de especies por el tráfico ilegal y la urbanización que disminuye la calidad de los ecosistemas (Garza, 2008; Canedoli *et al.*, 2018).

Otro aspecto relevante es la abundancia de las especies, pues la mayor parte presentaban pocos avistamientos, existiendo una gran cantidad de especies que solamente fueron registradas una sola vez, como fue el caso de *Setophaga ruticilla*. Esta tendencia nos permite pensar que el parque Tezozómoc es utilizado como hábitat de paso o descanso para especies migratorias, donde pueden reabastecerse o descansar, pues como se sabe, México se caracteriza por poseer una gran cantidad de aves migratorias (Berlanga *et al.*, 2010; Berlanga *et al.*, 2020), por lo que cuidar y presentar mejores planes de manejo para este tipo de hábitat son imprescindibles.

En este sentido, la urbanización en años recientes ha generado una disminución en algunas poblaciones de aves, ocasionando así una homogeneización de la avifauna en estas ciudades, como puede ser el caso de la Ciudad de México, a tal grado que la presencia de cierto grado de diversidad en este grupo permite conocer la calidad ambiental en estas áreas (Canedoli *et al.*, 2018, Mardiasuti, 2020). En el caso del parque Tezozómoc, el número de especies, así como la presencia de aves de gran tamaño como pueden ser *Accipiter cooperii*,

A. striatus y *Parabuteo unicinctus* nos ayudan a vislumbrar el efecto positivo que tiene este parque urbano en la comunidad de aves y en la alcaldía Azcapotzalco; pues tal y como lo menciona Canedoli y colaboradores (2018), los parques urbanos pueden fungir como islas donde los animales pueden obtener recursos (alimenticios, anidación, refugio).

Al hablar de la riqueza de las especies por puntos de muestreo, el punto A fue aquel que tuvo el mayor valor, esto puede deberse a la presencia del cuerpo de agua, pues se sabe que una de las principales características a tomar en cuenta cuando se habla de la biodiversidad en parques urbanos es la complejidad del área, así como la presencia de cuerpos de agua donde pueden obtener alimento y descanso (Canedoli *et al.*, 2018; Oertli y Parris, 2019). Si bien, en el caso de nuestro muestreo coincide con lo anterior, el factor de mayor importancia cuando se habla de riqueza de especies en parques urbanos es el área de estos, así como la vegetación (Callaghan *et al.*, 2018). Sin embargo, también es cierto que la complejidad y calidad de los hábitats presentes en los parques es de gran importancia pero que debido a la dificultad de su medición pocas veces es tomada en cuenta. Aunado a lo anterior, nuestros resultados concuerdan con los mencionado por McKinney *et al.* (2011), donde los humedales urbanos presentaron mayor riqueza de aves en comparación con los rurales, así como planicies.

En este aspecto, también podemos hablar un poco más de la heterogeneidad del área de estudio, pues en el caso del parque Tezozómoc, debido al objetivo en su creación, la variedad de plantas, así como estructuras a lo largo del mismo, permiten que exista una heterogeneidad tanto en vegetación como en hábitats. Esto aún sin tomar en cuenta todas las estructuras humanas, las cuales pueden fungir como sitios de anidación, así como lugares para obtención de recursos tróficos por ciertas especies de aves (Canedoli *et al.*, 2018). De hecho, la importancia de la vegetación en la riqueza y heterogeneidad de la avifauna de los parques urbanos está muy relacionada, siendo que una vegetación exótica propicia una homogeneización en la avifauna, mientras que la presencia de vegetación nativa suscita una mayor riqueza de especies de aves (Callaghan *et al.*, 2018). Lo anterior

se debe a que la vegetación puede llegar a satisfacer una gran parte de las necesidades de estos organismos como lo son el refugio y el alimento (Sulaiman *et al.*, 2013; Callaghan *et al.*, 2018), y en nuestro caso, la mitad de la vegetación presente en el parque es nativa y la otra mitad exótica, permitiendo así la presencia de aves nativas y especies sinantrópicas que elevan el número de especies del lugar.

Además, el elevado número de especies presentes puede atribuirse también a la cercanía que tiene con el Colegio de Ciencias y Humanidades Azcapotzalco que debido a su cantidad de áreas verdes permite un flujo constante y dispersión de especies con el parque Tezozómoc, fungiendo como corredores entre sí (Canedoli *et al.*, 2018). Pues si bien las ciudades suelen caracterizarse por tener pequeños parches de hábitats a lo largo de las mismas, entre mayores sean las áreas verdes y mejor conectadas estén, permiten soportar poblaciones de aves más grandes y estables, aunado a la importancia en la dispersión e intercambio genético de especies salvajes (Goddard *et al.*, 2009; Hassall, 2014).

En lo que respecta a la presencia de especies en categorías de riesgo, podemos ver la trascendencia del parque, pues fue posible registrar a siete especies en diferentes categorías de riesgo de acuerdo con la NOM-051-SEMARNAT (2010). Si bien muchos de los cuerpos de agua urbanos suelen tener menor riqueza en comparación con los naturales, estos cuerpos de agua urbanos pueden albergar a especies en riesgo o amenazadas a nivel regional o nacional como mamíferos, artrópodos y tortugas (Caula *et al.*, 2008; Oertli y Parris, 2019). Sin embargo, a pesar de la importancia de estos cuerpos de agua, solamente una especie acuática se encuentra “Amenazada” *Anas diazi*, mientras que las demás más bien hacen referencia a Accipitriformes y Psitaciformes, lo cual puede deberse a la calidad de agua que exhibe el parque. Además de su posible presencia en el parque debido al tráfico ilegal de especies que existe en México, siendo los psitácidos de los grupos más traficados en el país, permitiendo registrarlos en zonas de las que no son originarios (Cantú *et al.*, 2007; PROFEPA, 2019).

Igualmente se encontró un amplio número de especies semiendémicas, cuasiendémicas y endémicas siendo un total de 10 (Berlanga *et al.*, 2020). Debido a la existencia de estas especies, en particular *A. diazi*, la cual se presentó durante todo el año es importante que se desarrollen planes de conservación y mejoramiento de este tipo de hábitat urbano que permita el mantenimiento de estas especies en riesgo.

Ahora bien, parte central de este estudio es la diversidad fenológica estimada en cada uno de los puntos, en este caso, una fracción de la representación fenológica está dada por las distintas fenofases que se proponen para el caso de las aves (Denny *et al.*, 2014). Sin embargo, es necesario recalcar que aún cuando estas fueron obtenidas a partir de diferentes estudios sobre fenología, esta clasificación puede ser refinada. Para comenzar, tenemos que las fenofases están enfocadas al estudio de una sola población u organismo que puede ser monitoreado en todo momento tal y como en el caso de las plantas, donde los objetivos de esta ciencia están relacionados en su gran mayoría a los eventos de crecimiento, floración, fructificación y senescencia de las especies, que permiten ayudar a la agricultura, así como dilucidar el efecto del cambio climático en las diferentes especies vegetales (Chuine *et al.*, 2013; Schwartz, 2013).

De esta forma, el desarrollo de los modelos fenológicos para demás especies están relacionados a especies únicas y pocas veces para ser medidas en distintas especies al mismo tiempo (Denny *et al.*, 2014). Existieron ocasiones en las que al momento de registrar las fenofases, los organismos pudieran entrar en diferentes categorías de las fenofases utilizadas, aun cuando los organismos no pertenecieran a este grupo, existiendo caso de especies de aves no pertenecientes a los colibríes que se encontraban en flores y se mantenían en movimiento entre ellas, pudiendo ser nectarívoras y entrando así al grupo de VF (visita de flores); además, también se encuentra en caso de la fenofase llamada D (individuos muertos), pues de acuerdo a la definición, las fenofases se caracterizan por tener un inicio y un final (Denny *et al.*, 2014; Armstrong *et al.*, 2016), en este caso, siendo la muerte un evento único que no podría estar catalogado como tal; por lo que es necesario que

exista una revisión con respecto a esta metodología propuesta, pues si bien es muy ambiciosa y ayuda en gran medida al estudio fenológico de diferentes taxones, deben existir diferentes aproximaciones para los diferentes objetivos de los estudios.

Consecuentemente, podemos hablar sobre las diferentes fenofases registradas durante el estudio, lo primero que se puede notar es que la mayor parte de estas presentaron pocas especies representantes, siendo la fenofase IA (individuo activo) la que mayor número de especies tuvo. Lo anterior puede estar relacionado a lo que menciona Sparks *et al.* (2013), pues la fenología de las aves recae principalmente en los avistamientos y visibilidad de las especies, y al ser normalmente especies con gran movilidad, es difícil poder apreciar cada una de las fenofases que pueden estar relacionadas a la alimentación o reproducción.

Una parte fundamental de la diversidad fenológica del parque recae en gran medida en las diferentes formas de alimentación, por lo que los diferentes gremios tróficos (González-Salazar *et al.*, 2014) tienen gran influencia en la diversidad fenológica a través del tiempo. En este sentido, es posible apreciar que aun cuando existió una variación de las especies residentes durante todo el ciclo, estas fueron las que mayor presencia tuvieron en el estudio, lo cual coincide con Juri y Chan (2009) donde la composición de aves en un parque urbano de Argentina también presentó a las especies residentes como las de mayor abundancia durante el año, sin embargo, con variaciones a lo largo del mismo.

Aunado a lo anterior, cuando hablamos de parques urbanos, es necesario mencionar que estos ambientes modificados van a presentar en su mayoría comunidades uniformes en las que existen pocas especies muy abundantes, las cuales están adaptadas a relacionarse con los humanos y ser consideradas comensales de estos (Juri y Chani, 2009). En este aspecto, el parque Tezozómoc presentó especies como *Passer domesticus*, *Quiscalus mexicanus* y *Columbina inca* como aquellas especies dominantes presentes durante todo el año aun con pequeños cambios en su abundancia, de hecho, los parques urbanos se van a caracterizar por presentar recursos alimenticios adicionales a los provistos

naturalmente, como pueden ser migajas o restos de comida de los humanos, siendo que las especies granívoras y omnívoras son las más beneficiadas de este recurso trófico (Zhou y Chu, 2012; Leveau y Leveau, 2016).

En nuestro caso, además de estos taxones fue posible apreciar una mayor cantidad de especies y grupos tróficos, como carnívoros, insectívoros y nectarívoros, además de sus consecuentes gremios tróficos. En este aspecto, fue posible observar un aumento de especies insectívoras durante la época invernal, entre las cuales se pueden encontrar *Setophaga coronata*, *Polioptila caerulea* y *Oreothlypis ruficapilla*, debido a la migración de invierno, siendo que estas especies son migratorias invernales (Berlanga *et al.*, 2020). Comparando con lo obtenido con Zhou y Chu (2012), las especies migratorias tenían una disminución significativa con el aumento de visitantes durante el invierno, sin embargo, en nuestro caso esta disminución pudo verse reducida en gran medida debido a la situación sanitaria actual en la que la COVID-19 mantiene a una gran parte de la población aislada en sus hogares (CDC, 2021), permitiendo así que muchas de las especies migratorias pudieran mostrarse durante el muestreo.

De facto, la estacionalidad ejerce un gran impacto en la presencia de las aves en los parques urbanos, de tal manera que existe una variación a lo largo del tiempo siendo que la distribución de los gremios en ambientes urbanos son estación-dependientes (Caula *et al.*, 2013), tal y como se puede apreciar en las gráficas de fenofases relacionadas al tipo de alimentación, pues cada uno de los gremios muestra un patrón definido durante el ciclo anual que está relacionado a su vez con el estado del recurso trófico del que hace uso y permite su asistencia en el área.

Con respecto a esta variación estacional que existe en los parques urbanos, Leveau y Leveau (2016) menciona que puede disminuir por tres factores: 1) Mayor estabilidad en el recurso alimenticio provisto por humanos, 2) ausencia de hábitats adecuados para especies migratorias y 3) el tráfico peatonal que afecta a las mismas especies migratorias. Esto puede ser apreciado en mayor medida durante la época invernal en el caso de México, donde las especies migratorias tienen su mayor presencia en el país, pues tanto en las gráficas de fenofases como en las de

puntos, suelen existir los mayores valores de intensidad. Sin embargo, durante el periodo del estudio, es posible apreciar una disminución en la intensidad o una variación de las especies que componen los puntos, en este caso, relacionado a las temporadas reproductivas, las cuales aportan en gran medida heterogeneidad en la abundancia y disminución en la riqueza de especies. Esto se debe a que, durante la época reproductiva, es necesaria una elección de hábitats más especializados con los recursos necesarios, construyendo así el espacio disponible para las demás aves (Caula *et al.*, 2013). Aunado a lo anterior, la ausencia de especies migratorias durante esta estación puede ser debido al bajo éxito reproductivo que poseen en comparación de especies sinantrópicas (Caula *et al.*, 2008; Murgui, 2010).

En el caso de la temporada no reproductiva, existe una mayor flexibilidad en cuanto a la selección de hábitats beneficiando en su mayoría a las especies sinantrópicas que pueden hacer uso de los recursos presentes en mejor forma que las especies nativas o migratorias; promoviendo así el uso de hábitats alternativos o parches más pequeños por diferentes especies, que pueden ser registrados con pocas apariciones durante los muestreos. Por lo tanto, la capacidad ambiental y la competencia intra e interespecífica son factores importantes cuando se habla de la variación estacional tanto de gremios, como de especies de aves (Murgui, 2010; Zhou y Chu, 2012; Callaghan *et al.*, 2018).

Uno de los objetivos primordiales de la investigación fue la obtención de la diversidad fenológica, esto a través del uso del marco de referencia propuesto por Chang *et al.* (2014) que a su vez se basa en los números efectivos de especies (Hill, 1973, Jost, 2006). Fue posible medir la diversidad fenológica de las especies a través de la presencia de las mismas en los diferentes puntos y fenofases, obteniendo así las unidades de curvas fenológicas efectivas (C.F.E.) para poder definir a las unidades de este tipo de diversidad, las cuales tal y como los números efectivos de especies poseen la cualidad de una mejor comprensión biológica, pues hacen referencia a las curvas fenológicas distintas que existen en un punto, fenofase o comunidad de acuerdo con las especies presentes y su comportamiento. Esta aproximación además permite una comparación e interpretación asequible, por

lo que funge como una buena base para poder seguir desarrollando estudios sobre este tipo de diversidad.

Hablando al respecto de la biodiversidad, la diversidad fenológica parece tener una aproximación con ella, siendo que entre mayor variación exista en los procesos fenológicos de las especies, es posible apreciar un aprovechamiento más amplio de diferentes recursos generando así una mayor variación en cuanto a las especies encontradas (Armstrong *et al.*, 2016). Si bien, en el caso de nuestro estudio es difícil poder comparar la diversidad fenológica con otros parques o áreas verdes debido a la ausencia de este tipo de información, es posible apreciar la variación que existe dentro de las especies de acuerdo con los patrones de las curvas que presentaron. Aquellas curvas que exhibieron una mayor amplitud reflejan una variación en cuanto a las fenofases dentro de cada especie, generando así un aprovechamiento que dura más tiempo, mientras que las curvas cortas expresan poblaciones con eventos fenológicos con poca variación dentro de ellas. Sin embargo, estos patrones en las curvas también están vinculadas a la fenología de los recursos alimenticios de las aves, como pueden ser plantas, insectos, así como alimento de humanos, el cual es un factor trascendente en ambientes urbanos, debido a su constante disponibilidad para las especies que hacen uso de este recurso (Leveau y Leveau, 2016).

Prosiguiendo con los resultados de la diversidad fenológica, es posible percibir los cambios a través de los distintos valores de q , en este caso, cuando no se toma en cuenta la abundancia de los organismos los valores son más altos, siendo que el punto A tiene el mayor valor, sin embargo, cuando se toman en cuenta la abundancia de las especies de forma proporcional ($q=1$), este comportamiento varía drásticamente, lo cual nos habla de una comunidad con diferentes valores de abundancia de las especies, existiendo una mayor cantidad de especies raras y menos especies dominantes. Esta modificación en los valores de diversidad fenológica son expuestos en todos los puntos, sin embargo, cuando se realiza el segundo análisis de diversidad dando mayor peso a las especies dominantes ($q=2$) el cambio entre los valores es sustancialmente menor pudiendo inferir que si bien

existen una gran cantidad de especies raras; las especies abundantes no son las de mayor peso en la comunidad (Hill, 1973; Carabias *et al.*, 2009; Moreno *et al.*, 2011).

De esta forma, podemos decir que el cálculo de la diversidad fenológica a partir de los números efectivos de especies es un método que puede ser usado y se exhorta a hacerlo, para poder así tener mayores datos de comparación entre diferentes comunidades que nos permitan distinguir de una forma más clara las diferencias existentes entre puntos con mayor o menor diversidad y riqueza de especies y ecosistemas; ayudando a su vez a conocer así la importancia de la diversidad fenológica sobre la biodiversidad, para ser considerada al momento de los planes de manejo, así como la conservación de hábitats y especies.

Además de lo anterior, los resultados obtenidos en este estudio nos ayudan a comprender de mejor manera los factores que modifican la diversidad fenológica, como lo son los diferentes gremios alimenticios dentro de las comunidades, la fenología de los recursos bióticos de los que hacen uso y están en contacto las especies, así como la misma relación entre el número de especies y su abundancia. Concluyendo que la diversidad fenológica puede ser medida a través de distintos métodos, sin embargo, es necesaria una revisión a profundidad del concepto de fenología y los factores que la influyen para poder así tener una mejor comprensión al momento de realizar este tipo de estudios.

10. Conclusiones

- Se registraron un total de 73 especies en el parque Tezozómoc en un periodo de 10 meses.
- La mayor parte de las especies son residentes y migratorias de invierno.
- Se registraron 5 especies semiendémicas, 3 cuasiendémicas, 2 endémicas y 5 exóticas.
- Se registraron 3 especies sujetas a protección especial, 2 especies amenazadas y 2 en peligro de extinción.
- El uso de los números efectivos de especies para medir diversidad fenológica es una propuesta muy alentadora y permite obtener nuevas unidades de diversidad llamadas “curvas fenológicas efectivas”.
- Las fenofases utilizadas para aves son adecuadas para un individuo, pero pueden ser modificadas para el estudio simultáneo de diferentes especies.
- Los valores de diversidad fenológica se modificaron dependiendo del valor de q .
- Sin tomar en cuenta la abundancia de organismos ($q=0$) el punto más diverso fue A.
- Al tomar en cuenta la abundancia de especies ($q=1$) el punto más diverso fue D.
- Dando mayor importancia a las especies dominantes ($q=2$) el punto más diverso fue C.
- La fenofase con mayor diversidad fue individuo activo (IA).
- Los gremios tróficos son de gran importancia al hablar de la diversidad fenológica de aves.
- Los parques urbanos funcionan como islas en ambientes urbanos en los que las aves pueden obtener recursos en su migración, además de fungir como hábitat para múltiples especies residentes, así como en categorías de riesgo.
- La heterogeneidad del hábitat, así como la influencia del humano pueden modificar la diversidad fenológica, así como la riqueza y diversidad de especies en parques urbanos.

- La presencia de cuerpos de agua urbanos son un factor importante al hablar de la riqueza de especies, sin embargo, el tamaño de las áreas verdes lo es más.

11. Recomendaciones

El presente estudio sirve como punto de partida y ejemplo para poder medir la diversidad fenológica dentro de parques urbanos.

Se sugiere continuar con el registro de las aves en el parque urbano Tezozómoc debido a las especies en categorías de riesgo y endemismo.

Es necesario realizar más estudios sobre la diversidad fenológica para poder así tener datos de comparación que nos ayuden con su interpretación.

Analizar los factores más importantes que contribuyen en la diversidad fenológica.

Distinguir como afectan las variables climáticas en la diversidad fenológica.

Continuar usando el marco de referencia de los números de Hill para poder medir más aspectos que conforman la biodiversidad.

Es de gran importancia el estudio, monitoreo y cuidado continuo en los diferentes parques urbanos y áreas verdes en ciudades debido a su importancia en servicios ecosistémicos, como hábitat para aves y demás especies.

Enriquecer los métodos para la medición de la fenología en aves y otras especies.

Continuar apoyando el gusto por la observación de aves en México, para poder generar interés y contribuir con su conservación.

12. Literatura citada

Armstrong, J.B., Takimoto, G., Schindler, D.E., Hayes, M.M. y Kauffman, M.J. (2016). Resource waves: phenological diversity enhances foraging opportunities for mobile consumers. *Ecology*. 97(5), 1099-1112.

Arzate, G.K.M. (2002). Contribución al Estudio de la Alimentación de *Poecilia reticulata* y su Relación con Algunos Parámetros Ambientales en el Lago del Parque Tezozómoc de Julio a diciembre del 2000. Tesis para obtener el grado de: Biólogo, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México.

Berlanga, H., Gómez de Silva, H., Vargas-Canales, V.M., Rodríguez-Contreras, V., Sánchez-González, L.A., Ortega-Álvarez, R. y Calderón-Parra, R. (2020). Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes. *CONABIO*, México.

Berlanga, H., Kennedy J.A., Rich, T.D., Arizmendi, M.C., Beardmore, C.J., Blancher, P.J., Butcher, G.S., Couturier, A.R., Dayer, A.A., Demarest, D.W., Easton, W.E., Gustafson, M., Iñigo-Elias, E., Krebs, E.A., Panjabi, A.O., Rodríguez-Contreras, V., Rosenberg, K.V., Ruth, J.M., Santana-Castellón, E., Ma Vidal, R. y Will, T. (2010). Conservando a nuestras aves compartidas: La visión tradicional de Compañeros en Vuelo para la conservación de las aves terrestres. *Cornell Lab of Ornithology*. Ithaca, NY.

Callaghan, C.T., Major, R.E., Lyonis, M.B., Martin, J.M. y Kingsford, R.T. (2018). The effects of local and landscape habitat attributes on bird diversity in urban greenspaces. *Ecosphere*. 9(7), 1-17.

Canedoli, C., Manenti, R. y Padoa-Schioppa, E. (2018). Birds biodiversity in urban and periurban forests: environmental determinants at local and landscape scale. *Urban Ecosystems*. 21(4), 779-793.

Cantú, G.J.C., Sánchez, S.M.E., Grosselet, M. y Silva, G.J. (2007). Tráfico Ilegal de Pericos en México, Una Evaluación Detallada. *Defenders of Wildlife*. México.

Carabias, J., Meave, J.A., Valverde, T. y Cano-Santa, Z. (2009). Ecología y medio ambiente en el siglo XXI. *Pearson Education*. México, Estado de México.

Castro, L.R. y Castro, S.M. (1995). Wavelets y sus Aplicaciones. En, Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, 195-204.

Caula, S., Marty, P. y Martin, J.L. (2008). Seasonal variation in species composition of an urban bird community in Mediterranean France. *Landscape and Urban Planning*. 87, 1-9.

Caula, S., Villalobos, A.E. y Marty, P. (2013). Seasonal dynamics of bird communities in urban forests of a Mediterranean city (Montpellier, Southern France). *Urban Ecosystems*. 17(1), 1-16.

Centers for Disease Control and Prevention. (2021). COVID-19. CDC. Consultado el 6 de febrero de 2022 de: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>

Chambers, L.E. y Keatley, M.R. (2010). Australian bird phenology: a search for climate signals. *Austral Ecology*. 35, 969-979.

Chao, A., Chiu, C.H. y Jost, L. (2014). Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through hill numbers. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 45, 297-324.

Chesser, R.T., Billerman, S.M., Burns, K.J., Cicero, C., Dunn, J.L., Hernández-Baños, B.E., Kratter, A.W., Lovette, I.J., Mason, N.A., Rasmussen, P.C., Remsen, J.V., Stotz, D.F. y Winker, K. (2021). Check-list of North America birds (online). *American Ornithological Society*. Consultado del 24 de enero de 2022 de: <http://checklist.americanornithology.org/taxa/>

Chuine, I., Garcia de Cortazar-Atauri, I., Kramer, K. y Hännien, H. (2013). Plant development models. 275-293pp. En Schwartz, M.D. (Ed.). *Phenology: an Integrative Environmental Science* (Segunda edición). *Springer*. USA, Milwaukee.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2012). Aves comunes de la Ciudad de México. *CONABIO*, México.

Denny, E.G., Gerst, K.L., Miller-Rushing, A.J., Tierney, G.L., Crimmins, T.M., Enquist, C.A.F., Guertin, P., Rosermartin, A.H., Schwartz, M.D., Thomas, K.A. y Weltzin, J.F. (2014). Standardized phenology monitoring methods to track plant and animal activity for science and resource management applications. *International Journal of Biometeorology*. 58, 591-601.

Dunn, J.L. y Alderfer, J. (2017). Field Guide to the Birds of North America (Séptima edición). *National Geographic*, China.

Elías-Fernández, G., Navarrete-Salgado, N.A., Fernández-Guzmán, J.L. y Contreras-Rivero, G. (2006). Crecimiento, abundancia y biomasa de *Poecilia reticulata* en el lago urbano del parque Tezozómoc de la Ciudad de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12(2), 155-159.

Ellison, A.M. (2010). Partitioning diversity. *Ecology*. 91, 1962-1963.

Fuller, R.A., Irvine, K.N., Devine-Wright, P., Warren, P.H. y Gaston, K.J. (2007). Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology letters*. 3(4), 390-394.

García, E. (1964). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México, D.F.

Garza, A.V. (2008). Tráfico Ilegal de Vida Silvestre y Educación Ambiental. *Cultura Científica y Tecnológica*. 27, 5-12.

Goddard, M.A., Dougill, A.J. y Benton, T.G. (2009). Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology and Evolution*. 25(2), 90-98.

González-Salazar, C., Martínez-Meyer, E. y López-Santiago, G. (2014). A hierarchical classification of trophic guilds for North America birds and mammals. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85, 931-941.

Gordo, O. y Sanz, J.J. (2006). Climate change and bird phenology: a long-term study in the liberian Peninsula. *Global Change Biology*. 12, 1993-2004.

Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X. y Briggs, J.M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*. 319, 756-760.

Guzmán-Díaz, L., Muñoz-Viveros, A.L., Reséndiz-Martínez, J.F. y Olvera-Coronel, L.P. (2011). Condición Fitosanitaria del Arbolado del Parque Tezozómoc Azcapotzalco, D.F. Memoria del XVI Simposio Nacional de Parasitología Forestal, 205-213.

Hassall, C. (2014). The ecology and biodiversity of urban ponds. *WIREs Water*. 1, 187-206.

Hill (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation And Its Consequences. *Ecology*. 54(2), 427-432.

Horgan, G.W. (1999). Using Wavelets for Data Smoothing: a Simulation Study. *Journal of Applied Statistics*. 26(8), 923-932.

Jost, L. (2006). Entropy and Diversity. *Oikos*. 113, 363-375.

Juri, D.M. y Chani, J.M. (2009). Variación estacional en la composición de las comunidades de aves en un gradiente urbano. *Ecología Austral*. 19, 175-184.

Körner, C. y Basler, D. (2010). Phenology Under Global Warming. *Science*. 327, 1461- 1462.

Leveau, L.M. y Leveau, C.M. (2016). Does urbanization affect the seasonal dynamics of bird communities in urban parks? *Urban Ecosystems*. 19, 631-647.

- MacGregor-Fors, I. (2019). De mitos a hitos urbanos ¿cómo hacer ecología en selvas de asfalto?, 19-39pp. En, Zuria, I., Olvera-Ramírez, A.M. y Ramírez, B.P (Eds.). (2019). *Manual de Técnicas para el Estudio de Fauna Nativa en Ambientes Urbanos*. REFAMA/UAQ. México, Querétaro.
- Mannelli, A., Papi, F., Pechlivanoglou, G., Ferrara, G. y Bianchini, A. (2021). Discrete wavelet transform for the real-time smoothing of wind turbine power using Li-Ion batteries. *Energies*. 14, 1-32.
- Mardiastuti, A. (2020). Urban park design for bird diversity: Theory and application in landscape and site scales. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 501, 1-6.
- McKinney, R.A., Raposa, K.B. y Cournoyer, R.M. (2011). Wetlands as habitat in urbanizing landscapes: Patterns of bird abundance and occupancy. *Landscape and Urban Planning*. 100, 144-152.
- Moreno, C.E., Barragán, F., Pineda, E. y Pavón, N.P. (2011). Reanálisis de la Diversidad Alfa: Alternativas para la Interpretar y Comparar Información Sobre Comunidades Ecológicas. *Revista Mexicana de la Biodiversidad*. 82, 1249-1261.
- Murgui, E. (2010). Seasonality and nestedness of bird communities in urban parks in Valencia, Spain. *Ecography*. 33, 979-984.
- Nava-Díaz, R., Pineda, L.R. y Zuria, I. (2019). Métodos para el estudio de aves en ambientes urbanos, 103-125pp. En, Zuria, I., Olvera-Ramírez, A.M. y Ramírez, B.P (Eds.). (2019). *Manual de Técnicas para el Estudio de Fauna Nativa en Ambientes Urbanos*. REFAMA/UAQ. México, Querétaro.
- Oertli, B. y Parris, K.M. (2019). Review: Toward management of urban ponds for freshwater biodiversity. *Ecosphere*. 10(7), 1-33.
- Oliva, M.M.G., Rodríguez, R.A., Lugo, V.A. y Sánchez, R.M.R. (2008). Composición y Dinámica del Fitoplancton en el Lago Urbano Hipertrófico. *Hidrobiología*. 18(1), 1-13.
- Olmo, L.G. y Roldán, V.E. (2013). Aves Comunes de la Ciudad de México (Segunda edición). CONABIO, México. 253pp.
- Peñuelas, J., Rutishauser, T. y Filella, I. (2009). Phenology Feedbacks on Climate Change. *Science*. 324, 887-888.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2019). Tráfico ilegal de loros en México. Consultado el 5 de abril de 2022, de: <https://www.gob.mx/profepa/articulos/trafico-ilegal-de-loros-en-mexico>

Ralph, C.J., Geupel, G.R., Pyle, P., Martin, T.E., DeSante, D.F. y Milá, B. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. General Technical Report. Albany: Pacific Southwest Station, Forest Service, US Department of Agriculture, U.S.A.* 46pp.

Ramírez, B.P. (2000). Aves de Humedales en Zonas Urbanas del Noreste de la Ciudad de México. Tesis para obtener el grado de: Maestra en Ciencias, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México. 167pp.

Reséndiz, M.J.F., Guzmán, D.L., Muñoz, V.A.L., Olvera, C.L.P., Pacheco, H.M.L. y Arriola, P.V.J. (2019). Insectos y Ácaros Fitófagos del Arbolado en el Parque Recreativo y Cultural Tezozómoc, Azcapotzalco, Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales.* 10(56), 149-173.

Reséndiz, M.J.F., Guzmán, D.L., Muñoz, V.A.L., Pascual, P.C.N. y Olvera, C.L.P. (2015). Enfermedades Foliareas del Arbolado en el Parque Cultural y Recreativo Tezozómoc, Azcapotzalco, D.F. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales.* 6(30), 106-123.

Sakai, S. (2001). Phenological diversity in tropical forests. *Population Ecology.* 43, 77-86.

Sánchez-Ochoa, S.D. (En revisión). Quantifying phenological diversity framework based on Hill numbers theory.

Schwartz, M.D. (2013). Introduction. 1-5pp. En. Schwartz, M.D. (Ed.) (2013). *Phenology: an Integrative Environmental Science* (Segunda edición). Springer. USA, Milwaukee.

SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 30 de diciembre, 2010.

Sparks, T.H. (1999). Phenology and the changing pattern of bird migration in Britain. *International Journal of Biometeorology.* 42, 134-138.

Sparks, T.H., Crick, H.Q.P., Dunn, P.O. y Sokolov, L.V. (2013). Birds. 451-466pp. En. Schwartz, M.D. (Ed.). *Phenology: an Integrative Environmental Science* (Segunda edición). Springer. USA, Milwaukee.

Sulaiman, S., Mohamad, N.H.N. y Idilfitri, S. (2013). Contribution of Vegetation in Urban Parks as Habitat for selective Bird Community. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 85, 267-281.

Villafranco, C.J.A. (2000). Avifauna del Parque Tezozómoc, Azcapotzalco. Tesis para obtener el grado de: Biólogo, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México.

Zhou, D. y Chu, L.M. (2012). How would size, age, human disturbance, and vegetation structure affect bird communities of urban parks in different seasons? *Journal of Ornithology*. 153, 1101-1112.

Anexo II. Listado sistemático general de especies presentes en el parque Tezozómoc de acuerdo con la A.O.S.

Orden	Familia	Género	Especie	
Anseriformes	Anatidae	<i>Spatula</i>	<i>Spatula discors</i>	
			<i>Spatula clypeata</i>	
		<i>Anas</i>	<i>Anas platyrhynchos domesticus</i>	
			<i>Anas diazi</i>	
		<i>Aythya</i>	<i>Aythya collaris</i>	
Podicipediformes	Podicipedidae	<i>Podilymbus</i>	<i>Podilymbus podiceps</i>	
Columbiformes	Columbidae	<i>Streptopelia</i>	<i>Streptopelia decaocto</i>	
		<i>Columbina</i>	<i>Columbina inca</i>	
		<i>Zenaida</i>	<i>Zenaida asiatica</i>	
			<i>Zenaida macroura</i>	
Apodiformes	Trochilidae	<i>Lampornis</i>	<i>Lampornis clemenciae</i>	
		<i>Selasphorus</i>	<i>Selasphorus rufus</i>	
		<i>Saucerottia</i>	<i>Saucerottia beryllina</i>	
Gruiformes	Rallidae	<i>Fulica</i>	<i>Fulica americana</i>	
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Actitis</i>	<i>Actitis macularius</i>	
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Ardea</i>	<i>Ardea alba</i>	
		<i>Butorides</i>	<i>Butorides virescens</i>	
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Accipiter</i>	<i>Accipiter striatus</i>	
			<i>Accipiter cooperii</i>	
		<i>Parabuteo</i>	<i>Parabuteo unicinctus</i>	
Piciformes	Picidae	<i>Melanerpes</i>	<i>Melanerpes aurifrons</i>	
		<i>Dryobates</i>	<i>Dryobates scalaris</i>	
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Myiopsitta</i>	<i>Myiopsitta monachus</i>	
		<i>Amazona</i>	<i>Amazona viridigenalis</i>	
			<i>Amazona autumnalis</i>	
			<i>Amazona oratrix</i>	
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Myiarchus</i>	<i>Myiarchus cinerascens</i>	
		<i>Tyrannus</i>	<i>Tyrannus vociferans</i>	
		<i>Contopus</i>	<i>Contopus sp.</i>	
		<i>Empidonax</i>	<i>Empidonax</i>	
			<i>Empidonax fulvifrons</i>	
		<i>Pyrocephalus</i>	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	
		Vireonidae	<i>Vireo</i>	<i>Vireo sp.</i>
				<i>Vireo huttoni</i>
				<i>Vireo flavifrons</i>
		Hirundinidae	<i>Hirundo</i>	<i>Hirundo rustica</i>

Aegithalidae	<i>Psaltriparus</i>	<i>Psaltriparus minimus</i>
Bombycillidae	<i>Bombycilla</i>	<i>Bombycilla cedrorum</i>
Ptiliogonatidae	<i>Ptiliogonys</i>	<i>Ptiliogonys cinereus</i>
Poliophtidae	<i>Poliophtila</i>	<i>Poliophtila caerulea</i>
Troglodytidae	<i>Troglodytes</i>	<i>Troglodytes aedon</i>
	<i>Thryomanes</i>	<i>Thryomanes bewickii</i>
Mimidae	<i>Toxostoma</i>	<i>Toxostoma curvirostre</i>
	<i>Mimus</i>	<i>Mimus polyglottos</i>
Sturnidae	<i>Sturnus</i>	<i>Sturnus vulgaris</i>
Turdidae	<i>Turdus</i>	<i>Turdus rufopalliatus</i>
		<i>Turdus migratorius</i>
Passeridae	<i>Passer</i>	<i>Passer domesticus</i>
Fringilidae	<i>Haemorhous</i>	<i>Haemorhous mexicanus</i>
	<i>Spinus</i>	<i>Spinus psaltria</i>
Passerellidae	<i>Spizella</i>	<i>Spizella passerina</i>
	<i>Melospiza</i>	<i>Melospiza melodia</i>
	<i>Melozona</i>	<i>Melozona fusca</i>
Icteridae	<i>Icterus</i>	<i>Icterus spurius</i>
		<i>Icterus cucullatus</i>
		<i>Icterus bullockii</i>
	<i>Molothrus</i>	<i>Molothrus aeneus</i>
	<i>Quiscalus</i>	<i>Quiscalus mexicanus</i>
Parulidae	<i>Mniotilta</i>	<i>Mniotilta varia</i>
	<i>Oreothlypis</i>	<i>Oreothlypis ruficapilla</i>
	<i>Leiostyris</i>	<i>Leiostyris celata</i>
	<i>Geothlypis</i>	<i>Geothlypis trichas</i>
	<i>Setophaga</i>	<i>Setophaga ruticilla</i>
		<i>Setophaga coronata</i>
		<i>Setophaga towsendi</i>
<i>Cardellina</i>	<i>Cardellina pusilla</i>	
Cardinalidae	<i>Piranga</i>	<i>Piranga flava</i>
		<i>Piranga rubra</i>
		<i>Piranga ludoviciana</i>
	<i>Rhodothraupis</i>	<i>Rhodothraupis celaeno</i>
	<i>Pheucticus</i>	<i>Pheucticus melanocephalus</i>
	<i>Passerina</i>	<i>Passerina cyanea</i>

Anexo III. Listado de especies con su clasificación de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMANRAT-2010, residencia y endemismo.

NOM-059

Residencia

Endemismo

SC = Sin clasificación

R= Residente

ne = No endémico

P = En peligro de extinción

MI = Migratoria de invierno

Exo = Exótica

A = Amenazada

MV = Migratoria de verano

SE = Semiendémica

Pr = Bajo protección especial

T = Transitoria

CE = Cuasiendémica

EN = Endémica

Especie	Residencia	NOM-059	Endemismo
<i>Spatula discors</i>	MI	SC	ne
<i>Spatula clypeata</i>	MI	SC	ne
<i>Anas platyrhynchos domesticus</i>	R	SC	Exo
<i>Anas diazi</i>	R	A	ne
<i>Aythya collaris</i>	MI	SC	ne
<i>Podilymbus podiceps</i>	R,MI	SC	ne
<i>Streptopelia decaocto</i>	R	SC	Exo
<i>Columbina inca</i>	R	SC	ne
<i>Zenaida asiatica</i>	R, MI	SC	ne
<i>Zenaida macroura</i>	R, MI	SC	ne
<i>Lampornis clemenciae</i>	R	SC	SE
<i>Selasphorus rufus</i>	MI	SC	ne
<i>Saucerottia beryllina</i>	R	SC	ne
<i>Fulica americana</i>	R, MI	SC	ne
<i>Actitis macularius</i>	MI	SC	ne
<i>Ardea alba</i>	MI,R	SC	ne
<i>Butorides virescens</i>	R, MI	SC	ne
<i>Accipiter striatus</i>	MI,R	Pr	ne
<i>Accipiter cooperii</i>	MI,R	Pr	ne

<i>Parabuteo unicinctus</i>	R	Pr	ne
<i>Melanerpes aurifrons</i>	R	SC	ne
<i>Dryobates scalaris</i>	R	SC	ne
<i>Myiopsitta monachus</i>	R	SC	Exo
<i>Amazona viridigenalis</i>	R	P	CE
<i>Amazona autumnalis</i>	R	A	ne
<i>Amazona oratrix</i>	R	P	CE
<i>Myiarchus cinerascens</i>	MI,MV,R	SC	ne
<i>Tyrannus vociferans</i>	R, MI	SC	SE
<i>Contopus sp.</i>			
<i>Empidonax sp.</i>			
<i>Empidonax fulvifrons</i>	R,MI,MV	SC	ne
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	R,MI	SC	ne
<i>Vireo sp.</i>			
<i>Vireo huttoni</i>	R	SC	ne
<i>Vireo flavifrons</i>	MI	SC	ne
<i>Hirundo rustica</i>	MV,MI,R,T	SC	ne
<i>Psaltriparus minimus</i>	R	SC	ne
<i>Bombycilla cedrorum</i>	MI	SC	ne
<i>Ptiliogonys cinereus</i>	R	SC	CE
<i>Polioptila caerulea</i>	MI,R	SC	ne
<i>Troglodytes aedon</i>	R,MI,T	SC	ne
<i>Thryomanes bewickii</i>	R	SC	ne
<i>Toxostoma curvirostre</i>	R	SC	ne
<i>Mimus polyglottos</i>	R,MI	SC	ne
<i>Sturnus vulgaris</i>	R	SC	Exo
<i>Turdus rufopalliatus</i>	R	SC	EN
<i>Turdus migratorius</i>	R,MI	SC	ne
<i>Passer domesticus</i>	R	SC	Exo
<i>Haemorhous mexicanus</i>	R	SC	ne
<i>Spinus psaltria</i>	R	SC	ne
<i>Spizella passerina</i>	R,MI	SC	ne
<i>Melospiza melodia</i>	R,MI	SC	ne
<i>Melospiza fusca</i>	R	SC	ne
<i>Icterus spurius</i>	MI,MV	SC	ne
<i>Icterus cucullatus</i>	MI,MV,R	SC	SE

<i>Icterus bullockii</i>	MI,MV	SC	SE
<i>Molothrus aeneus</i>	R,MV	SC	ne
<i>Quiscalus mexicanus</i>	R	SC	ne
<i>Mniotilta varia</i>	MI	SC	ne
<i>Oreothlypis ruficapilla</i>	MI	SC	ne
<i>Leiothlypis celata</i>	MI,R	SC	ne
<i>Geothlypis trichas</i>	MI,R	SC	ne
<i>Setophaga ruticilla</i>	MI	SC	ne
<i>Setophaga coronata</i>	MI,R	SC	ne
<i>Setophaga towsendi</i>	MI	SC	ne
<i>Cardellina pusilla</i>	MI	SC	ne
<i>Piranga flava</i>	R	SC	ne
<i>Piranga rubra</i>	MI,MV	SC	ne
<i>Piranga ludoviciana</i>	MI	SC	ne
<i>Rhodothraupis celaeno</i>	R	SC	EN
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	R,MI,MV	SC	SE
<i>Passerina cyanea</i>	MI	SC	ne