



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

División de Ciencias Forestales
Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales

**“DIVERSIDAD Y USO DE HÁBITAT (CON ÉNFASIS EN
COMPORTAMIENTOS ALIMENTICIOS) POR AVES EN LOS PLANOS
VERTICAL Y HORIZONTAL DE UN BOSQUE TEMPLADO EN EL EJE
VOLCÁNICO TRANSMEXICANO”**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

URIEL MARCOS RIVERA

BAJO LA SUPERVISIÓN DE: M.C. JOSÉ LUIS ROMO LOZANO



DIRECCION GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
CALLE DE LOS REYES PROFESIONALES

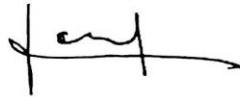


Chapingo, Estado de México, julio de 2019

DIVERSIDAD Y USO DE HÁBITAT (CON ÉNFASIS EN
COMPORTAMIENTOS ALIMENTICIOS) POR AVES EN LOS PLANOS
VERTICAL Y HORIZONTAL DE UN BOSQUE TEMPLADO EN EL EJE
VOLCÁNICO TRANSMEXICANO

Tesis realizada por **URIEL MARCOS RIVERA** bajo la supervisión del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES



DIRECTOR: _____

M.C. JOSÉ LUIS ROMO LOZANO



ASESOR: _____

DR. SAÚL UGALDE LEZAMA



ASESOR: _____

M.C. GABRIEL ARCÁNGEL RODRÍGUEZ YAM

Contenido

1	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1	Objetivos.....	3
1.1.1	Objetivo general	3
1.1.2	Objetivos particulares.....	3
1.2	Literatura citada	4
2	REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1	Avifauna.....	6
2.2	Uso de hábitat por aves	6
2.3	Las aves como control biológico	7
2.4	Problemática.....	7
2.5	Literatura citada	8
3	CAPITULO III. PRIMER ARTÍCULO CIENTÍFICO	10
3.1	Resumen	10
3.2	Abstract.....	11
3.3	Introducción	11
3.4	Materiales y métodos	12
3.5	Resultados	15
3.6	Discusión	20
3.7	Agradecimientos	22
3.8	Referencias	23
4	CAPITULO IV. SEGUNDO ARTÍCULO CIENTÍFICO.....	28
4.1	Resumen	28
4.2	Introducción	29
4.3	Materiales y métodos.....	30
4.3.1	Área de estudio	30
4.3.2	Muestreos	31
4.3.3	Análisis estadísticos.....	32
4.4	Resultados.....	33
4.5	Discusión	35
4.6	Conclusiones	37

4.7	Bibliografía.....	38
4.8	Apéndices.....	41
5	CAPITULO V. TERCER ARTÍCULO CIENTÍFICO.....	42
5.1	Resumen.....	42
5.2	Introducción.....	42
5.3	Materiales y métodos.....	44
5.3.1	Área de estudio.....	44
5.3.2	Avistamientos.....	45
5.3.3	Variables del hábitat y la vegetación.....	45
5.3.4	Análisis estadísticos.....	46
5.4	Resultados.....	47
5.5	Discusión.....	48
5.6	Conclusiones.....	50
5.7	Bibliografía.....	50
5.8	Apéndices.....	54

Lista de cuadros y tablas

Tabla 3.1. Taxonomía y estatus nacional e internacional de las aves registradas en ambas CV de la EFEZ.	16
Tabla 3.2. Valores de la prueba bondad de ajuste de χ^2 para la abundancia y Kruskal-Wallis para riqueza y diversidad de Ambas CV en la EFEZ.	20
Cuadro 4.1. Factores de carga del Análisis de Componentes Principales realizado sobre la matriz de correlación con variables de la fisonomía vegetal registradas en las CV de la EFEZ.....	33
Cuadro 4.2. Factores de carga del Análisis de Componentes Principales realizado sobre la matriz de correlación con variables de los comportamientos y técnicas de cacería registradas en las CV de la EFEZ.....	34
Cuadro 5.1. Variables significativas del hábitat y la vegetación mediante análisis de regresión Poisson que presentan efecto en la frecuencia de las aves en ambas CV de la EFEZ.	47

Lista de figuras

Figura 3.1. Ubicación del área de estudio y diseño de muestreo en la EFEZ...	13
Figura 3.2. Curva de acumulación de especies mediante el estimador de Jackknife 1 durante los monitoreos en Ambas CV de la EFEZ.	18
Figura 3.3. Representatividad de especies mediante el índice de abundancia relativa para CVP y CVO en la EFEZ.	19
Figura 3.4. Estimador de diversidad de Shannon-Wiener en la EFEZ.....	19
Figura 4.1. Ubicación del área de estudio y diseño de muestreo en la EFEZ...	31
Figura 4.2. Análisis canónico de correspondencias de las variables con mayores valores del ACP y las especies de aves registradas en la EFEZ.....	35
Figura 5.1. Ubicación del área de estudio y diseño de muestreo en la EFEZ...	45
Figura 5.2. Gráfico bidimensional del ACP con los dos primeros componentes principales y las frecuencias de las aves registradas en ambas comunidades vegetales de la EFEZ.	48

Lista de apéndices

Apéndice 4.1. Claves asignadas a las especies de aves obtenida de las tres primeras letras del nombre científico para el ACC.....	38
Apéndice 5.1. Claves asignadas a las especies de aves obtenida de las tres primeras letras del nombre científico para el ACP.....	54

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme seguir en este plano terrenal al igual a que a los que más quiero y amo.

A los pilares que sostienen este proyecto de vida, mi padre Martín Marcos Valdez quien es mi ejemplo de superación e inspiración para nunca rendirme y sacar adelante mis compromisos, a mi madre Carmen Rivera Cervantes quien es la primera persona que mueve todos mis sentimientos para poder ubicarme en la línea correcta, a ambos mi mayor respeto por quebrarse el alma y verme salir adelante, esto es de ustedes.

A mi hermano José Luis Marcos Rivera quien forma parte especial en mi vida y es de mí mi mayor motivación para dejarle un buen ejemplo de superación.

A mi hermano Hugo Marcos Rivera† quien siempre ha sido y seguirá siendo mi ángel de la guarda, quien mejor para cuidarme y guiarme desde el cielo donde él esta con más familiares.

A toda mi familia quienes siempre están pendientes de mí, apoyándome, cuidándome y sobre todo de nunca olvidarme, todos forman parte de este logro.

Como siempre lo eh hecho, una vez más dedico este trabajo a mi pueblo Oxpantla, Zautla, Puebla, quien me ha cobijado con recursos naturales y humanos para tener una base sólida en mis creencias y formación personal. Por brindarnos a quienes vivimos ahí la fortuna de trabajar con la alfarería, oficio con el que eh logrado todo.

A mis compañeros y a todas las amistades que de una u otra manera están en comunicación conmigo animándome y apoyándome para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, principalmente al Departamento de Ciencias Forestales por la oportunidad que me brindaron para obtener el grado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por otorgarme la beca para continuar mis estudios de posgrado.

Al Dr. José Luis Romo Lozano, por su atención, amabilidad y su apoyo como director de tesis en este proyecto de investigación.

Al Dr. Saúl Ugalde Lezama, por su amabilidad, comprensión, por compartirme sus conocimientos y el tiempo brindado durante el proceso de mi formación de posgrado.

Al Dr. Gabriel Arcángel Rodríguez Yam, por su apoyo, asesoría, tiempo y confianza que me brindó durante el desarrollo y culminación de esta investigación.

A los biólogos Javier Francisco Fregoso Padilla y Mirna Saraí Flores Cano por su valioso apoyo en el préstamo del material de campo, valiosos para esta investigación.

A los compañeros Claudia Iveth, Sebastián, Edgar, Domingo y Juan Ignacio que me ayudaron en el trabajo de campo, y a José Daniel Alderete por su apoyo en SIG.

A los Ing. Fortino García y Isaac Ramírez por su amabilidad y apoyo durante mis visitas y estancias a la EFEZ, gracias por tanta comprensión.

A mis compañeros de posgrado: Claudia Iveth, Rosita, Jorge Luis, Sebastián, Austreberto, Raquel, Araceli, Suri y a los muchachos de otros semestres que de una u otra manera aportaron en la formación e investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Uriel Marcos Rivera

Fecha de nacimiento: 07 de agosto de 1993

Lugar de nacimiento: Oxpantla, Zautla, Puebla

No. de Cartilla Militar: 2505180

CURP: MARU930807HPLRVR09

Profesión: Lic. en Biología

Cédula Profesional: 11091917



Desarrollo académico

Cursó su educación media superior del año 2009 al 2012 en el bachillerato “Isabel Días de Bartlett” en la cabecera municipal de Zautla, Puebla; posteriormente cursó la Licenciatura en Biología en el Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla (2012-2016) obteniendo el título de Licenciado Biólogo en abril de 2017, con la Tesis titulada “Diversidad y uso de sustratos por aves en un bosque templado bajo tres gradientes altitudinales”.

De mayo a junio de 2017 participó en proyectos de DTU’s y MIA’s como colaborador en los capítulos de biodiversidad. En junio del mismo año impartió el taller teórico-práctico de “Reproducción y propagación de plantas” durante el periodo de capacitación 2017 del personal administrativo del Colegio de Postgraduados campus Montecillos.

En agosto de 2017 tuvo la oportunidad de entrar a la Universidad Autónoma Chapingo, en el Departamento de Ciencias Forestales; al ser aceptado en el Programa de la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, en donde concluyó sus estudios de Maestría en 2019.

¹RESUMEN GENERAL

Diversidad y uso de hábitat (con énfasis en comportamientos alimenticios) por aves en los planos vertical y horizontal de un bosque templado en el Eje Volcánico Transmexicano

Los bosques templados del Eje Volcánico Transmexicano conservan importante diversidad avifaunística, pero son afectados por eventos antrópicos que modifican el hábitat y la vegetación, repercutiendo sobre el comportamiento de las aves. El objetivo fue evaluar la diversidad y uso de hábitat por aves en dos comunidades vegetales (CV): Oyamel (CVO) y Pino (CVP) de un bosque templado en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. En cada CV se estableció un diseño de muestreo sistemático para la toma de datos. El seguimiento de las aves se realizó mensualmente (mayo-octubre, 2018) empleando recuento en puntos con radio fijo y búsqueda intensiva. Paralelamente, se registraron los comportamientos, técnicas de cacería y la fisonomía vegetal (sustratos, estratos, y estructuras de sustratos) donde se exhibían las aves. Información del hábitat se obtuvo con líneas de Canfield y la vegetación mediante cuadrantes con punto central y cuadros empotrados. Los parámetros de diversidad se calcularon con estimadores de Jackknife 1 (riqueza), Abundancia Relativa (IAR), Shannon-Wiener (diversidad) y Jaccard (similitud). Con Análisis de Componentes Principales (ACP) se redujo el número de variables para los comportamientos y la fisonomía vegetal; con Análisis Canónico de Correspondencia (ACC) se observaron relaciones entre variables independientes y dependientes. Por último, las variables significativas del hábitat y la vegetación se obtuvieron con Regresión Poisson (ARP), los resultados del ARP se sometieron a un análisis de componentes principales (ACP) para visualizar agrupaciones entre dichas variables y las frecuencias de las aves. Se registraron 38 especies, la $H' = 3.16$ se considera estable y existe una similitud de 33% entre CV. Los ACP acumularon >50% de variabilidad en los primeros

componentes y el ACC mostró relaciones específicas entre variables. El ARP determinó seis variables significativas y el ACP muestra mayor frecuencia de aves sobre uno de los ejes (componentes). La frecuencia de aves está relacionada con hábitats que conservan heterogeneidad estructural.

Palabras clave: caracterización de hábitat, estratos, fisonomía vegetal, sustratos, técnicas de cacería.

²GENERAL ABSTRACT

Diversity and use of habitat (emphasis on eating behaviors) by birds in the vertical and horizontal planes of a temperate forest in the Transmexican Volcanic Belt

The temperate forests of the Transmexican Volcanic Belt preserve important bird diversity, but they are affected by anthropic events that modify the habitat and vegetation, affecting the behavior of the birds. The objective was to evaluate the diversity and use of habitat by birds in two plant communities (VC): Oyamel (CVO) and Pine (CVP) of a temperate forest in the Iztaccíhuatl-Popocatepetl National Park. A systematic sampling design for data collection was established in each CV. The monitoring of the birds was carried out monthly (May-October, 2018) using counting in points with fixed radius and intensive search. At the same time, behaviors, hunting techniques and vegetation physiognomy (substrates, strata, and substrate structures) where the birds were exhibited were recorded. Habitat information was obtained with Canfield lines and vegetation using quadrants with central point and embedded frames. Diversity parameters were calculated with estimators of Jackknife 1 (richness), Relative Abundance (IAR), Shannon-Wiener (diversity) and Jaccard (similarity). With Principal Component Analysis (PCA), the number of variables for behavior and vegetal physiognomy was reduced; with Canonical Correspondence Analysis (CCA), relationships between independent and dependent variables were observed. Finally, significant habitat and

vegetation variables were obtained with Poisson Regression (PRA), the PRA results were subjected to a principal component analysis (PAC) to visualize clusters between these variables and the frequencies of the birds. 38 species were recorded, $H' = 3.16$ is considered stable and there is a similarity of 33% between CV. The PCA accumulated > 50% variability in the first components and the ACC showed specific relationships between variables. The ARP determined six significant variables and the ACP shows a higher frequency of birds on one of the axes (components). The frequency of birds is related to habitats that preserve structural heterogeneity.

Key words: characterization of habitat, strata, vegetal physiognomy, substrates, hunting techniques.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Los bosques del mundo cumplen y desarrollan acciones en beneficio del planeta, previenen la erosión, eliminan el bióxido de carbono del aire reduciendo el calentamiento del planeta, ayudan a regular las lluvias favoreciendo la recarga de los mantos acuíferos y son el hogar de un gran número de especies de flora y fauna (López-Hernández et al., 2017).

Particularmente, el Bosque Templado (BT) lo integran tres principales tipos de vegetación: bosque de pino, bosque de encino y bosque de oyamel, esto depende principalmente de la altitud, alcanzando diferentes asociaciones (pino-encino y pino-oyamel). Los BT se caracterizan por desarrollarse desde el nivel del mar hasta regiones montañosas que alcanzan los 3 500 m; de acuerdo a las especies que lo conforman puede variar de caducifolios a perennifolios, presentando alturas en los árboles que van de los 2 hasta los 30 m promedio, aunque en algunos casos superan los 50 m; en este tipo de ecosistema se pueden diferenciar claramente estratos arbóreos, arbustivo y herbáceo (Villaseñor y Ortiz, 2014), permitiendo y facilitando condiciones de hábitat a todos los grupos de fauna silvestre, principalmente a las aves, quienes utilizan diferentes estructuras del bosque para desempeñar sus actividades.

A nivel mundial, la ornitofauna se encuentra presente en todos los ecosistemas y hábitats del planeta, ocupando un lugar importante en la cadena trófica (Rivero, Hernández, Martínez y Pérez, 2015), regulando poblaciones de invertebrados y mamíferos pequeños. Se estima que en el mundo existen alrededor de 10 500 especies de aves, de las cuales aproximadamente 1 150 (cerca del 11 % del total mundial) habitan en México, representadas en múltiples órdenes (Navarro-Sigüenza et al., 2014). Dentro de los BT, las aves conforman grupos importantes que se encargan de cumplir y realizar notables funciones como diseminadores, polinizadores, entre otras.

A pesar de su distribución, los BT están en constante disminución superficial, llevando al daño forestal que impacta de manera negativa la salud de los árboles;

las plagas forestales son uno de estos daños que ocasiona perjuicios mecánicos y fisiológicos a los árboles como deformaciones, debilitamiento, disminución en el crecimiento e inclusive la muerte, causando un impacto ecológico, económico y social importante (Leautaud y López-García, 2017).

Desafortunadamente, los daños ocasionados por la perturbación de los bosques afectan de manera directa a la avifauna residente y migratoria, siendo susceptibles a padecer y sufrir los cambios. Algunas especies de aves tienden a dispersarse en otros fragmentos de bosques en los que desafortunadamente no encuentran el suficiente hábitat apropiado (Stratford y Stouffer, 2015). Acciones de perturbación como los incendios forestales únicos y recurrentes, la tala selectiva y la fragmentación del hábitat presentan efectos distintos en la comunidad avifaunística (Barlow, Peres, Henriques, Stouffer y Wunderle, 2006) disminuyendo la diversidad de aves insectívoras tanto en la estructura vertical y horizontal del bosque.

En la geografía de México, los BT se distribuyen en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre del Sur y el Eje Volcánico Transmexicano (Granados-Sánchez, López-Ríos y Hernández-García, 2007). En particular, el Eje Volcánico transmexicano (EVT) presentan una composición de avifauna y de flora que es biogeográficamente más compleja que la de otros bosques de Centroamérica, esto se debe al conjunto de grupos tanto de origen neártico como neotropical, exhibiendo avifauna diferente a la de otras regiones de Mesoamérica (Hernández-Baños, Peterson, Navarro-Sigüenza, y Escalante-Pliego, 1995). Esta región es de suma importancia, debido a que es reconocida por proveer servicios ambientales para el mantenimiento de las zonas urbanas ubicadas en sus cercanías (Acosta, Carrillo, Delgado y Velasco, 2014).

La Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ) se encuentra ubicada en la Sierra Nevada (zona central del Eje Volcánico Transmexicano) formando parte del Área Natural Protegida Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2016), área en la que las aves juegan un papel importante en los procesos ecológicos y de

restauración del bosque; los estudios avifaunísticos realizados en esta región son escasos. Estay-Stange et al. (2015) reportan cuatro nuevos registros de aves rapaces en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl durante un estudio para el monitoreo de aves rapaces; Ramírez-Albores (2013) reporta la riqueza y diversidad de aves en un área de la Faja Volcánica Transmexicana. A pesar de ello, ningún estudio a considerado la importancia del hábitat sobre la diversidad de aves, tampoco se han considerado estratos forestales en el plano vertical y horizontal. En este contexto, el objetivo de este trabajo es determinar la ecología trófica de las aves insectívoras en dos comunidades vegetales (Pino y Oyamel) de un bosque templado, considerando estratos forestales en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- Evaluar comparativamente la diversidad y el uso de hábitat por aves en dos comunidades vegetales (pino y oyamel) de un bosque templado en el Eje Volcánico Transmexicano (EVT).

1.1.2 Objetivos particulares

- Estimar comparativamente los patrones de riqueza, abundancia y diversidad de aves registradas en las zonas bajo estudio.
- Determinar los principales comportamientos y técnicas de cacería exhibidos por las aves sobre la fisonomía vegetal en la utilización del hábitat en las comunidades vegetales evaluadas.
- Inferir el efecto de las variables del hábitat y de la vegetación sobre las frecuencias de las aves registradas en ambas comunidades vegetales.

1.2 Literatura citada

- Acosta, M. M., Carrillo, A. F., Delgado, D. y Velasco B. E. (2014). Establecimiento de parcelas permanentes para evaluar impactos del cambio climático en el Parque Nacional Izta-Popo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(26), 06-29.
- Barlow, J., Peres, C. A., Henriques, L. M. P., Stouffer, P. C. y Wunderle, J. M. (2006). The responses of understory birds to forest fragmentation, logging and wildfires: an Amazonian synthesis. *Biological Conservation*, 128(2), 182-192.
- Estay Stange, A. E., Rodríguez-Estrella, R. y Bautista Ortega, A. (2015). Nuevos registros de aves en el parque nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl, Puebla, Mexico. *Acta zoológica mexicana*, 31(3), 498-501.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F. y Hernández-García, M. A. (2007). Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 13(1), 67-83.
- Hernández-Baños, B. E., Peterson, A. T., Navarro-Sigüenza, A. G. y Escalante-Pliego, B. P. (1995). Bird faunas of the humid montane forests of Mesoamerica: biogeographic patterns and priorities for conservation. *Bird Conservation International*, 5(2-3), 251-277.
- Leautaud, V. P. y López-García, J. (2017). Detección de árboles dañados por plaga en bosques de *Abies religiosa* en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, mediante fotografías aéreas infrarroja. *Investigaciones Geográficas*, (92), 12.
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Monarrez-Gonzalez, J. C., González-Tagle, M. A. y Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y bosques*, 23(1), 39-51.

- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H. y Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 476-495.
- Ramírez-Albores, J. E. (2013). Riqueza y diversidad de aves de un área de la Faja Volcánica Transmexicana, Tlaxcala, México. *Acta zoológica mexicana*, 29(3), 486-512
- Rivero, M. C., Pérez, A., Martínez, F. R. H. y Pérez, S. B. (2015). Caracterización taxonómica y grupos tróficos de dos comunidades de aves asociadas a bosques semidecíduos y vegetación de Pino-Encino de los senderos “Maravillas de Viñales” y “Valle Ancón” en el Parque Nacional Viñales. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 3(1), 5.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. Recuperado el 16 julio, de: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/parque-nacional-iztaccihuatl-popocatepetl?idiom=es>
- Stratford, J. A. y Stouffer, P. C. (2015). Forest fragmentation alters microhabitat availability for Neotropical terrestrial insectivorous birds. *Biological Conservation*, 188, 109-115.
- Torrens, Y. A., Martínez, F. R. H. y Medel, H. B. (2018). Diversidad de aves residentes permanentes asociadas a un pinar natural de *Pinus tropicalis* y su relación con la estructura vertical de la vegetación. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 6(1), 31-44.
- Villaseñor, J. L. y Ortiz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 134-142.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Avifauna

Dentro del territorio mexicano, los ecosistemas más estudiados con fines avifaunísticos son las selvas, en las que de acuerdo con Navarro-Sigüenza et al. (2014) es donde se encuentra el mayor número de especies del país; aunque la situación cambia si hablamos de endemismos, ya que ahora son los bosques templados los que presentan mayor porcentaje; particularmente los del Eje Volcánico Transversal, siendo el área montañosa la que presenta una vegetación en buen estado de conservación (Chávez-León, 2007).

Especialmente, las aves silvestres son apreciadas por su condición de consumidoras, ya que intervienen en diversos niveles del flujo de energía, a través de la polinización y el consumo de néctar en plantas con flores, así como en la dispersión de semillas en plantas frutales; por otra parte, los estudios en los que se menciona a las aves como consumidores de insectos son escasos; destacando la investigación de Alvarez et al. (2015) quienes realizaron una contribución a la riqueza y diversidad de aves en el municipio de Santa Ana Jilotzingo, Estado de México y describen que *Junco phaeonotus* y *Cardellina rubra* incluyen insectos en su dieta.

2.2 Uso de hábitat por aves

La información disponible sobre uso de hábitat por aves es limitada, destacando la investigación realizada por Kwok (2009), quien después de evaluar un bosque mixto en Hong Kong, China, menciona que no hay dos especies que usen proporciones similares de los estratos verticales y microhábitats al mismo tiempo, y en los casos que si se llega a presentar, las especies de aves se alimentan en diferentes proporciones de estratos verticales. En consecuencia, esta segregación de nicho permite que las especies de aves coexistan en el mismo hábitat.

Una investigación realizada por Pineda-Pérez et al. (2014) en un bosque de San Luis Potosí, describe que los estratos de los cuales las aves obtiene sus alimentos condicionan las técnicas utilizadas por las aves para la cacería,

llegando a presentarse especies de aves que tienen técnicas únicas de cacería y otras que tiene diferentes opciones.

La disponibilidad de los estratos para especies de aves migratorias parece tener más importancia, debido a que estas son afectadas por factores bióticos y abióticos; es por ello que las zonas a las que las aves migratorias lleguen (prioritariamente zonas urbanas) deben de contar con abundantes árboles para proveer hábitat a estas especies (Caicedo-Arguelles y Cruz-Bernate, 2014).

Otro factor que tiene efecto en la disponibilidad de los sustratos alimenticios de las aves es la fenología estacional, Becerra Serial y Grigera (2005) reportan que en los bosques nerpatogónicos de Lengua, durante la temporada de invierno las aves que usan el suelo para alimentarse no pueden permanecer en este debido a que está cubierto de nieve; es por ello que la falta de alimento y la no disponibilidad del sustrato de alimentación determinaran la ausencia de las especies.

2.3 Las aves como control biológico

Barbaro et al. (2013) destacan la importancia en la presencia de las aves insectívoras en invierno para el control biológico de larvas de un defoliador clave (la polilla procesional) del pino. Por otro lado, también se ha estudiado a las aves insectívoras como controladoras de artrópodos en un huerto de sidra. Obteniendo resultados importantes en la disminución de artrópodos en donde existía la presencia de aves (García, Miñarro y Martínez-Sastre, 2018) . A pesar de ello, no se han realizado investigaciones en las que se considere a las aves insectívoras como controladoras de posibles plagas forestales en comunidades vegetales de Pino y Oyamel.

2.4 Problemática

Actividades antropogénicas como la tala, sobrepastoreo, cambio de uso de suelo, entre otras, llevan a la fragmentación de los hábitats naturales, lo cual se considera como un factor importante que contribuye a la pérdida de especies y el declive de las poblaciones de aves. La conservación de los bosques naturales, así como la conectividad entre los diferentes tipos de uso de la tierra, pueden

promover estabilidad en las poblaciones de especies de aves, siempre y cuando se implementen algunas acciones de manejo en estas áreas (Martínez-Bravo, Mancera-Rodríguez y Buitrago-Franco, 2013).

2.5 Literatura citada

Alvarez, T. A. A., González-Alvarado, D. A. y Sarabia, M. S. (2015). Contribución al conocimiento de las aves de las comunidades “El Rincón y San Miguel” municipio de Santa Ana Jilotzingo, Estado de México, México. *Revista de Zoología*, (26), 19-28.

Barbaro, L., Dulaurent, A. M., Payet, K., Blache, S., Vetillard, F. y Battisti, A. (2013). Winter bird numerical responses to a key defoliator in mountain pine forests. *Forest ecology and management*, 296, 90-97.

Becerra Serial, R. M. y Grigera, D. (2005). Dinámica estacional del ensamble de aves de un bosque norpatagónico de lenga (*Nothofagus pumilio*) y su relación con la disponibilidad de sustratos de alimentación, *Hornero*, 20(2), 131-139.

del Pilar Caicedo-Argüelles, A. y Cruz-Bernate, L. (2014). Actividades diarias y uso de hábitat de la reinita amarilla (*Setophaga petechia*) y la piranga roja (*Piranga rubra*) en un área verde urbana de Cali, Colombia. *Ornitología Neotropical*, 25, 247-260.

Chávez-León, G. (2007). Riqueza de aves del parque nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacan, Mexico. *Acta zoológica mexicana*, 23(2), 11-29.

García, D., Miñarro, M. y Martínez-Sastre, R. (2018). Birds as suppliers of pest control in cider apple orchards: Avian biodiversity drivers and insectivory effect. *Agriculture, ecosystems & environment*, 254, 233-243.

Kwok, H. K. (2009). Foraging ecology of insectivorous birds in a mixed forest of Hong Kong. *Acta Ecologica Sinica*, 29(6), 341-346.

- Martínez-Bravo, C. M., Mancera-Rodríguez, N. J. y Buitrago-Franco, G. (2013). Diversidad de aves en el Centro Agropecuario Cotové, Santa Fe de Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 61(4), 1597–1617.
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H. y Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 476-495.
- Pineda-Pérez, F. E., Ugalde-Lezama, S., Tarango-Arámbula, L. A., Lozano-Osornio, A. y Cruz-Miranda, Y. (2014). Ecología trófica de aves insectívoras en un área natural protegida de San Luis Potosí, México. *Agroproductividad*, 7(5).

3 CAPITULO III. PRIMER ARTÍCULO CIENTÍFICO

Diversidad de aves en dos comunidades vegetales de un bosque templado en el Eje Volcánico Transmexicano

Diversity of birds in two plant communities of a temperate forest in the Eje Neovolcanico Transversal

Uriel Marcos-Rivera^a, Saúl Ugalde-Lezama^{b*}, José Luis Romo-Lozano^a, Gabriel Arcángel Rodríguez-Yam^a

^aDivisión de Ciencias Forestales. ^bDepartamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38, Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, México. C.P. 56230. urimr-93@hotmail.com, biologo_ugalde@hotmail.com*, jlromo@aya.yale.edu, grodrigu@correo.chapingo.mx

3.1 Resumen

Los bosques templados del Eje Volcánico Transmexicano conservan importante diversidad y endemismos de aves en México. Durante mayo a octubre de 2018 se evaluaron los patrones de diversidad avifaunística en un bosque templado del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl con 2 comunidades vegetales (CV): Oyamel (CVO) y Pino (CVP). En cada CV se estableció un diseño de muestreo sistemático para el seguimiento de las aves, este se realizó con 2 metodologías: Recuento en puntos con radio fijo y búsqueda intensiva. La riqueza se estimó con Jackknife 1, la abundancia con el índice de Abundancia Relativa (IAR), la diversidad mediante Shannon-Wiener y la Similitud con Jaccard; se usó la prueba bondad de ajuste de χ^2 para detectar diferencias significativas entre los individuos observados con los teóricamente esperados, y con Kruskal-Wallis las diferencias significativas de los estimadores empleados. Se registraron 38 especies pertenecientes a 16 familias, *Junco phaeonotus* fue la más representativa, la $H^{\prime}=3.16$ refleja una diversidad estable, Jaccard mostró similitud entre ambas CV del 33%, y no existieron diferencias significativas entre CV con los estimadores aplicados. A pesar de la homogeneidad estructural de ambas CV, estas conservan una diversidad avifaunística particular de los bosques templados, y son refugio de especies endémicas y migratorias.

Palabras clave: Avifauna; *Pino hartweggi*; Jackknife 1; Shannon-Wiener; Riqueza de especies; Abundancia relativa

3.2 Abstract

The temperate forests of the Transmexican Volcanic Belt preserve an important diversity and endemism of birds in Mexico. During May to October 2018, avifaunal diversity patterns were evaluated in a temperate forest of the Iztaccíhuatl-Popocatepetl National Park with 2 vegetation communities (CV): Oyamel (CVO) and Pino (CVP). In each CV a systematic sampling design was established for bird monitoring, this was done with 2 methodologies: Counting in points with fixed radius and intensive search. Richness was estimated with Jackknife 1, abundance with the Relative Abundance Index (IAR), diversity through Shannon-Wiener and Jaccard Similarity; the goodness of fit test of χ^2 was used to detect significant differences between the observed individuals with the theoretically expected ones, and with Kruskal-Wallis the significant differences of the estimators used. 38 species belonging to 16 families were recorded, *Junco phaeonotus* was the most representative, $H' = 3.16$ reflects a stable diversity, Jaccard showed similarity between CV of 33%, and there were no significant differences between CV and the applied estimators. In spite of the structural homogeneity of both CV, they preserve a particular avifaunal diversity of the temperate forests, and are a refuge for endemic and migratory species.

Keywords: Avifaunal; *Pino hartweggi*; Jackknife 1; Shannon-Wiener; Wealth of species; Relative abundance

3.3 Introducción

La ornitofauna mundial está conformada por 10 738 especies aproximadamente (Gill y Donsker, 2019), de las cuales, 1 107 habitan los diferentes ecosistemas del territorio mexicano (Berlanga et al., 2017) representando por lo menos el 11% de la riqueza de la avifauna mundial. Esto posiciona a México en el 11° lugar en riqueza avifaunística entre los países megadiversos, y el cuarto lugar en la proporción de especies endémicas (de 194 a 212), concentrándose mayor riqueza a lo largo del oeste mexicano; en la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur, planicie costera del Pacífico y el Eje Volcánico Transmexicano (EVT) (Navarro-Sigüenza et al., 2014).

El EVT resalta por su ubicación geográfica entre dos regiones continentales (Neártica y Neotropical), resultando una región fisiográfica que permiten el desarrollo de diferentes comunidades vegetales (Suárez-Mota y Téllez-Valdés, 2014). Dichas comunidades vegetales exhiben una composición de avifauna y de flora que son biogeográficamente más complejas que la de otros bosques de Centroamérica (Hernández-Baños et al., 1995).

Sin embargo, los bosques templados (BT) del EVT se han visto afectados progresiva y paulatinamente por importantes procesos naturales y antropogénicos que en consecuencia llevan a la reducción de los hábitats, resultando grave para el ecosistema, dado que el endemismo y la complejidad de selección del mismo en ciertos grupos de aves es alta para estos bosques (Moreno, 2011), además las alteraciones en el hábitat, así como los impactos del cambio climático, pueden aumentar la probabilidad de extinción de aves (Sekercioglu et al., 2004).

Localmente, la Estación Forestal Experimental Zoquiapan se ubica al sur del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl en el EVT, exhibiendo comunidades vegetales de pino y oyamel, en las cuales la fragmentación del hábitat ocasionada principalmente por la tala y el pastoreo parecen afectar de alguna forma los patrones de diversidad, disminuyendo la riqueza de especies.

A pesar de la importancia ecológica-científica que las aves desempeñan en el área de estudio, aún se desconocen los patrones de diversidad presentes, particularmente en las comunidades vegetales exclusivas de pino (*Pinus hartweggi*) y oyamel (*Abies religiosa*). Es por ello que el objetivo del presente estudio fue analizar la riqueza, abundancia y diversidad de aves en un bosque templado con dos comunidades vegetales (Pino y Oyamel), localizados al sur del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl en el EVT, con el propósito de aportar información actualizada para la toma de decisiones sobre manejo y conservación de las poblaciones de aves en esta región.

3.4 Materiales y métodos

Área de estudio. La Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ) se localiza al sur del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, en el municipio de

Ixtapaluca, Estado de México. Posee una superficie de 1 640 ha, y forma parte de la Sierra Nevada en la región centro del Eje Volcánico Transmexicano. Se ubica entre las coordenadas geográficas 19° 12' 30" a 19° 20' 00" N y 98° 30' 00" a 98° 42' 30" O, a una altitud entre los 3 080 y 3 690 m.s.n.m. Dentro del predio de la EFEZ, se delimitaron 2 comunidades vegetales (CV): una de *Pinus hartweggi* (CVP) y la otra de *Abies religiosa* (CVO). En cada CV se trazó un diseño de Muestreo Sistemático (MS) con distancias predeterminadas de 200 m longitudinales entre cada unidad de elección (UEI) y en arreglos a manera de cuadrículas (Ralph et al., 1996), estableciendo 8 UEI (puntos de muestreo) para CVP y CVO, respectivamente (Figura 3.1).

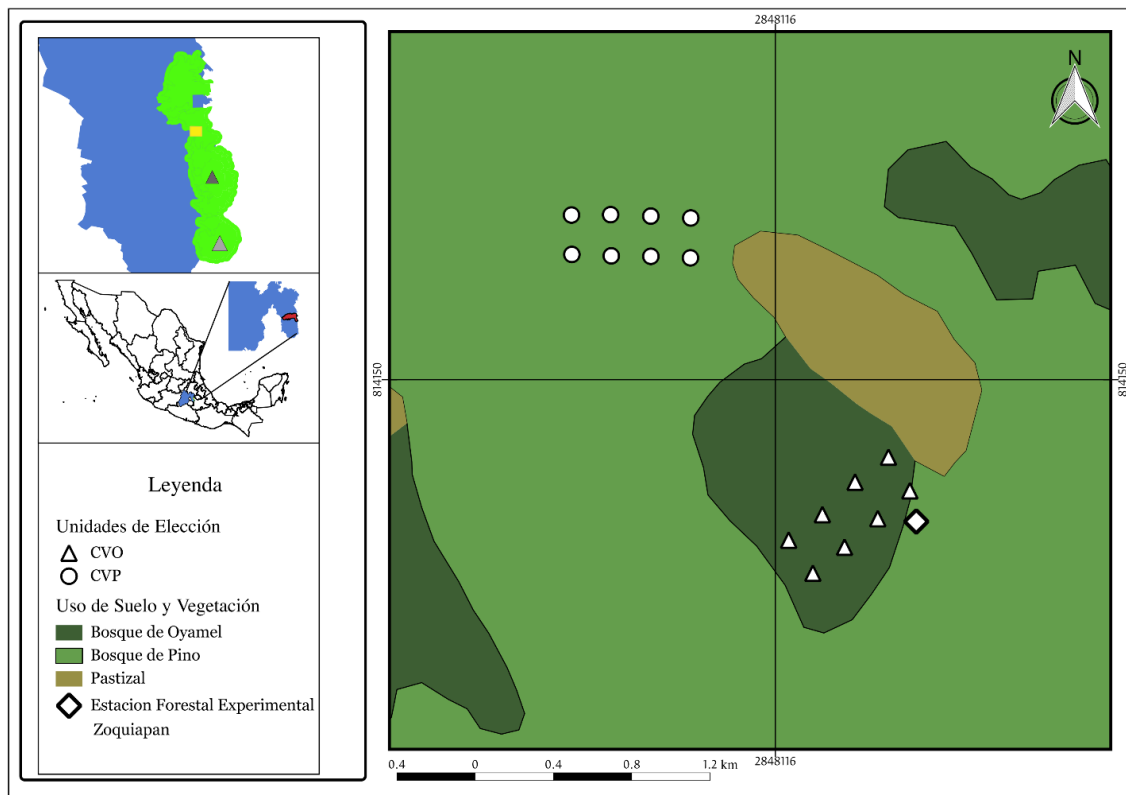


Figura 3.1. Ubicación del área de estudio y diseño de muestreo en la EFEZ.

Esquema de seguimiento para aves. El seguimiento de las aves se realizó de manera mensual durante mayo a octubre de 2018, dedicando un día para cada CV, en un horario comprendido entre las 07:00 y las 14:00 h. Dichos seguimientos se realizaron empleando dos metodologías de forma mixta, 1) Recuento en Puntos con Radio Fijo (RPRF) de 25 m y 2) Búsqueda Intensiva (BI) (Ralph et al. 1996). Se utilizaron de

manera mixta por ser complementarias y reducir el sesgo por la poca o escasa identificación auditiva; particularmente en aquellas aves con comportamiento quieto, conspicuo y silencioso (Ralph et al. 1996). Los avistamientos de las aves se realizaron con binoculares de 8 x 42 mm (Bushnell). La identificación taxonómica de los ejemplares en campo se realizó empleando guías ornitológicas estándar (Dunn et al., 2017; Peterson y Chalif, 1989); la actualización de su nomenclatura taxonómica se realizó considerando la American Ornithological Society (AOS; Chesser et al., 2018); su estado de conservación nacional con la NOM-059-2010 (Semarnat, 2010) e internacional con la Lista Roja de la IUCN (IUCN, 2019), y por último, su estatus de distribución anual se revisó en la base de datos de la CONABIO (2015).

Análisis de los datos. Algunos de los análisis se realizaron juntando los datos de las dos CV, esto para hacer inferencia a la zona de estudio en general, denominándose “Ambas CV”.

Para analizar la riqueza de especies en Ambas CV se empleó el estimador de Jackknife 1 (Butler y Chazdon, 1998), la representatividad de las mismas en CVP y CVO se calculó con el Índice de Abundancia Relativa (IAR), la diversidad de especies promedio, mínima y máxima en CVP, CVO y Ambas CV se obtuvo con el estimador de Shannon-Wiener (Parker, 1976), y el grado de semejanza entre CVP y CVO con el Coeficiente de Similitud de Jaccard (Magurran, 1988; Pielou, 1975); para el cálculo de los estimadores antes mencionados se usó el software Estimates versión 9.1.0 (Colwell et al., 2012) y para representaciones gráficas se utilizó el programa Excel (2016).

Para determinar si existe diferencias significativas entre la proporción observada de individuos con respecto a la proporción teórica en Ambas CV se utilizó una prueba de bondad de ajuste de χ^2 con los datos del IAR, bajo la hipótesis:

Si $\chi^2_{\text{obs}} \geq \chi^2_{\text{tab}}$ rechazo H_0 (la proporción observada del IAR, no es la que teóricamente concurre en las CV).

Para posibles diferencias significativas en la riqueza y la diversidad entre Ambas CV, se usaron los datos obtenidos de los estimadores de Jackknife 1 y Shannon-Wiener respectivamente, y se sometieron a pruebas de Kruskal-Wallis, considerado

previamente supuestos de normalidad y homogeneidad en las varianzas (Zar, 1999); los análisis mencionados se llevaron a cabo en JMP IN v.14.0.1 (2018); empleando en todos los casos un $\alpha = 0.05$.

3.5 Resultados

Se reconocieron 38 especies pertenecientes a 16 familias, de las cuales, 8 fueron exclusivas de CVO, 11 de CVP y 19 se compartieron entre ambas CV. A nivel mundial, todas ellas se encuentran en la categoría Preocupación menor (Least concern; LC); en el contexto nacional, *Accipiter striatus* está sujeta a Protección especial (Pr) y *Dryobates stricklandi* como Amenazada; 5 especies son endémicas, 2 semiendémicas y 2 Cuasiendémica; además, se encontraron diferentes categorías fenológicas de residencia (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Taxonomía y estatus nacional e internacional de las aves registradas en ambas CV de la EFEZ.

No.	Familias	Especie (AOS)	Nombre común	Comunidad vegetal		IUCN	NOM	Endemismo residencia	y
1	Accipitridae	<i>Accipiter striatus</i>	Gavilán pecho canela	CVO	CVP	LC	Pr	ne, MI, R	
2	Certhiidae	<i>Certhia americana</i>	Trepadorcito americano	CVO	CVP	LC	sc	ne, R, MI	
3	Corvidae	<i>Cyanocitta stelleri</i>	Chara copetona	CVO	CVP	LC	sc	ne, R	
4	Fringillidae	<i>Loxia curvirostra</i>	Picotuerto rojo		CVP	LC	sc	ne, R	
5	Fringillidae	<i>Spinus pinus</i>	Jilguerito pinero	CVO	CVP	LC	sc	ne, R, MI	
6	Paridae	<i>Poecile sclateri</i>	Carbonero mexicano	CVO	CVP	LC	sc	CE, R	
7	Parulidae	<i>Cardellina pusilla</i>	Chipe corona negra	CVO	CVP	LC	sc	ne, MI	
8	Parulidae	<i>Cardellina rubra</i>	Chipe rojo	CVO		LC	sc	EN, R	
9	Parulidae	<i>Myioborus miniatus</i>	Pavito alas negras	CVO	CVP	LC	sc	ne, R	
10	Parulidae	<i>Myioborus pictus</i>	Pavito alas blancas	CVO	CVP	LC	sc	ne, R	
11		<i>Oreothlypis</i>							
	Parulidae	<i>superciliosa</i>	Chipe cejas blancas	CVO	CVP	LC	sc	ne, R	
12	Parulidae	<i>Parkesia motacilla</i>	Chipe arroyero	CVO		LC	sc	ne, MI	
13	Parulidae	<i>Setophaga coronata</i>	Chipe rabadilla amarilla		CVP	LC	sc	ne, MI, R	
14		<i>Setophaga</i>							
	Parulidae	<i>nigrescens</i>	Chipe negrogris		CVP	LC	sc	SE, MI	
15		<i>Setophaga</i>							
	Parulidae	<i>townsendi</i>	Chipe de Townsend	CVO	CVP	LC	sc	ne, MI	
16	Passerellidae	<i>Atlapetes pileatus</i>	Rascador gorra canela	CVO	CVP	LC	sc	EN, R	
17	Passerellidae	<i>Junco phaeonotus</i>	Junco ojos de lumbre	CVO	CVP	LC	sc	CE, R	
18		<i>Oriturus</i>							
	Passerellidae	<i>superciliosus</i>	Zacatonero serrano		CVP	LC	sc	EN, R	
19		<i>Peucedramus</i>							
	Peucedramidae	<i>taeniatus</i>	Ocotero enmascarado		CVP	LC	sc	ne, R	
20			Carpintero de pechera común						
	Picidae	<i>Colaptes auratus</i>			CVP	LC	sc	ne, R, MI	

21		<i>Dryobates</i>						
	Picidae	<i>stricklandi</i>	Carpintero de Strickland	CVO		LC	A	EN, R
22	Picidae	<i>Dryobates villosus</i>	Carpintero vellosos	CVO		LC	sc	ne, R
23			Reyezuelo corona					
	Regulidae	<i>Regulus satrapa</i>	amarilla	CVO		LC	sc	ne, R, MI
24	Sittidae	<i>Sitta carolinensis</i>	Bajapalos pecho blanco		CVP	LC	sc	ne, R
25	Sittidae	<i>Sitta pygmaea</i>	Bajapalos enano	CVO	CVP	LC	sc	ne, R
26	Trochilidae	<i>Eugenes fulgens</i>	Colibrí magnífico	CVO		LC	sc	ne, R
27	Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	Saltapared común	CVO	CVP	LC	sc	ne, R, MI, T
28		<i>Catharus</i>						
	Turdidae	<i>occidentalis</i>	Zorzal mexicano	CVO	CVP	LC	sc	EN, R
29	Turdidae	<i>Sialia mexicana</i>	Azulejo garganta azul	CVO	CVP	LC	sc	ne, R, MI
30	Turdidae	<i>Sialia sialis</i>	Azulejo garganta canela	CVO	CVP	LC	sc	ne, MI, R
31	Turdidae	<i>Turdus grayi</i>	Mirlo café		CVP	LC	sc	ne, R
32	Turdidae	<i>Turdus migratorius</i>	Mirlo primavera	CVO	CVP	LC	sc	ne, R, MI
33	Tyrannidae	<i>Contopus pertinax</i>	Papamoscas José María	CVO		LC	sc	ne, R
34			Papamoscas amarillo del					
	Tyrannidae	<i>Empidonax difficilis</i>	Pacífico	CVO		LC	sc	SE, MI, R
35		<i>Empidonax</i>						
	Tyrannidae	<i>fulvifrons</i>	Papamoscas pecho canela		CVP	LC	sc	ne, R, MI, MV
36		<i>Empidonax</i>						
	Tyrannidae	<i>hammondii</i>	Papamoscas de Hammond		CVP	LC	sc	ne, MI
37	Tyrannidae	<i>Empidonax sp.</i>	Papamoscas	CVO	CVP	LC	sc	Sc
38	Vireonidae	<i>Vireo huttoni</i>	Vireo reyezuelo		CVP	LC	sc	ne, R

Símbología: sc= sin categoría, Pr = Protección especial, A = Amenazadas, LC (Least concern) = Preocupación menor, ne= no endémica, EN= Endémica, SE=

Semiendémica, CE= Cuasiendémica, R= Residente, MI= Migratoria de Invierno, MV= Migratoria de Verano, T= Transitoria

Los resultados de Jacknife 1 (Figura 3.2), indican que la riqueza estimada en Ambas CV fue de 38 especies (52%), faltando por conocer el 48%.

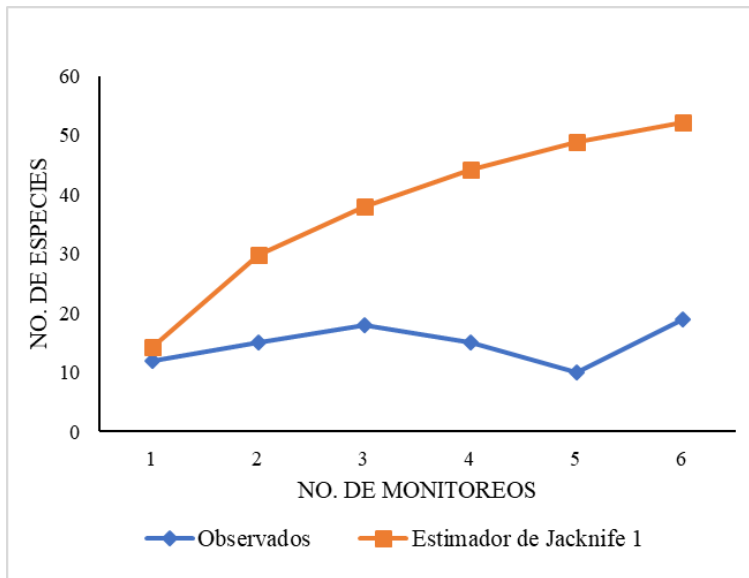


Figura 3.2. Curva de acumulación de especies mediante el estimador de Jacknife 1 durante los monitoreos en Ambas CV de la EFEZ.

Se registraron 248 individuos en total. El IAR indicó que *Junco phaeonotus* es la especie más representativa para CVP (0.2313/0.5ha) y CVO (0.2018/0.5ha), seguida por *Oriturus superciliosus* (0.1119/0.5ha) para CVP y *Cyanocitta stelleri* (0.1140/0.5ha) para CVO (Figura 3.3).

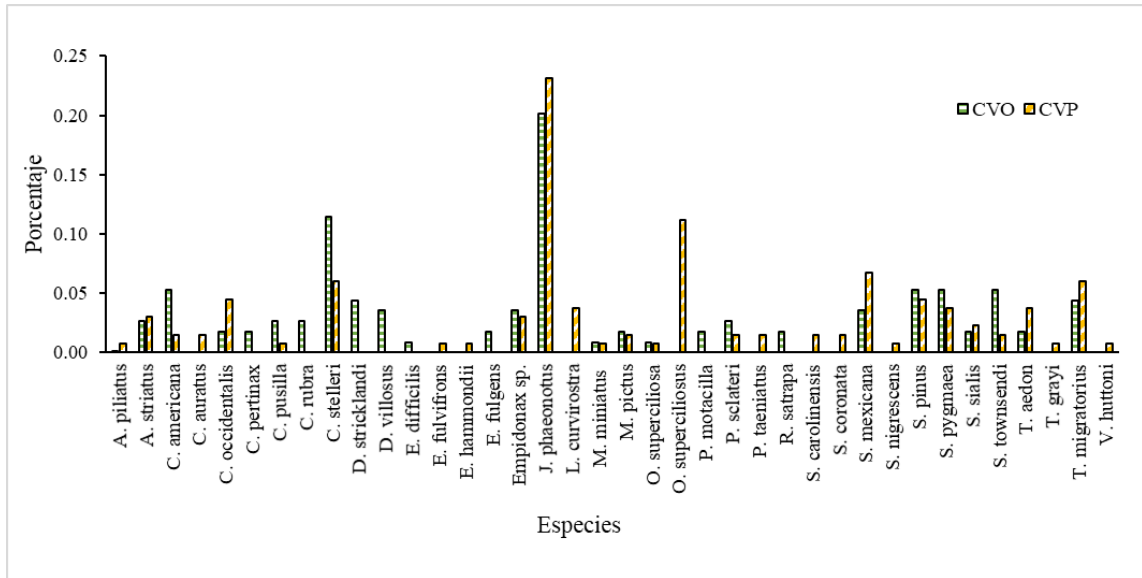


Figura 3.3. Representatividad de especies mediante el índice de abundancia relativa para CVP y CVO en la EFEZ.

Los resultados del estimador de Shannon-Wiener para la diversidad promedio de CVO, CVP y Ambas CV fueron: CVO $H' = 2.76$, CVP $H' = 2.83$ y ambas CV $H' = 3.16$ (Figura 3.4).

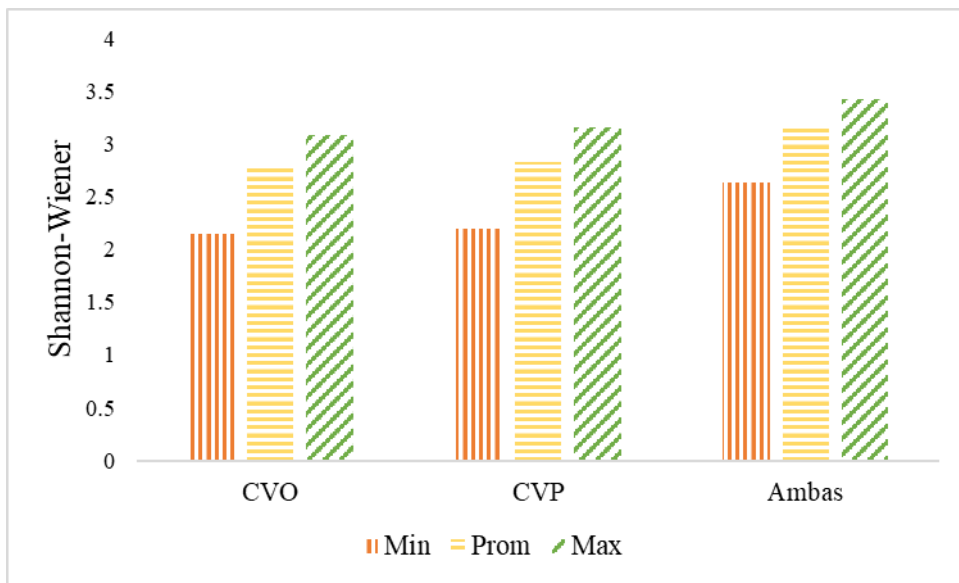


Figura 3.4. Estimador de diversidad de Shannon-Wiener en la EFEZ.

Los resultados del coeficiente de similitud de Jaccard evidencia que existe una similitud promedio del 33% entre las comunidades vegetales evaluadas.

Los resultados de la prueba bondad de ajuste de χ^2 (abundancias) evidencian que si se registró el número de individuos que potencialmente concurre en Ambas CV. La prueba de Kruskal-Wallis (riqueza y diversidad) muestra que no existen diferencias significativas en cada uno de los estimadores de interés, para lo cual, no se rechaza H_0 : $CV_O=CV_P$ con valor de significancia de $\alpha= 0.05$ (Tabla 3.2). Ambas comunidades vegetales son similares en cada uno de los estimadores bajo evaluación.

Tabla 3.2. Valores de la prueba bondad de ajuste de χ^2 para la abundancia y Kruskal-Wallis para riqueza y diversidad de Ambas CV en la EFEZ.

Estimador	N	Gl	R ² (U)	χ^2		
				Ji ² (Pearson)	Prov> ji ² (Pearson)	χ^2 de tablas (Pearson)
Abundancia IAR	12	7	0.2284	8.000	0.3326	14.06
Kruskal-Wallis						
Estimador	Ji cuadrada	Gl	Prob> Ji cuadrado			
Riqueza (Jacknife 1)	11.0000	11	0.4433			
Diversidad (H')	9.1667	10	0.5164			

3.6 Discusión

En este estudio se registró la mitad de las especies estimadas por Jacknife1 en Ambas CV y, aunque pareciera que la avifauna es una comunidad relativamente fácil de cuantificar (Walther y Morand, 1998) en comparación de otros taxones (Remsen, 1994), existen factores que intervienen en su identificación. Esto contrasta con Terborgh et al. (1990) quienes mencionan que la heterogeneidad del hábitat permite un alto número de especies, la cual limita la identificación de las mismas. A pesar de esto, se logró registrar el 24% de la avifauna que habita el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (CONANP, 2013), y el 8% a nivel Estado de México (de Sucre-Medrano et al., 2009), resaltando que para el presente estudio se consideró solamente vegetación dominada por oyamel (*A. religiosa*) y pino (*P. hartweggi*). En términos de endemismos, una cuarta parte de las aves registradas se consideran endémicas, semiendémicas o cuasiendémicas. Lo cual refleja lo dicho por Navarro-Sigüenza et al. (2014), quienes

mencionan que los bosques templados albergan mayor cantidad de aves endémicas en comparación de otros ecosistemas en México.

El listado de riqueza obtenido en la presente, corrobora y actualiza en términos taxonómicos los trabajos realizados por Ugalde-Lezama et al. (2010, 2012) quienes registraron 51 especies para la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, pero en dichos estudios algunas especies ya cambiaron de género, solo por mencionar a los pájaros carpinteros (*Picoides*) quienes ahora se conocen como *Dryobates*; además en su listado se ausentan *A. striatus*, *Loxia curvirostra*, *Setophaga nigrescens*, *Sialia sialis* y *Spinus pinus*, mismas que fueron registradas en la presente. Por otra parte, se enriquece el conocimiento de la avifauna presente en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, con la finalidad de aportar información particular de los bosques templados, tal y como lo sugieren otros autores (Cárdenas et al., 2003; Meléndez-Herrada et al., 2003; Faggi et al., 2006; Morelli et al., 2018; Skórka et al., 2018) creando información básica y de entornos específicos de las aves.

Respecto a la abundancia, en Ambas CV, *J. phaeonotus* fue la especie más abundante, dejando por un rango amplio de número de individuos al resto; y, aunque en este trabajo no se consideró alguna clasificación respecto al número de individuos (abundante, rara, ocasional, entre otras), esto contrasta con Ramírez-Albores (2013) y Almazán-Núñez (2009) quienes registraron en mayor proporción especies con menor número de individuos (raras) que con mayor número de los mismos (abundantes). Para el presente estudio, se considera que la abundancia de *J. phaeonotus* está determinada por sus aspectos biológicos; es un ave paseriforme que siempre se desplaza en parvadas y, de acuerdo a Boysen et al. (2001) en todo momento los juncos están atentos y vigilantes de cualquier depredador y rara vez se encontraran solitarios.

Otras especies de aves registradas tanto en CVO como en CVP fueron *Colaptes auratus*, *Dryobates stricklandi* y *D. villosus*, conocidos comúnmente como carpinteros. Estas aves tienen la particularidad de habitar obligatoriamente en cavidades presentes en la vegetación arbórea (Monterrubio-Rico y Escalante-Pliego, 2006), los ejemplares observados de estas especies siempre se localizaron en la parte superior de

oyameles y pinos, es por ello la importancia de conservar en dichos bosques ejemplares de vegetación en diferentes estados de madures.

De acuerdo a Magurran (1989) la diversidad registrada con el estimador de Shannon-Wiener en CVO y CVP se considera diversidad media. De forma similar Ramírez-Albores (2013) aplicó dicho índice para determinar la diversidad de aves en diferentes usos de suelo y vegetación, y obtuvo una $H' = 3.22$ para la vegetación de pino, lo cual resulta en una diversidad media para ese tipo de vegetación en el municipio de Nanacamilpa, Tlaxcala.

Al no presentarse diferencias significativas en la riqueza, abundancia y diversidad entre CVP y CVO, se puede inferir que ambas comunidades vegetales presentan homogeneidad estructural en su vegetación. Es por ello que se recomienda realizar estudios en los que se evalúe cómo el hábitat y la vegetación interfieren en la presencia de las aves en comunidades vegetales de pino y oyamel.

Podemos concluir que los estudios de riqueza, abundancia y diversidad son de suma importancia para saber el estado actual de la avifauna. El objetivo de la presente se cumplió, y deja las pautas para futuros estudios en esta región del PNIP. Es el primer trabajo en el que se evalúa los patrones de diversidad avifaunística considerando como zonas de estudio dos comunidades vegetales particulares de los bosques templados.

3.7 Agradecimientos

Al Ing. Fortino García e Isaac Ramírez Barraza por el permiso y apoyo en las estancias dentro de la EFEZ, a los ingenieros Sebastián Escobar Alonso, Edgar Espinosa Guerrero, a la Biól. Claudia Iveth Girón Pillado, los alumnos de Recursos Naturales Renovables, Juan Ignacio López Luna y Domingo Álvarez Rojas por la grata compañía en los trabajos de campo. Al Ing. José Daniel Alderete Rojas por el apoyo en Sistemas de Información Geográfica. A los biólogos Francisco Javier Fregoso Padilla y Mirna Saraí Flores Cano, encargados del laboratorio de fauna silvestre de la DICIFO/CHAPINGO por facilitarme el préstamo de diferentes materiales indispensables en campo.

3.8 Referencias

Addinsoft, S. A. R. L. (2018). XLSTAT software, versión 2018.5. Addinsoft, Paris, France.

Almazán-Núñez, R. C., Puebla-Olivares, F., y Almazán-Juárez, Á. (2009). Diversidad de aves en bosques de pino-encino del centro de Guerrero, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 25(1), 123–142.

Berlanga, H., Gómez de Silva, H., Vargas-Canales V. M., Rodríguez-Contreras, V., Sánchez-González, L. A., Ortega-Álvarez, R. et al. (2017). *Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes*. CONABIO. México, D.F.

Boysen, A. F., Lima, S. L., y Bakken, G. S. (2001). Does the thermal environment influence vigilance behavior in dark-eyed juncos (*Junco hyemalis*)? An approach using standard operative temperature. *Journal of Thermal Biology*, 26, 605-612.

Butler, B. J., y Chazdon R. L. (1998). Species richness, spatial variation, and abundance of the soil seed bank of a secondary tropical rain forest. *Biotropica*, 30, 214–222.

Cárdenas, G., Harvey, C. A., Ibrahim, M., y Finegan, B. (2003). Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería En Las Américas*, 10, 39-40.

Chesser, R. T., Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Kratter, A. W. y Lovette, I. J. (2018). Check-list of North American Birds. American Ornithological Society. Recuperado el 12 marzo, 2019 de: <http://checklist.aou.org/taxa>.

Colwell, R. K., Chao, A., Gotelli, N. J., Lin, S.-Y., Mao, C. X., Chazdon, R. L. et al. (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation, and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*, 5, 3-21.

Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2015). Avesmx. Todas las aves de México. Recuperado el 15 mayo, 2019 de: <http://avesmx.conabio.gob.mx/Especies.html#todas>

- Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2013). *Programa de manejo Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl*. México, D. F.
- de Sucre-Medrano, A. E., Ramírez-Bastida, P., Gómez-de Silva, H. y Ramírez-Varela, S. 2009. Aves. En G. Ceballos, R. List, G. Garduño, R. López, M. Quintanar, E. Collado y J. E. San Román (Eds.), *La diversidad biológica del Estado de México: estudio de estado* (pp. 321-383). Conabio, Gobierno del Estado de México.
- Dunn, J. L. y Alderfer, J. K. (2017). *Field guide to the birds of North America*. National Geographic Books.
- Faggi, A., y Perepelizin, P. (2006). Riqueza de aves a lo largo de un gradiente de urbanización en la ciudad de Buenos Aires. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 8, 289-297.
- Gill, F., y Donsker, D. (Eds). (2019). IOC World Bird List. Versión 9.1. Recuperado el 10 mayo, 2019 de: <https://www.worldbirdnames.org/>
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. I. y Black, W. (1999). *Análisis Multivariante*. Editorial Prentice Hall. Madrid.
- Hernández-Baños, B. E., Peterson, A. T., Navarro-Sigüenza, A. G., y Escalante-Pliego, B. P. (1995). Bird faunas of the humid montane forests of Mesoamerica: biogeographic patterns and priorities for conservation. *Bird Conservation International*, 5, 251–277.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). (2019). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Recuperado el 14 mayo, 2019 de: <https://www.iucnredlist.org>
- JMP IN: Statistics for the Apple Macintosh. Statistics and graphics guide. (2018). Version 14.0.1. Academic SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- Magurran, A. E. (1988). Why diversity? En A. E. Magurran (Eds.), *Ecological diversity and its measurement* (pp. 1–5). New Jersey: Princeton University Press Princeton.

- Meléndez-Herrada, A., Trigo Boix, N., Chimal-Hernández, A. (2003). Aves del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y su importancia para el ecoturismo. En G. W. Heil, R. Bobbink y N. Trigo Boix (Eds.), *Ecología y el Hombre en el Área de Volcanes Centrales de México*. Springer, Dordrecht
- Microsoft Excel (2016). Microsoft Office para Windows.
- Monterrubio-Rico, T. C., y Escalante-Pliego, P. (2006). Richness, distribution and conservation status of cavity nesting birds in Mexico. *Biological Conservation*, 128, 67-78.
- Morelli, F., Benedetti, Y., Mousseau, T. A., y Moller, A. P. (2018). Ionizing radiation and taxonomic, functional and evolutionary diversity of bird communities. *Journal of environmental management*, 220, 183-190.
- Moreno, R., Zamora, R., Molina, J. R., Vasquez, A., y Herrera, M. Á. (2011). Predictive modeling of microhabitats for endemic birds in South Chilean temperate forests using Maximum entropy (Maxent). *Ecological Informatics*, 6, 364–370.
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H., y Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 476-495.
- Parker, R. E. (1976). *Estadística para Biólogos*. Ediciones Omega S. A. Barcelona, España.
- Peterson, R. T., y Chalif, E. D. (1989). *Aves de México*. Editorial Diana, México, D.F.
- Pielou, C. (1975). *Ecological Diversity*. John Wiley, New York.
- 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*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.

Ramírez-Albores, J. E. (2013). Riqueza y diversidad de aves de un área de la Faja Volcánica Transmexicana, Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 29, 486-512.

Remsen, J. V. (1994). Use and misuse of bird lists in community ecology and conservation. *The Auk*, 111, 225-227.

Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (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 de 2010, Segunda Sección, México.

Sekercioglu, C. H., Daily, G. C., y Ehrlich, P. R. (2004). Ecosystem consequences of bird declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 18042–18047.

Skórka, P., Żmihorski, M., Grzędzicka, E., Martyka, R., y Sutherland, W. J. (2018). The role of churches in maintaining bird diversity: A case study from southern Poland. *Biological conservation*, 226, 280-287.

Suárez-Mota, M. E., y Téllez-Valdés, O. (2014). Red de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad del Eje Volcánico Transmexicano analizando su riqueza florística y variabilidad climática. *Polibotánica*, 38, 67–93.

Terborgh, J, Robinson, S. K., Parker, T. A., Munn, C. A. y Pierpont, N. (1990). Structure and organization of an Amazonian bird community. *Ecological Monographs*, 60, 213-238.

Ugalde-Lezama, S., Alcántara-Carbajal, J. L., Tarango-Arámbula, L. A., Ramírez-Valverde, G., y Mendoza-Martínez, G. D. (2012). Fisonomía vegetal y abundancia de aves en un bosque templado con dos niveles de perturbación en el Eje Neovolcánico Transversal. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83, 133-143.

Ugalde-Lezama, S., Alcántara-Carbajal, J. L., Valdez-Hernández, J. I., Ramírez-Valverde, G., Velázquez-Mendoza, J. y Tarángo-Arámbula, L. A. (2010). Riqueza,

abundancia y diversidad de aves en un bosque templado con diferentes condiciones de perturbación. *Agrociencia*, 44, 159-169.

Walther, B. A. y Morand, S. (1998) Comparative performance of species richness estimation methods. *Parasitology*, 116, 395-405.

Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

4 CAPITULO IV. SEGUNDO ARTÍCULO CIENTÍFICO

Comportamiento y uso de hábitat por aves en relación a la fisonomía vegetal de un bosque templado del Eje Volcánico Transmexicano

4.1 Resumen

Los bosques del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PNIP) se han visto afectados por acciones antrópicas que repercuten sobre el comportamiento de la avifauna. El objetivo de este trabajo fue determinar los principales comportamientos y las técnicas de cacería exhibidos por las aves sobre la fisonomía vegetal (estratos, sustratos y estructuras de los sustratos) de una comunidad vegetal (CV) de pino (CVP) y otra de oyamel (CVO) en la parte sur del PNIP. En cada CV se trazó un diseño de muestreo sistemático para la obtención de datos. El seguimiento de las aves se realizó de manera mensual (mayo-octubre, 2018) empleando una metodología mixta: 1) recuento en puntos con radio fijo y, 2) búsqueda intensiva. Paralelamente, se registraron los comportamientos y técnicas de cacería, así como los sustratos, estratos, y las estructuras de los sustratos (fisonomía vegetal) donde se exhibían las aves. Se realizaron dos Análisis de Componentes Principales (ACP): 1) variables de comportamiento y 2) variables de la fisonomía vegetal, para reducir el número de variables a conjuntos más representativos, y un Análisis Canónico de Correspondencia para observar gráficamente la relación entre las variables dependientes e independientes. Los dos ACP mostraron más del 50% de variabilidad representada en los dos primeros componentes, el ACC mostro que las aves se alimentan inspeccionando a sus presas, además, pocas especies están completamente relacionadas con los estratos y sustratos, lo que se puede entender como una variabilidad de elección por las aves para el uso de estos componentes en la fisonomía vegetal.

Palabras clave: Sustratos; estratos; técnicas de cacería; componentes principales; correspondencias canónicas

4.2 Introducción

Los bosques templados constituyen el hábitat para un importante número de especies de aves, brindándoles diversos recursos. La disponibilidad de dichos recursos puede determinar la dinámica y estructuración de las comunidades avifaunísticas; mismas que son consideradas uno de los grupos taxonómicos más dominantes, debido a las diversas estrategias conductuales y morfológicas que han desarrollado en los diferentes ecosistemas que habitan, lo que les ha permitido optar entre bosques abiertos-cerrados, perturbados-conservados, húmedos-secos, entre otros, manteniendo relativamente las comunidades vegetales y animales de las cuales se sustentan (Almazán-Núñez, Puebla-Olivares y Almazán-Juárez, 2009). En general, los comportamientos que las aves realizan están definidos por la selección natural, misma que se integra por eventos y coacciones que determinan la supervivencia de las especies y el éxito reproductivo (Frere et al., 2005).

El hábitat juega un papel importante en la presencia de las aves; la estructura y la fisonomía de la vegetación poseen gran importancia ya que pueden determinar, entre otros aspectos, la disponibilidad de zonas de percha para cantar y vocalizar, cobertura contra predadores, sitios óptimos para nidificar, la distribución y abundancia del alimento (Rotenberry y Wiens, 1980; Cody, 1985). En particular, este último implica un proceso en el cual, durante la obtención del alimento, las aves suelen emplear diferentes técnicas para la obtención de este recurso, determinado principalmente en gremios tróficos y competencia por el alimento (Torrens et al., 2017).

En otro contexto, diversos procesos antropogénicos como la pérdida y fragmentación del hábitat restringen los diferentes rasgos que presentan las aves, perjudicando directamente a la avifauna del interior de los bosques templados (Rangel-Salazar, Enriquez y Sántiz López, 2009). Esto se debe a que la estructura y composición interna de dichos bosques definen los diferentes microhábitats en los que las aves pueden desarrollarse plena y

satisfactoriamente. Además, muchas especies de estas que habitan el sotobosque, están propensas a la extinción local (Stratford y Stouffer, 2015).

Comunidades vegetales de pino y oyamel las podemos encontrar en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ), ubicada en la porción sur del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, del Eje Volcánico Transmexicano (EVT). Dichas comunidades están sujetas a diversos factores de perturbación a diferentes escalas tales como la tala inmoderada, urbanización, cacería furtiva, tráfico ilegal de especies y cambio de uso de suelo (Moreno, 2007), las cuales modifican diferencialmente la estructura del hábitat y su composición florística afectando los nichos ecológicos sobre los cuales las aves realizan sus comportamientos de vida. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue determinar los principales comportamientos y las técnicas de cacería exhibidos por las aves sobre la fisonomía vegetal (estratos, sustratos y estructuras de los sustratos) en la utilización del hábitat de una comunidad vegetal de pino y otra de oyamel en la EFEZ.

4.3 Materiales y métodos

4.3.1 Área de estudio

La Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ) se localiza en el municipio de Ixtapaluca, Estado de México. La EFEZ se ubica en la porción sur del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, entre las coordenadas 19° 12' 30" a 19° 20' 00" N y 98° 30' 00" a 98° 42' 30" O, con un rango altitudinal entre 3080 m.s.n.m. y 3690 m.s.n.m. En esta área se ubicaron dos Comunidades Vegetales (CV): una de *Pinus hartweggi* (CVP) y otra de *Abies religiosa* (CVO), delimitando con 22 h de superficie a cada una. En ambas CV se estableció un diseño de muestreo sistemático con distancias predeterminadas de 200 m entre cada unidad de elección (UEI) y en arreglos a manera de cuadrículas (Ralph et al., 1996), obteniendo ocho puntos de muestreo para CVP y CVO, respectivamente (Figura 4.1).

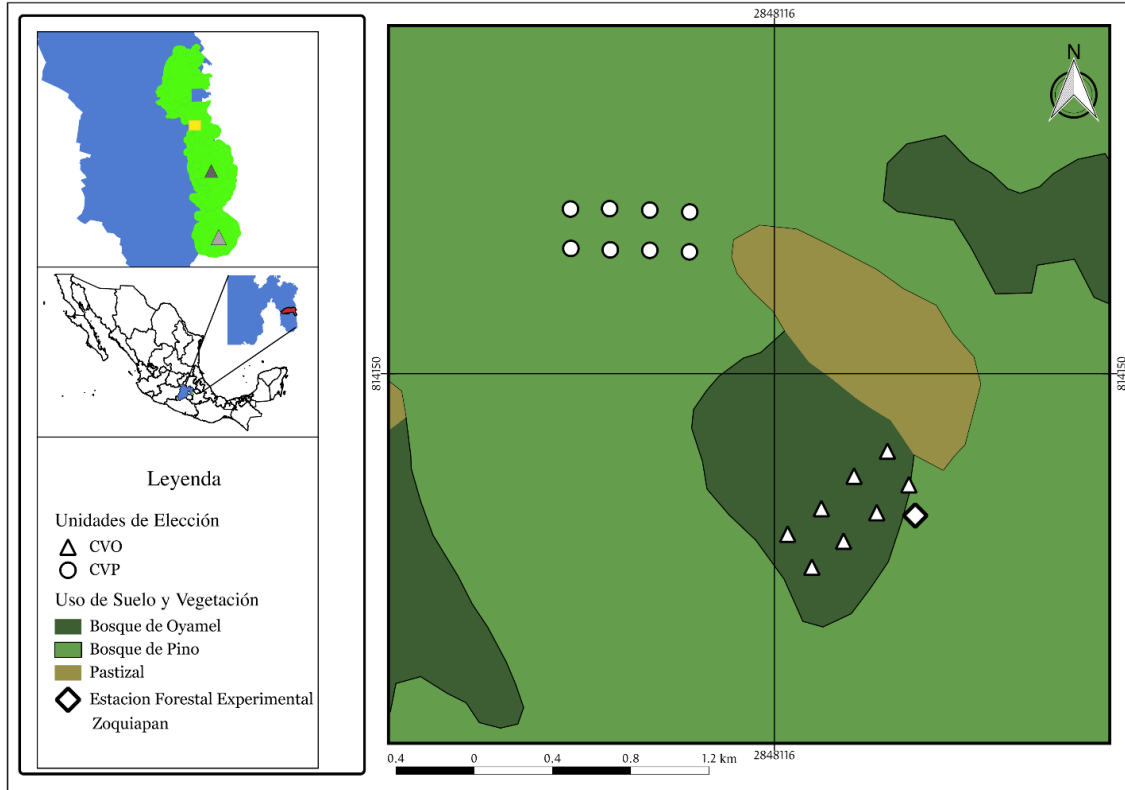


Figura 4.1. Ubicación del área de estudio y diseño de muestreo en la EFEZ.

4.3.2 Muestreos

Se realizaron muestreos mensuales entre mayo y octubre de 2018, con una duración de cinco días cada uno. El seguimiento de las aves se realizó mediante un esquema mixto de dos métodos: 1) Recuento en puntos con radio fijo de 25 m; y 2) Búsqueda intensiva (Ralph et al., 1996). Se emplearon de manera mixta por ser complementarios y reducir sesgos en la poca o escasa identificación auditiva; en particular para aquellas aves con comportamiento quieto, conspicuo y silencioso (Ralph et al. 1996). Los avistamientos se realizaron con binoculares Bushnell ® de 8 x 42 m, y la identificación de las aves en campo fue con guías de campo estándar (Dunn et al., 2017; Peterson y Chalif, 1989), la actualización de su nomenclatura se realizó considerando la American Ornithological Society (AOS; Chesser et al., 2019).

Durante los avistamientos se registraron los comportamientos que las aves exhibían durante un lapso de 10 segundos de observación, clasificándolos de la

siguiente manera: Percha, Alimentación, Desplazamiento (terrestre o en sustratos), Cortejo, Vuelo, Canto y Vocalización. Para el caso de las aves que se estaban alimentando, se registraron las técnicas de cacería empleadas siguiendo los criterios establecidos por Remsen y Robinson (1990).

Paralelo a los avistamientos, se registraron las especies vegetales donde se observaba a las aves (sustratos), así como las estructuras de dichos sustratos (follaje, fuste, rama, flores, hojas), y como sustratos no vegetales se consideró la hojarasca, el suelo desnudo y las rocas. Se consideraron como estratos a las variables determinadas por los planos vertical (estrato alto, intermedio o bajo) y horizontal (estrato interno, medio o externo) donde se observaba a las aves.

4.3.3 Análisis estadísticos

Todas las variables registradas en campo se agruparon en dos conjuntos: 1) variables de la fisonomía vegetal (sustratos, estratos, estructuras de los sustratos) y, 2) variables de los comportamientos y las técnicas de cacería. Para cada conjunto se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con la finalidad de reducir la dimensión del número de variables originales en un nuevo y menor conjunto de variables (componentes principales), dichos componentes son ordenados de acuerdo a la cantidad de varianza original incorporada; se consideraron los tres primeros componentes ya que en ellos se encuentra más del 50 % de la varianza global de los datos. Para estos análisis se empleó el software R Project versión 3.6.0 en su interfaz gráfica de R Commander (R Core Team, 2019).

Para maximizar la relación gráfica entre las variables dependientes (abundancia de las especies) con las independientes (sustratos, estratos, estructuras de los sustratos, comportamientos y técnicas de cacería seleccionadas del ACP), se realizó un Análisis Canónico de Correspondencias (ACC; Ter Braak, 1986), obteniendo un mapa que determina cuáles variables independientes explican dicha relación en las comunidades vegetales evaluadas.

4.4 Resultados

Los resultados del ACP para la fisonomía vegetal mostraron que en los primeros tres ejes se explica el 54.5% de la variabilidad presente en los datos. El primer componente agrupa variables exclusivas de los estratos en el plano vertical y horizontal con presencia de ramas. En el segundo y tercer componente agrupan nuevamente variables de los estratos, incluyendo dos principales sustratos arbóreos y una estructura particular de estos (Cuadro 4.1). De esta manera se reduce el número de variables (de 22 a 9) a un conjunto más fácilmente de interpretar.

Cuadro 4.1. Factores de carga del Análisis de Componentes Principales realizado sobre la matriz de correlación con variables de la fisonomía vegetal registradas en las CV de la EFEZ.

Sustratos, estratos, estructuras	Componente 1	Componente 2	Componente 3
<i>Abies religiosa</i>	0.18933348	0.3711731	0.17935013
<i>Alnus jorullensis</i>	0.11664298	0.06141603	-0.24306754
<i>Baccharis conferta</i>	0.15269779	-0.16200797	-0.16665232
Estrato alto	0.3040494	0.10680654	0.3010256
Estrato bajo	0.0157796	0.31814488	-0.34101238
Estrato externo	0.27552341	0.02345793	0.15694966
Estrato intermedio	0.36171176	0.0883488	-0.05044285
Estrato interno	0.05364648	0.35775407	-0.33958662
Estrato medio	0.35874947	0.07103838	0.1488676
Flores	-0.0707481	-0.05160976	0.09490659
Follaje	0.12955644	-0.05385197	0.18389073
Fuste	0.03288511	0.35996971	-0.36732473
Hojarasca	0.23297403	-0.27299154	-0.19939367
Hojas	-0.0132404	-0.11106344	0.17877965
<i>Lupinus montanus</i>	-0.0707481	-0.05160976	0.09490659
<i>Pinus hartweggi</i>	0.21139543	0.33223356	0.21901569
Poaceae	-0.0132404	-0.11106344	0.17877965
Rama	0.35879194	0.09569801	0.15054415
Roca	0.27121067	-0.25791529	-0.20055067
<i>Salix paradoxa</i>	0.20514839	-0.19944717	-0.20791109
<i>Senecio cinerarioides</i>	0.23733426	-0.18715987	-0.24424783
Suelo	0.26137176	-0.28342999	-0.0723781
Proporción de la varianza	0.2718	0.1571	0.1162
Varianza acumulada	0.2718	0.4290	0.5452

El ACP para los comportamientos y las técnicas de cacería mostró que en los primeros tres ejes se explica el 54.5% de la variabilidad presente en los datos. El primer componente se puede interpretar como un grupo de aspectos meramente tróficos, las variables agrupadas expresan que las aves se alimentan empleando técnicas de inspección y suelen arrebatarse el alimento a sus similares. El segundo y tercer componente resaltan como un grupo de comunicación y comportamiento, debido a que se agrupan las variables de perchar, vocalización, canto y vuelo (Cuadro 4.2). De esta manera se reduce el número de variables (de 13 a 7) a un conjunto más fácilmente de interpretar.

Cuadro 4.2. Factores de carga del Análisis de Componentes Principales realizado sobre la matriz de correlación con variables de los comportamientos y técnicas de cacería registradas en las CV de la EFEZ.

Comportamientos y técnicas de cacería	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Alimentación	0.45338682	0.22545882	0.088898892
Arrebatarse	0.43155958	-0.06679118	-0.005454363
Canto	0.19847593	-0.23992749	-0.496063686
Colectar	0.16599806	0.36469189	0.085193611
Cortejo	0.12177722	-0.38178988	0.493131662
Desplazamiento	0.07566507	-0.01401127	-0.151660001
Inspeccionar	0.40983017	0.04833878	0.101887457
Perchar	0.19468347	-0.51579089	-0.367899577
Perforar	-0.03372539	0.16924377	0.008997319
Perseguir	0.38343937	0.22079575	0.10053601
Remover	0.38553198	0.03313099	-0.031646972
Vocalización	0.11143205	-0.50421958	0.323393017
Vuelo	-0.07494127	-0.08411837	0.459397807
Proporción de la varianza	0.3205	0.1386	0.0974
Varianza acumulada	0.3205	0.4591	0.5566

El análisis canónico de correspondencias permitió visualizar simultáneamente la relación entre las especies de aves con los comportamientos, técnicas de cacería y las variables de la fisonomía vegetal (sustratos, estratos, estructura de los sustratos). A grandes rasgos se observa que la alimentación de las aves está asociada con la inspección del mismo (Figura 4.2).

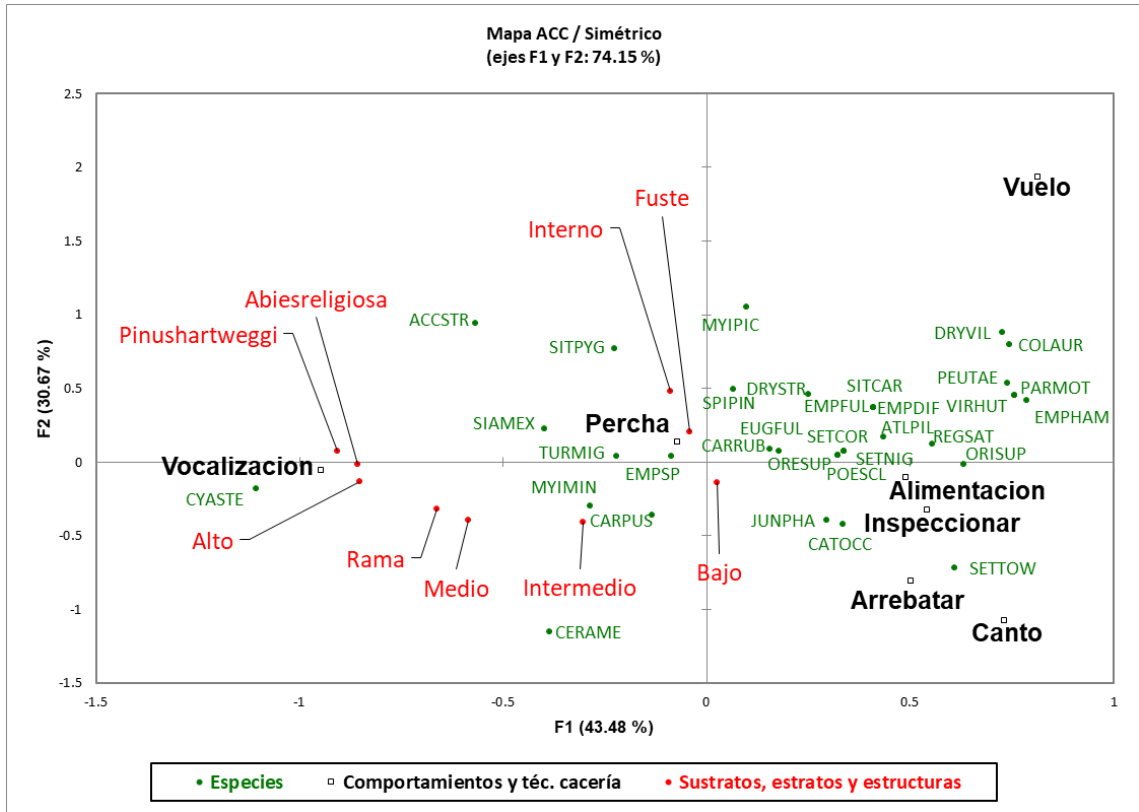


Figura 4.2. Análisis canónico de correspondencias de las variables con mayores valores del ACP y las especies de aves registradas en la EFEZ.

4.5 Discusión

El primer ACP muestra que prácticamente las aves hacen uso de todos los estratos del plano horizontal y vertical en la fisonomía vegetal, principalmente en el estrato medio, alto y, en menor frecuencia el estrato bajo. Esto muestra la importancia que presenta la composición estructural de la vegetación arbórea y arbustiva en las comunidades vegetales de pino y oyamel. De la misma forma, el estrato medio es el más utilizado por las aves en bosques de pino-encino con diferentes condiciones de desarrollo (Almazán-Nuñez et al., 2008). Fanjul y Echevarria (2015) menciona que las bandadas mixtas de aves que habitan la selva montana de Yungas, Argentina también hacen uso del estrato medio para forrajear. El estrato bajo del plano vertical compuesto principalmente por herbáceas y materia vegetal muerta, también es frecuentado por las aves,

principalmente se les puede ver en este estrato capturando insectos (Gómez, 2006).

Las aves parecen estar más frecuentemente en sustratos arbóreos, principalmente en pino (*Pinus hartweggi*) y oyamel (*Abies religiosa*), haciendo uso de las ramas como principal estructura de los sustratos y en menor frecuencia el fuste. De forma similar, Del Pilar Caicedo-Arguelles y Cruz-Bernate, (2014), reportaron la importancia de las ramas como estructuras y seis especies arbóreas como sustratos donde las aves son más frecuentes de observarse en ambientes urbanos. Para los bosques norpatagónicos de Argentina, Becerra Serial y Grigera (2005) coinciden en que las aves hacen uso de las ramas, principalmente por su disponibilidad de alimento. Otras estructuras como el follaje también son empleados por bandadas mixtas de aves en la selva montana de Argentina, como estrategia para aumentar la eficiencia de forrajeo y reducir el riesgo de predación (Fanjul y Echevarria, 2015).

La frecuencia en el comportamiento de las aves, particularmente en las comunidades vegetales de pino y oyamel, está dominada por la alimentación y la percha. En el proceso de alimentación las aves suelen inspeccionar a sus presas para determinar su dieta (de acuerdo al ACC), además suelen arrebatarse el alimento ya sea a otras aves o en condiciones donde requiere aplicar fuerza para obtener dicho recurso. En el caso de la percha, las aves suelen aprovechar ese momento para vocalizar y cantar, un proceso al que denominamos como comunicación. Preferentemente las aves realizan este procedimiento durante el medio día (Gómez, 2006) acompañada con momentos de cortejo. Por otra parte, la alimentación de las aves puede estar asociada con la percha de las mismas, así como al lugar de percha (estratos), prefiriendo lugares donde pasen desapercibidas, pero al mismo tiempo están visualizando a sus posibles presas (Vázquez et al., 2000). Rivera-Gutiérrez (2006) reporta otros comportamientos como construcción de nidos, cortejo, apareamiento y alimentación de polluelos en nido para condiciones suburbanas, en el presente estudio también se

consideraron algunos de los comportamientos antes mencionados, pero no fueron tan frecuentes.

De acuerdo con el ACC, se observa que existen variables de los sustratos y los estratos que están relacionadas con los comportamientos que realizan las aves. La percha es un comportamiento que las aves realizan con más frecuencia en estratos bajos, medios e internos. La alimentación parece ser una actividad a la que la mayoría de las aves practican comúnmente con la técnica de inspección y, por último, se aparenta que los sustratos (pino y oyamel) y los estratos no están relacionados con la mayoría de las aves, esto no quiere decir que no se hayan observado aves o que estas no requieran de los sustratos y estratos. Mas bien, se interpreta que las aves no se relacionan con uno en particular y que posiblemente requieren y podemos encontrarlas en cualquiera de ellos. En lugares con estratos altos podemos observar aves cazadoras desde percha, en lugares más densos y con estratos medios-bajos, predominaran aves insectívoras que buscan presas en el suelo, corteza, fuste y follaje (González-Valdivia et al., 2012).

La relación que existe entre las variables de la fisonomía vegetal (sustratos, estratos, estructuras de los sustratos), los comportamientos de las aves y sus técnicas de cacería resulta notable y algunos casos se observan asociaciones específicas, es por ello que si las comunidades de pino y oyamel bajo estudio siguen siendo invadidas por la deforestación y cambiadas por la introducción de ganado, la mayoría de las aves dependientes de este tipo de hábitat se extinguirán, especialmente las de rangos estrechos de distribución (Johns, 1991, Sodhi et al., 2004, Arriaga-Weiss et al., 2008), quedando solo aquella fracción de avifauna que se adapte al cambio (González-Valdivia et al., 2012).

4.6 Conclusiones

Se logro determinar los comportamientos que las aves exhiben con mayor frecuencia sobre la fisonomía vegetal (estratos, sustratos y estructuras de los sustratos) en una comunidad vegetal de pino y otra de oyamel de la EFEZ. Es importante conservar la estructura de la vegetación que permita a las aves hacer

uso tanto de las partes bajas como las intermedias y las más altas. La avifauna local es diversa y requiere de todos los estratos y variedad de sustratos para desempeñar sus comportamientos adecuada y eficazmente.

4.7 Bibliografía

Almazán-Núñez, R. C., Puebla-Olivares, F. y Almazán-Juárez, Á. (2009). Diversidad de aves en bosques de pino-encino del centro de Guerrero, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 25(1), 123–14).

Arriaga-Weiss, S. L., Calmé, S. y Kampichler, C. (2008). Bird communities in rainforest fragments: guild responses to habitat variables in Tabasco, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17(1), 173-190.

Becerra Serial, R. M. y Grigera, D. (2005). Dinámica estacional del ensamble de aves de un bosque norpatagónico de lenga (*Nothofagus pumilio*) y su relación con la disponibilidad de sustratos de alimentación. *Hornero*, 20(2), 131-139.

Chesser, R. T., Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Kratter, A. W. y Lovette, I. J. (2018). *Check-list of North American Birds*. American Ornithological Society. Recuperado el 12 marzo, 2019 de: <http://checklist.aou.org/taxa>.

Cody, M. L. (1985). *Habitat selection in birds*. Academic Press, Nueva York

del Pilar Caicedo-Argüelles, A. y Cruz-Bernate, L. (2014). Actividades diarias y uso de hábitat de la reinita amarilla (*Setophaga petechia*) y la piranga roja (*Piranga rubra*) en un área verde urbana de Cali, Colombia. *Ornitología Neotropical*, 25, 247-260.

Dunn, J. L. y Alderfer, J. K. (2017). *Field guide to the birds of North America*. National Geographic Books.

Fanjul, M. E. y Echevarria, A. L. (2015). Composición, estructura y rol social de las bandadas mixtas de aves de la selva montana de Yungas, provincia de Tucumán, Argentina. *Acta zoológica lilloana*, 59(1-2), 141-154.

- Frere, E., Quintana, F. y Gandini, P. (2005). Cormoranes de la costa Patagónica: Estado poblacional, Ecología y Conservación. *Hornero* 20, 35-52.
- Gómez, V. E. (2006). Aves del parque general San Martín (Mendoza). Distribución y características. *Multequina*, (15).
- González-Valdivia, N. A., Arriaga-Weiss, S. L., Ochoa-Gaona, S., Ferguson, B. G., Kampichler, C. y Pozo, C. (2012). Ensamblajes de aves diurnas a través de un gradiente de perturbación en un paisaje en el sureste de México. *Acta zoológica mexicana*, 28(2), 237-269.
- Hernández Vázquez, S., Durand Martínez, B. C., Esparza Salas, R. y Valadez González, C. (2000). Distribución temporal de aves rapaces diurnas en la Reserva "Playón de Mismaloya", Jalisco, México. *Revista de Biología Tropical*, 48(4), 1015-1018.
- Johns, A. D. (1991). Responses of Amazonian rain forest birds to habitat modification. *Journal of Tropical Ecology*, 7(4), 417-437.
- Moreno-Sánchez, E. (2007). Características territoriales, ambientales y sociopolíticas del Municipio de Texcoco, Estado de México. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 9(1), 177-206.
- Peterson, R. T. y Chalif, E. D. (1989). *Aves de México*. (Editorial Diana, Ed.) (Primera Ed). México, D.F.
- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 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*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.

- Rangel-Salazar, J. L., Enriquez, P. L. y Sántiz López, E. C. (2009). Variación de la diversidad de aves de sotobosque en el Parque Nacional Lagos de Montebello, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 25(3), 479–495.
- Remsen Jr, J. V. y Robinson, S. K. (1990). A classification scheme for foraging behavior of birds in terrestrial habitats. *Studies in avian biology*, 13, 144-160.
- Rivera-Gutiérrez, H. F. (2006). Composición y estructura de una comunidad de aves en un área suburbana en el suroccidente colombiano. *Ornitología colombiana*, 4, 28-38.
- Rotenberry, J. T. y J. A. Wiens. (1980). Habitat structure, patchiness, and avian communities in North American steppe vegetation: a multivariate analysis. *Ecology*, 61, 1228–1250.
- Sodhi, N. S., Castelletta, M., Loh, W. Z., Lee, B. P. Y. y Subaraj, R. (2004). Tropical lowland rainforest birds on a highly urbanized island: monitoring, losses and lessons. In *Proceedings of the 4th International Urban Wildlife Symposium* (pp. 78-86).
- Stratford, J. A. y Stouffer, P. C. (2015). Forest fragmentation alters microhabitat availability for Neotropical terrestrial insectivorous birds. *Biological Conservation*, 188, 109-115.
- Ter Braak, C. J. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5), 1167-1179.
- Torrens, Y. A., Martínez, F. R. H. y Medel, H. B. (2018). Diversidad de aves residentes permanentes asociadas a un pinar natural de *Pinus tropicalis* y su relación con la estructura vertical de la vegetación. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 6(1), 31-44.

4.8 Apéndices

Apéndice 4.1. Claves asignadas a las especies de aves obtenida de las tres primeras letras del nombre científico para el ACC.

Especies	Clave	Especies	Clave
<i>Accipiter striatus</i>	ACCSTR	<i>Myioborus pictus</i>	MYIPIC
<i>Atlapetes piliatus</i>	ATLPIL	<i>Oreothlypis superciliosa</i>	ORESUP
<i>Cardellina pusilla</i>	CARPUS	<i>Oriturus superciliosus</i>	ORISUP
<i>Cardellina rubra</i>	CARRUB	<i>Parkesia motacilla</i>	PARMOT
<i>Catharus occidentalis</i>	CATOCC	<i>Peucedramus taeniatus</i>	PEUTAE
<i>Certhia americana</i>	CERAME	<i>Poecile sclateri</i>	POESCL
<i>Colaptes auratus</i>	COLAUR	<i>Regulus satrapa</i>	REGSAT
<i>Contopus pertinax</i>	CONPER	<i>Setophaga coronata</i>	SETCOR
<i>Cyanocitta stelleri</i>	CYASTE	<i>Setophaga nigrescens</i>	SETNIG
<i>Dryobates stricklandi</i>	DRYSTR	<i>Setophaga townsendi</i>	SETTOW
<i>Dryobates villosus</i>	DRYVIL	<i>Sialia mexicana</i>	SIAMEX
<i>Empidonax difficilis</i>	EMPDIF	<i>Sialia sialis</i>	SIASIA
<i>Empidonax fulvifrons</i>	EMPFUL	<i>Sitta carolinensis</i>	SITCAR
<i>Empidonax hammondii</i>	EMPHAM	<i>Sitta pygmaea</i>	SITPYG
<i>Empidonax sp.</i>	EMPSP	<i>Spinus pinus</i>	SPIPIN
<i>Eugenes fulgens</i>	EUGFUL	<i>Troglodytes aedon</i>	TROAED
<i>Junco phaeonotus</i>	JUNPHA	<i>Turdus grayi</i>	TURGRA
<i>Loxia curvirostra</i>	LOXCUR	<i>Turdus migratorius</i>	TURMIG
<i>Myioborus miniatus</i>	MYIMIN		

5 CAPITULO V. TERCER ARTÍCULO CIENTÍFICO

Caracterización del hábitat para una comunidad avifaunística en un bosque templado del Eje Volcánico Transmexicano

5.1 Resumen

Los bosques de pino y oyamel en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan están en constantes eventos antrópicos, modificando el hábitat y la vegetación donde las aves residen. Por lo anterior, el objetivo fue inferir el efecto que presenta el hábitat y la vegetación sobre la frecuencia de las aves registradas en 2 comunidades vegetales (CV): Oyamel (CVO) y Pino (CVP) de la Estación Forestal Experimental Zoquiapan. En cada CV se estableció un diseño de muestreo sistemático para la toma de datos. El seguimiento de las aves se realizó de manera mensual entre mayo y octubre de 2018 empleando un método mixto: 1) Recuento en puntos con radio fijo y, 2) búsqueda intensiva. Paralelamente se tomaron los datos de la vegetación mediante cuadrantes con punto central y cuadros empotrados; para el hábitat se usó línea de Canfield. La significancia de las variables del hábitat y la vegetación se obtuvo con una prueba de Regresión Poisson (ARP), las variables resultantes del ARP se sometieron a un análisis de componentes principales (ACP) para visualizar las agrupaciones entre dichas variables y las frecuencias de las aves. El ARP mostró significancia en seis variables, mientras que el ACP interpreta mayor frecuencia de aves sobre uno de los ejes (componentes). La frecuencia de las aves registradas parece determinar la caracterización del hábitat con mayor presencia de cobertura vegetal, particularmente vegetación arbustiva.

Palabras clave: Línea de Canfield; cobertura vegetal; condiciones ambientales; Regresión Poisson; bosque templado

5.2 Introducción

Las aves son un grupo de vertebrados que se han diversificado y distribuido ampliamente por todo el planeta (Navarro-Sigüenza et al., 2014). Se consideran un grupo clave debido a la diversidad de sus formas, su importancia en la estructura de los ecosistemas, el misterio de su migración, su interesante

conducta y, sobre todo, porque son relativamente fáciles de observar e identificar. La presencia de las aves está relacionada con la condición de sus hábitats, esto se debe a que son sensibles a cambios mínimos en ellos, por lo cual se les considera como buenos indicadores de la calidad de estos (Arizmendi, 2001; Şekercioglu et al., 2004); particularmente, algunas aves suelen considerarse como controladoras de poblaciones de insectos que pueden llegar a formar plagas forestales, agrícolas y/o ganaderas (Álvarez, González-Alvarado, & Sarabia, 2015).

A nivel mundial, los ecosistemas se encuentran sometidos a constantes cambios que se producen a diferentes escalas espacio-temporales (Coppin et al., 2004). La deforestación es uno de estos, que son causados principalmente por la intervención antrópica (Echeverría et al., 2006). México se encuentra entre los países con mayor deforestación en el mundo, llegando a perder 155 000 ha de masa forestal promedio por año (INEGI, 2014). Los bosques templados del Eje Volcánico Transmexicano, principalmente los de áreas adyacentes al Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PNIP) se ven amenazados por acciones de desmontes, tala inmoderada (Rzedowski 1978), incendios, pastoreo (Velázquez, 1994; Challenger, 1998), contaminación atmosférica, plagas y enfermedades (Alvarado-Rosales y Hernández-Tejeda, 2002); mismas que han venido afectando progresivamente a diferentes escalas el hábitat de las aves, evidenciado tendencias desfavorables en escenarios futuros (Vázquez y Segura, 2014).

Una masa forestal importante que se localiza en la parte sur del PNIP, corresponde a la Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ), la cual abarca una superficie de 1 600 ha, la cual exhibe comunidades vegetales de pino y oyamel, mismas que se han visto afectadas por diversos eventos de perturbación como los antes mencionados, afectando directamente a biodiversidad regional, específicamente a la avifauna local. No obstante, dichas masas presentan variabilidad estructural en su fisonomía vegetal evidente, por lo cual parecen albergar una riqueza y abundancia de aves relativamente estables (Castaño-Villa, Ramos-Valencia, & Fontúrbel, 2014; Mackay, Gross, & Rossetto,

2018); sin embargo, en esta zona particular del Estado de México no se ha evaluado como dicha estructura del bosque podría estar promoviendo el desarrollo de comunidades vegetales que conformen hábitats y nichos específicos para una comunidad avifaunística; menos aún, el efecto que tiene la fisonomía resultante sobre el establecimiento de este grupo taxonómico, por lo que se carece de conocimiento básico, que permita implementar técnicas de manejo y mejoramiento del hábitat con fines de conservación de las aves y del propio bosque. En este contexto, el objetivo de la presente es inferir el efecto de las variables del hábitat y de la vegetación sobre las frecuencias de las aves registradas en una comunidad vegetal de pino y otra de oyamel. Con esta información se podrá caracterizar ecológicamente el hábitat, con la finalidad de implementar en un futuro cercano posibles medidas para su conservación y restauración en beneficio de las aves de la EFEZ.

5.3 Materiales y métodos

5.3.1 Área de estudio

La Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ) se localiza en el municipio de Ixtapaluca, Estado de México. La EFEZ se ubica en la porción sur del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, entre las coordenadas 19° 12' 30" a 19° 20' 00" N y 98° 30' 00" a 98° 42' 30" O, con un rango altitudinal entre 3080 m.s.n.m. y 3690 m.s.n.m. En esta área se ubicaron dos Comunidades Vegetales (CV): una de *Pinus hartweggi* (CVP) y otra de *Abies religiosa* (CVO), delimitando con 22 h de superficie a cada una. En ambas CV se estableció un diseño de muestreo sistemático con distancias predeterminadas de 200 m entre cada unidad de elección (UEI) y en arreglos a manera de cuadrículas (Ralph *et al.*, 1996), obteniendo ocho puntos de muestreo para CVP y CVO, respectivamente (Figura 5.1).

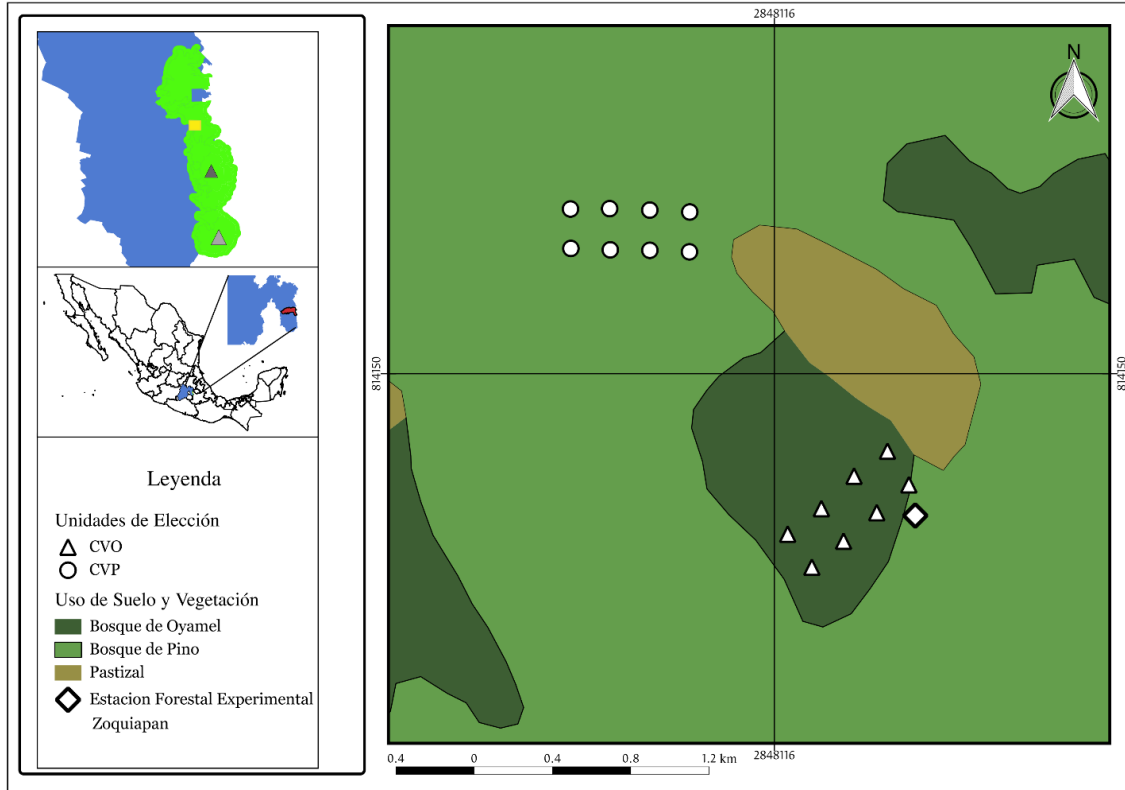


Figura 5.1. Ubicación del área de estudio y diseño de muestreo en la EFEZ.

5.3.2 Avistamientos

El seguimiento de las aves se realizó en periodos mensuales, entre mayo y octubre de 2018, empleando un método mixto: Recuento en puntos con radio fijo (RPRF) de 25 m y Búsqueda intensiva (BI) (MacGregor Fors, 2008). Se emplearon de manera mixta por ser complementarios y reducir sesgos en la poca o escasa identificación auditiva; en particular para aquellas aves con comportamiento quieto, conspicuo y silencioso (Ralph et al. 1996). Los avistamientos se realizaron con binoculares de 8 x 42 mm (Bushnell), para la identificación en campo se usaron las guías de Peterson y Chalif (1989) y National Geographic Society (Dunn *et al.*, 2017). La corroboración de la nomenclatura se realizó considerando la American Ornithological Society (Chesser *et al.*, 2018).

5.3.3 Variables del hábitat y la vegetación

Para la obtención de datos correspondientes a la vegetación se emplearon dos técnicas: 1) Cuadrantes con punto central (Cottam y Curtis, 1956) para

vegetación arbórea, la cual consiste en marcar un punto central y considerar al ejemplar arbóreo más cercano a dicho punto en las cuatro direcciones cardenales, para considerar a los ejemplares, estos tenían que medir más de 10 cm de diámetro y se registraban los siguientes datos: especie, cobertura, diámetro normal, altura, altura de fuste limpio, número de ramas, % de hojas vivas y % de hojas secas. 2) Cuadros empotrados (Oosting, 1956) para vegetación arbustiva y herbáceas; esta técnica consiste en marcar un punto central y trazar dos líneas que crucen dicho punto, logrando obtener cuatro cuadrantes (4x4 m para arbustivas y 1x1 m para herbáceas). Se registraba la especie, cobertura, diámetro y la altura.

Para las variables del hábitat se utilizó el método de Línea de Canfield (Canfield, 1941) la cual consiste en marcar un punto al azar y trazar una línea recta de 25 m, registrando en porcentaje a lo largo de dicha línea: vegetación total, vegetación arbórea, vegetación herbácea, vegetación arbustiva, pedregosidad, suelo desnudo, material leñoso y pendiente, además se reportó la presencia de cuerpos de agua y condiciones ambientales (cálido, frío, lluvioso, nublado, viento, luminoso).

5.3.4 Análisis estadísticos

Para identificar las variables del hábitat y la vegetación que tienen efecto en la frecuencia de las aves en ambas comunidades vegetales, se realizó un análisis de regresión de Poisson (ARP) con el modelo lineal generalizado (generalized linear model; GLM), siguiendo un procedimiento de selección de variables por pasos hacia atrás (Stepwise), y un criterio de clasificación del mínimo Akaike (AIC; Akaike, 1969). Para este análisis se empleó el software R Project versión 3.6.0 en su interfaz gráfica de R Commander (R Core Team, 2019).

Posteriormente, las variables del hábitat y vegetación que resultaron significativas (con efecto) en el ARP, se sometieron a un Análisis de Componentes Principales (ACP) con la finalidad de visualizar en un gráfico de menor dimensión las tendencias sobre las frecuencias de las aves registradas en las comunidades vegetales. Dicho análisis se realizó en el software XLSTAT

versión 2019.2 (2019). Para los ACP se usó un nombre clave para las especies de aves, con la finalidad de obtener un gráfico más entendible (Apéndice 5.1).

5.4 Resultados

Los resultados del análisis de regresión Poisson indican que seis variables del hábitat y una de la vegetación presentan efecto directo sobre la frecuencia de las aves en las comunidades vegetales evaluadas de pino y oyamel (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1. Variables significativas del hábitat y la vegetación mediante análisis de regresión Poisson que presentan efecto en la frecuencia de las aves en ambas CV de la EFEZ.

Hábitat					
Coefficientes	Estimador	Error estándar	Valor de Z	Pr(> z)	Significancia
(Intercepto)	-0.0845	0.32032	-0.264	0.791921	
Día cálido	0.22336	0.0604	3.698	0.000217	***
Día frío	0.18121	0.04303	4.211	0.0000254	***
Material Leñoso	0.05505	0.02559	2.151	0.031498	*
Cob. Arbórea	0.22914	0.09516	2.408	0.016	*
Cob. Arbustiva	0.21755	0.09464	2.299	0.0215	*
Cob. Herbácea	0.2332	0.09234	2.525	0.0116	*
Vegetación					
(Intercepto)	0.476569	0.132574	3.595	0.000325	***
Vegetación arbustiva	0.120888	0.009285	13.02	< 2e-16	***

Nota: las variables con la abreviación Cob. Veg., hace referencia a Cobertura vegetal.

Por otra parte, el análisis de componentes principales nos muestra las correlaciones de las variables del hábitat y la vegetación de los dos primeros componentes, acumulando un 67.67% de la varianza de los datos. Primeramente, se observa que el eje vertical está relacionado a las coberturas vegetales del hábitat, mientras que el eje horizontal está más relacionado a las condiciones ambientales y a un tipo de vegetación en particular (arbustiva). En base a ello se pueden realizar tendencias con las frecuencias de las aves. La

mayoría de éstas parecen depender de las coberturas vegetales (por la dispersión de las especies cercana al eje vertical) del hábitat y en menor porción de las condiciones del ambiente (días fríos y cálidos). Por otra parte, la frecuencia de *Junco phaeonotus* y *Cyanocitta stelleri* dependen principalmente de la vegetación arbustiva (Figura 5.2).

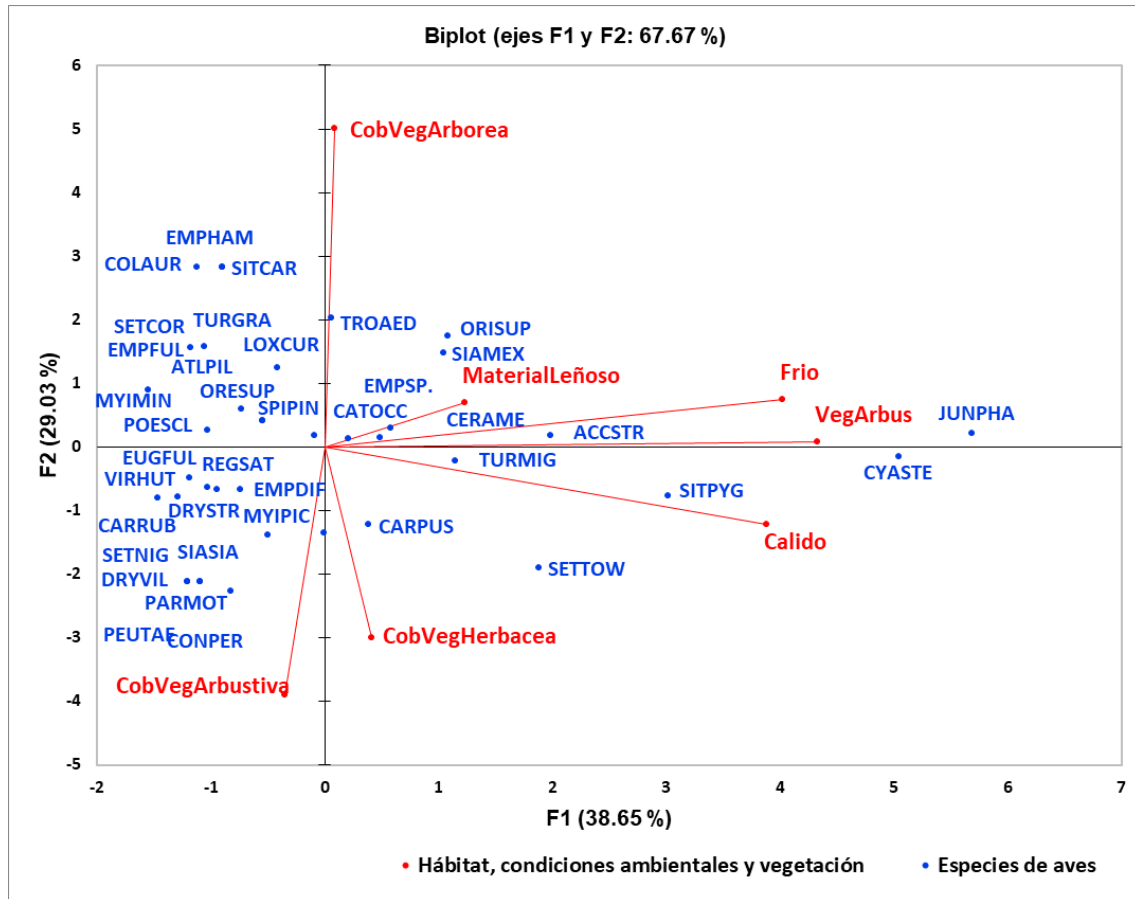


Figura 5.2. Gráfico bidimensional del ACP con los dos primeros componentes principales y las frecuencias de las aves registradas en ambas comunidades vegetales de la EFEZ.

5.5 Discusión

Dentro del hábitat, las coberturas vegetales (herbácea, arbustiva y arbórea) son las que presentaron efecto sobre la frecuencia de las aves en las CV evaluadas. Particularmente la vegetación arbustiva es la que brinda mejores condiciones para que las aves frecuenten ese estrato. Al parecer, las aves no están asociadas a especies vegetales en particular. Bishop y Myers (2005) encontraron que la

cobertura vegetal natural es una de las características del hábitat que influye en la riqueza de gremios aviares en agropaisajes de zonas templadas. La presencia en cobertura de los tres estratos permite tener una complejidad vertical vegetal que alberga diversidad de aves (Coria et al., 2016). Además, la cobertura vegetal puede indicar la cantidad de recursos a explotar por las aves, mientras que la riqueza de la vegetación puede proporcionar a las especies diferentes formas de explotar dichos recursos (Rosenzweig, 1995), permitiendo un aumento en la riqueza aviar. En el caso de los sistemas silvopastoriles, los remanentes de cobertura vegetal natural son importantes porque albergan aves con interés en la conservación (Fajardo et al. 2009).

Cuando la cobertura vegetal natural es modificada por áreas de pasturas que eliminan la estructura del estrato arbustivo y arbóreo, la diversidad de aves disminuye, incrementando la dominancia y el número de especies generalistas de hábitats abiertos (Renjifo 1999). De acuerdo con Hammer et al. (2015), la pérdida de cobertura vegetal afecta directamente el proceso de alimentación de las aves, restringiendo posibles zonas de cacería.

Por otro lado, Heikkinen et al. (2004) reportaron que el cierre de dosel y el diámetro a la altura del pecho (DAP) son otras variables del hábitat que se correlacionan significativamente con la riqueza y abundancia de aves. De la misma manera, Ibarra et al. (2010) indicaron que el DAP es la única variable del hábitat-vegetación que pudo predecir los cambios de riqueza promedio de aves, observando mayor riqueza a medida que el DAP aumentaba, esto en un bosque templado de *Araucaria araucana* en Chile. Estas variables también fueron evaluadas en la presente, aunque no resultaron con efecto en la frecuencia de las aves. Sekercioglu (2002) considera que la heterogeneidad horizontal es una variable del hábitat muy relevante, relacionando la presencia de esta con un mayor número de nichos para las especies de aves en los. La mayoría de los estudios de uso de hábitat por aves están enfocados para sistemas agroforestales, parques y zonas urbanas, y escasamente al interior de los bosques.

5.6 Conclusiones

Se lograron determinar las variables del hábitat y la vegetación que tienen efecto en la frecuencia de las aves en una comunidad vegetal de pino y otra de oyamel de la EFEZ. Es importante conservar la cobertura vegetal de los tres estratos principales (herbáceo, arbustivo y arbóreo) ya que brindan condiciones adecuadas para que las aves puedan coexistir en estas comunidades vegetales en particular del bosque templado.

5.7 Bibliografía

Akaike, H. (1969). Fitting autoregressive models for prediction. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 21(1), 243-247.

Alvarado-Rosales, D. y Hernández-Tejeda, T. (2002). *Decline of sacred fir in the Desierto de los Leones National Park*. In *Urban Air Pollution and Forests* (pp. 243-260). Springer, New York, NY.

Alvarez, T. A. A., González-Alvarado, D. A. y Sarabia, M. S. (2015). Contribución al conocimiento de las aves de las comunidades “El Rincón y San Miguel” municipio de Santa Ana Jilotzingo, Estado de México, México. *Revista de Zoología*, (26), 19-28.

Arizmendi, M. D. C. (2001). Multiple ecological interactions: nectar robbers and hummingbirds in a highland forest in Mexico. *Canadian Journal of Zoology*, 79(6), 997-1006.

Bishop, J. A. y Myers, W. L. (2005). Associations between avian functional guild response and regional landscape properties for conservation planning. *Ecological Indicators* 5,33–48.

Canfield, R. H. (1941). Application of the Line Interception Method in Sampling Range Vegetation. *Journal of Forestry*, 39(4), 388–394.

Castaño-Villa, G. J., Ramos-Valencia, S. A. y Fontúrbel, F. E. (2014). Fine-scale habitat structure complexity determines insectivorous bird diversity in a tropical forest. *Acta Oecologica*, 61, 19–23.

- Challenger, A. (1998), *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Chesser, R. T., Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Kratter, A. W. y Lovette, I. J. (2018). *Check-list of North American Birds*. American Ornithological Society. Recuperado el 12 marzo, 2019 de: <http://checklist.aou.org/taxa>.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B. y Lambin, E. (2004). Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International journal of remote sensing*, 25(9), 1565-1596.
- Coria, R. D., Coria, O. R., y Kunst, C. R. (2016). Diversidad y composición de especies de aves en un gradiente bosque-arbustal-sabana del Chaco semiárido, Argentina. *Ornitología Neotropical* 27, 1-15.
- Cottam, G. y Curtis, J. T. (1956). The use of distances measures in phytosociological sampling. *Ecology*, 37(3), 451–460.
- Dunn, J. L. y Alderfer, J. K. (2017). *Field guide to the birds of North America*. National Geographic Books.
- Echeverría, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Benayas, J. M., Lara, A. y Newton, A. (2006). Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. *Biological conservation*, 130(4), 481-494.
- Fajardo, D., González, R. J., Neira, L., Chará, J. y Murgueitio, E. (2009). Influencia de sistemas silvopastoriles en la diversidad de aves en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, (58).
- Hamer, K. C., Newton, R. J., Edwards, F. A., Benedick, S., Bottrell, S. H. y Edwards, D. P. (2015). Impacts of selective logging on insectivorous birds in Borneo: the importance of trophic position, body size and foraging height. *Biological Conservation*, 188, 82-88.

- Heikkinen, R. K., Luoto, M., Virkkala, R. y Rainio, K. (2004). Effects of habitat cover, landscape structure and spatial variables on the abundance of birds in an agricultural–forest mosaic. *Journal of Applied Ecology*, 41(5), 824-835.
- Ibarra, J. T., Altamirano, T., Gálvez, N., Rojas, I., Laker, J. y Bonacic, C. (2010). *Avifauna de los bosques templados de Araucaria araucana del sur de Chile* (Doctoral dissertation, Asociación Argentina de Ecología).
- INEGI. (2014a). *Estadísticas a propósito del día internacional de los bosques*. Instituto Nacional de Geografía y estadísticas. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/estadisticas/2014/forestal0.pdf?s=inegi&c=2905&ep=153>
- MacGregor--fors, I. (2008). Relation between habitat attributes and bird richness in a western Mexico suburb. *Landscape and Urban Planning*, 84, 92–98.
- Mackay, K. D., Gross, C. L. y Rossetto, M. (2018). Small populations of fig trees offer a keystone food resource and conservation benefits for declining insectivorous birds. *Global Ecology and Conservation*, 14.
- Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H. y Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 476-495.
- Oosting, H. J. (1956). *The study of plant communities. An introduction to plant ecology. The study of plant communities. An introduction to plant ecology.*, (2nd. Edn).
- Peterson, R. T. y Chalif, E. D. (1989). *Aves de México*. (Editorial Diana, Ed.) (Primera Ed). México, D.F.

- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 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*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Renjifo, L. M. (1999). Composition changes in a subandean avifauna after long-term forest fragmentation. *Conservation biology*, 13(5), 1124-1139.
- Rosenzweig, M. L. (1995). *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press.
- Rzedowski, J. (1978), *Vegetación de México*, Limusa, México.
- Sekercioglu, C. (2002). Effects of forestry practices on vegetation structure and bird community of Kibale National Park, Uganda. *Biological Conservation* 107, 229-240.
- Şekerciöglu, Ç. H., Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (2004). Ecosystem consequences of bird declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(52), 18042-18047.
- Velázquez, A. (1994). Multivariate analysis of the vegetation of the volcanoes Tlaloc and Pelado, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 5,263-270.
- XLSTAT. (2019). *Software estadístico para Excel*. Paris: Addinsoft. Available in: <https://www.xlstat.com/es/>. [Cited 19 Jun 2019].

5.8 Apéndices

Apéndice 5.1. Claves asignadas a las especies de aves obtenida de las tres primeras letras del nombre científico para el ACP.

Especies	Clave	Especies	Clave
<i>Accipiter striatus</i>	ACCSTR	<i>Myioborus pictus</i>	MYIPIC
<i>Atlapetes piliatus</i>	ATLPIL	<i>Oreothlypis superciliosa</i>	ORESUP
<i>Cardellina pusilla</i>	CARPUS	<i>Oriturus superciliosus</i>	ORISUP
<i>Cardellina rubra</i>	CARRUB	<i>Parkesia motacilla</i>	PARMOT
<i>Catharus occidentalis</i>	CATOCC	<i>Peucedramus taeniatus</i>	PEUTAE
<i>Certhia americana</i>	CERAME	<i>Poecile sclateri</i>	POESCL
<i>Colaptes auratus</i>	COLAUR	<i>Regulus satrapa</i>	REGSAT
<i>Contopus pertinax</i>	CONPER	<i>Setophaga coronata</i>	SETCOR
<i>Cyanocitta stelleri</i>	CYASTE	<i>Setophaga nigrescens</i>	SETNIG
<i>Dryobates stricklandi</i>	DRYSTR	<i>Setophaga townsendi</i>	SETTOW
<i>Dryobates villosus</i>	DRYVIL	<i>Sialia mexicana</i>	SIAMEX
<i>Empidonax difficilis</i>	EMPDIF	<i>Sialia sialis</i>	SIASIA
<i>Empidonax fulvifrons</i>	EMPFUL	<i>Sitta carolinensis</i>	SITCAR
<i>Empidonax hammondii</i>	EMPHAM	<i>Sitta pygmaea</i>	SITPYG
<i>Empidonax sp.</i>	EMPSP	<i>Spinus pinus</i>	SPIPIN
<i>Eugenes fulgens</i>	EUGFUL	<i>Troglodytes aedon</i>	TROAED
<i>Junco phaeonotus</i>	JUNPHA	<i>Turdus grayi</i>	TURGRA
<i>Loxia curvirostra</i>	LOXCUR	<i>Turdus migratorius</i>	TURMIG
<i>Myioborus miniatus</i>	MYIMIN		