



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

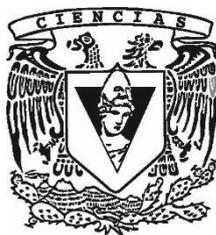
**La migración del Aguililla Gris (*Buteo plagiatus*) en  
la planicie costera del Golfo de México**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
BIÓLOGO**

**P R E S E N T A:**

**SALVADOR GARCILITA ARGUELLO**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA  
CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2021**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

1. Datos del alumno.

Garcilita  
Arguello  
Salvador  
56 30 58 97 50  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
313509780

2. Datos del tutor

Dra.  
María del Coro  
Arizmendi  
Arriaga

3. Datos del sinodal 1

Dra.  
Blanca Estela  
Hernández  
Baños

4. Datos del sinodal 2

M. en C.  
Adrián  
Reuter  
Cortés

5. Datos del sinodal 3

Dr.  
Erick Alejandro  
García Trejo

6. Datos del sinodal 4

M. en C.  
Alejandro  
Gordillo  
Martínez

7. Datos del trabajo escrito

La migración del aguililla gris (*Buteo plagiatus*) en la planicie costera del Golfo de México  
52 p  
2021

## **Dedicatoria**

A mi familia.

A todos los que aman las aves rapaces y las han protegido a lo largo de la historia.

## **Agradecimientos**

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Ciencias, por consolidar mi educación y darme la oportunidad de incursionar en la Ciencia, permitiéndome crecer profesionalmente. Los conocimientos adquiridos serán compartidos con mucho gusto en cada oportunidad.

Al taller “Ecología terrestre y manejo de recursos bióticos” del instituto de Ecología de la UNAM y a todos sus profesores, quienes me asesoraron en el desarrollo de esta tesis en todo momento, y me enseñaron no sólo ecología y estadística, si no también calidad humana y compromiso con mi profesión.

Agradezco de manera especial a PRONATURA A.C., en particular a su proyecto “Veracruz río de rapaces”, por la confianza depositada en mí para colaborar y por el arduo y admirable trabajo que realizan año tras año. En particular, siempre agradeceré las atenciones del coordinador del proyecto, Biol. Kashmir Wolf.

A los múltiples maestros de aves rapaces que he tenido; biólogos, veterinarios y cetreros, algunos de los cuales ya no están, pero que supieron ver en ese niño curioso y preguntón a un futuro ornitólogo; a todos ellos gracias infinitas por ayudarme a encontrar mi pasión.

A mis amigos, tanto compañeros de carrera como más antiguos, por soportar mis recurrentes pláticas sobre aves e impulsarme con su incondicional apoyo a seguir haciendo lo que me gusta; incluso les agradezco el bien ganado apodo de “el pájaro”.

A título personal, a la doctora María del Coro Arizmendi, por permitirme ser su alumno y quien me enseñó no sólo sobre la ecología de otras fascinantes aves (colibríes), sino también a ser un estudiante independiente y responsable. Gracias por cada consejo y asesoría.

Por último, agradezco a mi familia, principalmente a mis padres y a mi hermano yaya, por apoyarme en la locura de dedicar mi vida a las aves rapaces desde hace mucho tiempo. Esto es resultado de haberme permitido seguir mi pasión.

## Contenido

Resumen .....	5
Introducción .....	6
a) Aves rapaces.....	6
b) Migración.....	12
c) Especie de estudio .....	18
d) Ciencia ciudadana.....	20
Justificación .....	21
Objetivos e hipótesis.....	22
Método.....	23
a) Sitio de estudio y toma de datos .....	23
b) Análisis estadístico .....	24
Resultados.....	27
a) Fenología migratoria.....	27
b) Tendencia poblacional.....	31
Discusión .....	33
a) Migración; fenología, implicaciones ecológicas y conducta migratoria.....	33
b) Tendencia poblacional.....	38
c) Discusión del método .....	43
Conclusión.....	45
Referencias .....	46

## Índice de figuras

<i>Figura 1. Distribución espacial de los cuatro corredores migratorios principales de Norteamérica para las aves.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. Aguililla gris adulta.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. Localidades de conteo durante la migración en Veracruz, México.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4. Promedio de individuos contados cada mes en todas las temporadas de toma de datos.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5. Diferencias entre la fecha de llegada del primer individuo en cada año.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6. Diferencias en el conteo de individuos contemplando los fenómenos meteorológicos del Niño y La Niña.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Cambio anual en la población de Buteo plagiatus.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8. Regresión lineal (en azul) junto al modelo polinomial (en rojo) utilizando la media geométrica de los censos anuales.....</i>	<i>32</i>

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Resumen estadístico del conteo mensual de cada año.....</i>	<i>30</i>
-------------------------------------------------------------------------	-----------

## Resumen

Las aves rapaces son un grupo indispensable para el correcto funcionamiento del ecosistema, pero dada su posición como depredadores tope, son un grupo vulnerable que en las últimas décadas ha sufrido declives poblacionales y cambios abruptos en su estilo de vida debido a actividades antropogénicas o a los cambios ambientales, como es el caso particular de la aguililla gris (*Buteo plagiatus*) que durante mucho tiempo fue considerada una especie no migratoria, pero que hoy día se reconoce que sus poblaciones más norteadas, las del sur de Estados Unidos de América y el norte de México, migran como respuesta a los cambios ambientales que trae consigo el otoño boreal; no obstante, la dinámica de su migración ha sido escasamente estudiada. Con el fin de comprender mejor estos movimientos poblacionales el objetivo de este estudio fue describir la migración que realiza esta especie. Se emplearon los datos de conteo de individuos recolectados por las dos estaciones de toma de datos de PRONATURA en Veracruz, México, durante el otoño de los años 2008-2018 para describir su migración, conocer su tendencia poblacional y determinar si ha habido cambios en su fenología migratoria. Se realizó estadística descriptiva para analizar las variaciones en el registro de individuos y con las medidas de tendencia central se observó un máximo en el número de individuos que migran a finales de octubre e inicios de noviembre, teniendo una migración tardía con respecto a otras especies migratorias del género *Buteo*. El mes con más registros fue octubre con un promedio de 519 individuos y el de menor registros fue agosto con diez individuos. El criterio de arribo del primer individuo resultó en una regresión lineal creciente más no significativa ( $p=0.46$ ), por lo cual la especie no tiene una tendencia a retrasar el inicio de su migración por temporada. Además, se observó en los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis que no hay un efecto de los eventos meteorológicos El Niño o La Niña sobre la magnitud de la migración de la especie. Para conocer la tendencia poblacional, se realizó una regresión lineal con una lambda entre conteos además de una regresión polinomial usando la media geométrica de los censos anuales. En ambos análisis el resultado coincide, la población migratoria de esta especie se encuentra en equilibrio ( $\lambda = 1.04$ ;  $r^2 = 0.06$ ,  $p=0.47$ ), por lo que no se encuentra en peligro inmediato de desaparecer.

# Introducción

## a) Aves rapaces

Las aves rapaces han fascinado a la humanidad desde tiempos inmemorables, prueba de esto es el simbolismo que han tenido en distintas culturas a lo largo del tiempo, representando poder en el caso de las águilas, valentía los halcones y sabiduría, en el caso de las rapaces nocturnas (Sarasola *et al.* 2018). Por ejemplo, los antiguos egipcios veneraban sobre todo a ciertas especies de halcones (*Falco* sp) teniendo incluso un dios llamado Horus de figura antropomorfa, pero con cabeza de halcón; por otro lado, el imperio romano tenía por símbolo un águila que representa su poder y, en la mitología griega, la diosa de la sabiduría, Athenea, portaba siempre un mochuelo en su brazo, siendo esta la razón por la cual el epíteto específico de dicha ave es *Athene noctua*; en el caso de México, el águila real (*Aquila chrysaetos*) es el ave con más apariciones en los códices, siendo símbolo de la fundación del imperio azteca y la ciudad de Tenochtitlan (Sharpe, 2014; Negro, 2018). De hecho, en un análisis sobre la representatividad de las aves manejadas como símbolos nacionales en 122 países, Navarijo (2014) encontró que el orden de rapaces Accipitriformes es el más representado con un 75%. Por último, quizá la relación hombre-rapaz más fascinante es la del arte de la cetrería, con la cual durante más de 5000 años el hombre ha cazado presas silvestres con rapaces entrenadas, creando un vínculo único y con importantes trasfondos culturales, por lo que en el año 2010 la UNESCO la declaró patrimonio cultural inmaterial de la humanidad (Ceballos y Justribó, 2011).

En la actualidad, las aves rapaces son un grupo artificial, que de acuerdo a la clasificación de aves del mundo de la Comunidad Internacional de Ornitólogos (IOC, por sus siglas en inglés; Gill *et al.* 2021) se encuentran ubicados en tres órdenes de aves; Falconiformes, en el cual se agrupan los halcones, caracaras y relativos, Strigiformes, conformado por las rapaces nocturnas como búhos y lechuzas y por último, Accipitriformes, que es el orden más grande en el cual se agrupan águilas, aguilillas, gavilanes y buitres (Kuhl *et al.* 2020).

En México hay 44 especies del orden Accipitriformes; cinco en la familia Cathartidae (Zopilotes, buitres del Nuevo Mundo), una en la familia Pandionidae (el águila pescadora) y 38 en la familia Accipitridae (águilas, gavilanes, aguilillas y milanos); 30 del orden Strigiformes, de los cuales solo una se encuentra en la familia Tytonidae (lechuzas) y el resto en Strigidae (búhos, mochuelos y autillos); finalmente, 13 especies en el orden Falconiformes, todas en la familia Falconidae (halcones y caracaras) (Berlanga *et al.* 2015). Cabe mencionar que de las rapaces diurnas, 34 especies pertenecientes a las familias Cathartidae, Falconidae y Accipitridae son migratorias (Ruelas-Inzunza, 2010).

Las aves rapaces como depredadores desempeñan un papel importante en la evolución y ecología, pues se alimentan de organismos de menor nivel trófico regulando su población y contribuyendo a la salud del ecosistema, al mantenimiento y a la conservación de la biodiversidad (Robinson, 2017). Debido a sus hábitos esquivos y bajas densidades, estas aves son un grupo difícil de estudiar, sin embargo, su estudio ha permitido generar valiosa información en muchas ramas de la ciencia animal como en la ecología y genética (Negro y Galván, 2018). Dentro de las rapaces hay gran variación en estilo de vida, existiendo especies coloniales, territoriales, sedentarias, migratorias, generalistas, especialistas (por ejemplo, algunas especies son ornitófagas casi en su totalidad), o carroñeras, entre otras (Donázar *et al.* 2016).

Una característica notable de casi todas las rapaces, es la presencia de dimorfismo sexual inverso, es decir, la hembra es más grande que el macho (Negro y Galván, 2018). Kruger (2005) resume las hipótesis existentes que buscan explicar este fenómeno en tres rubros:

1. Hipótesis ecológica: sugiere que la diferencia notoria de tamaño entre sexos disminuye el solapamiento de nichos, reduciendo así la competencia intraespecie.
2. Hipótesis de diferenciación de rol: tiene un enfoque dirigido al éxito reproductivo. Por un lado, las hembras son de mayor tamaño para cubrir mejor el espacio del nido e incubar los huevos; y por otro, el macho aprovecha su menor tamaño para ser un cazador más eficiente y ágil, así como para defender el nido.

3. Hipótesis conductual: propone el aumento de tamaño en las hembras para dominar al macho y mantener el vínculo de pareja, obteniendo así abastecimiento de comida. Incluso sugiere que las hembras son las que compiten por los machos.

Si bien no hay una hipótesis que cuente con total aceptación hasta la fecha, se ha demostrado que especies de rapaces que son cazadoras activas (como halcones y gavilanes) presentan un dimorfismo sexual inverso muy pronunciado, mientras que en especies carroñeras o generalistas oportunistas es menos marcado o simplemente no lo presentan (Negro y Galván, 2018).

De acuerdo con la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (Millenium Ecosystem Assessment, 2005), los servicios ecosistémicos son todos aquellos beneficios, directos e indirectos, que obtienen las poblaciones humanas de los ecosistemas, ya sea de sus componentes bióticos o abióticos. Las aves son un grupo que ha servido de ejemplo como proveedores de servicios ecosistémicos, especialmente en aquellos de soporte y regulación, afectando directa e indirectamente a la población humana (Ayat y Lestari, 2011). En el caso de las rapaces, las aves carroñeras, como zopilotes y buitres (Familias Accipitridae y Cathartidae) proveen un valioso servicio que a menudo ha sido pasado por alto; alimentarse de cadáveres de otros animales disminuyendo el riesgo zoonosológico que supondría tener muchos cadáveres en descomposición en los diferentes ecosistemas, además de contribuir así al reciclaje de nutrientes (Donázar *et al.* 2016). Por otro lado, rapaces que son cazadoras más activas, tanto nocturnas como diurnas, tienen un papel crucial en los ecosistemas como controladoras de población de especies de menor nivel trófico; de hecho, la abundancia de rapaces tiene un efecto directo en la dinámica poblacional de roedores, por lo que tienen el potencial de regular la abundancia de ratones, topos, ratas y otras especies que causan daños a la agricultura (Donázar *et al.* 2016).

Las aves rapaces se encuentran en un estado de conservación más preocupante que la mayoría de las aves pues el 52% se encuentra en declive y el 18% está considerada en peligro de extinción, comparado con un 44% en declive y 13% amenazadas hablando de las aves en general, por lo que son un grupo prioritario

para la conservación (McClure *et al.* 2018). El grado en el que los cambios del ecosistema afectan a las aves depende de si son especies migratorias o residentes, sus requerimientos tróficos, requerimientos de hábitat, nivel de especialización, entre otros factores que definen si una especie será exitosa o no en un hábitat transformado (Grande *et al.* 2018). Por otro lado, las principales amenazas que este grupo enfrenta son la alteración y destrucción del hábitat, eliminación directa, envenenamiento (que puede ser intencional o accidental), electrocución y cambio climático, además, cabe mencionar que en algunos casos las rapaces se han usado como especies bandera (McClure *et al.* 2018).

Una especie bandera es cualquier especie que sea carismática y llamativa para la sociedad, atributo que se aprovecha para concientizar y obtener apoyo que sirva para conservar tanto a la especie bandera como a las demás que están asociadas al mismo hábitat que ésta (Isasi-Catalá, 2011). Las rapaces son un grupo de aves que tienen el potencial de ser especies bandera debido al interés y admiración que generan al público en general, siempre y cuando sea con un enfoque que desaliente la persecución directa y desmienta mitos asociados a ellas particularmente presentes en zonas rurales, así como fobia injustificada en grandes ciudades (Donázar *et al.* 2016).

En particular, se sabe que las aves rapaces que dependen de bosques tropicales son más vulnerables que aquellas que están asociadas a otros tipos de hábitat, pues estas aves suelen ser más sensibles a los cambios en el ecosistema y no suelen ser migratorias (entendiendo migración como un movimiento periódico que realizan los organismos en respuesta a cambios del ambiente) (Medellín *et al.* 2009; McClure *et al.* 2018). A su vez, las rapaces no migratorias están en mayor riesgo que aquellas que migran, en especial si se encuentran asociadas a bosques bien conservados, pues es un ecosistema que ha tenido fuertes transformaciones debido a la agricultura y al ser especies no migratorias, se encuentran confinadas a un hábitat cada vez más escaso; esto es particularmente alarmante en países de Asia y Sudamérica, los cuales cuentan también con el mayor número de especies (McClure *et al.* 2018). Dado su papel en el ecosistema como depredadores tope, las aves rapaces son especialmente vulnerables a cambios importantes del ecosistema, en los cuales la disponibilidad de recursos se puede ver afectada; algunas especies han

visto en estos cambios una oportunidad de establecimiento dada la menor competencia y abundancia de ciertas especies (como roedores), no obstante, el uso de pesticidas por parte de los agricultores ha tenido efectos devastadores en las rapaces, puesto que por acumulación trófica termina siendo ingerido por ellas, intoxicándolas con efectos letales (Grande *et al.* 2018). Dentro de las aves rapaces, el grupo más amenazado es el de las carroñeras, particularmente los buitres del viejo mundo (familia Accipitridae), los cuales son muy afectados por el envenenamiento (plomo y pesticidas) y la eliminación directa (McClure *et al.* 2018).

Algunas especies de rapaces han tenido un gran incremento poblacional en las últimas décadas, atribuido principalmente a la regulación en el uso de pesticidas organoclorados como el DDT (dicloro difenil tricloroetano), que por bioacumulación terminaba en el organismo de las aves rapaces afectando su éxito reproductivo al adelgazar el cascarón de los huevos producidos (Cade, 1982; Kirk y Hyslop, 1998). Por ejemplo, en Norteamérica el esmerejón (*Falco columbarius columbarius*) ha sido reportado con un incremento poblacional del 295% en los últimos 40 años por el conteo navideño de aves (Annual Christmas Bird Counts) y por el sondeo de aves criando (Breeding Bird Surveys), ambos son iniciativas de toma de datos con ciencia ciudadana en Estados Unidos de América y Canadá, que gracias a gente con experiencia en conteo e identificación de aves logran proporcionar datos suficientes para conocer las tendencias poblacionales de varias especies en el hemisferio norte; estos no cubren la totalidad del área de distribución de la especie, pero coinciden con el incremento poblacional reportado para la misma en otros sitios de conteo (Butcher y Niven, 2007; Radcliffe, 2018).

En México, se han empleado los datos de conteos obtenidos en Veracruz por el proyecto “Veracruz río de rapaces” (“VRR”) de PRONATURA VERACRUZ A.C. (“PVER”) para estudiar las tendencias poblacionales de varias especies, incluyendo algunas del género *Buteo*; Ruelas-Inzunza (2010) reportó una tasa de incremento anual considerable y estadísticamente significativa para el aguililla de swainson (*Buteo swainsoni*), una especie estrictamente migratoria que viaja desde el occidente de Estados Unidos de América y Canadá hasta Sudamérica; el aguililla negra (*B. albonotatus*), un migrante parcial, muestra una tasa de crecimiento anual muy alta y significativa; el aguililla cola roja (*B. jamaicensis*), otra especie que tiene poblaciones

migrantes y residentes en México, tiene en este sitio de conteo una tendencia de decline moderado a largo plazo, pero esta no es significativa, por lo tanto, aun perteneciendo al mismo género, distintas especies muestran diferentes tendencias dependiendo de su vulnerabilidad y capacidad de respuesta a distintos factores, lo cual se ve reflejado en su población migrante (McClure *et al.* 2018).

En México, 46 especies de aves rapaces diurnas (35 de la familia Accipitridae, 3 de la familia Cathartidae y 8 de la familia Falconidae) y 22 nocturnas (todas de la familia Strigidae) se encuentran listadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, en categorías que van desde sujetas a protección especial (Pr), amenazada (A), en peligro de extinción (P) y probablemente extinta en el medio silvestre (E), en esta última categoría se encuentran el caracara come cacao (*Ibycter americanus*), el caracara quebrantahuesos de Guadalupe (*Caracara lutosa*) y el tecolote enano (*Micrathene whitneyi graysoni*) (SEMARNAT, 2010).

## b) Migración

La migración es un movimiento estacional, cíclico y a menudo periódico que realizan algunos animales como respuesta a cambios en el ambiente, con implicaciones tróficas, reproductivas y de supervivencia (Medellín *et al.* 2009). Para que migrar sea benéfico para una especie, debe permitirle incrementar su tasa de sobrevivencia y/o reproductiva frente a un ambiente cambiante, ya sea evadiendo a depredadores o eventos climáticos como huracanes, o permitiendo el acceso a más y mejores recursos, así como a condiciones climáticas más favorables (Chapman *et al.* 2014). Un gran número de grupos taxonómicos realizan migraciones a distintas escalas, desde invertebrados como la mariposa monarca (*Danaus plexippus*), hasta grandes mamíferos marinos, como la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) (Medellín *et al.* 2009).

De acuerdo con Navarro y Benítez (1998), podemos distinguir cuatro tipos diferentes de migración:

- La migración latitudinal, la cual es llevada a cabo por muchas de las especies del norte de los continentes en una dirección norte-sur, a menudo durante el otoño-invierno. El regreso, por lo general, es en la primavera para reproducirse en el norte. En menor número de especies, esta se realiza de sur a norte.
- La migración longitudinal, que se realiza en dirección este-oeste u oeste-este (a menudo buscando climas menos extremos).
- La migración altitudinal, llevada a cabo por especies que se desplazan a través de sitios de diferente altura sobre el nivel del mar en busca de abundancia de recursos o evitando las bajas temperaturas que puede haber en la cumbre de las montañas.
- Por último, está la migración diferencial, en la cual no todos los individuos de una población migran, ya sea por diferencia de edad, sexo o locación. Generalmente, las poblaciones migratorias son aquellas que están situadas en

mayores latitudes, además, hay casos en los que tanto hembras, como machos y juveniles tienen distintas fechas para migrar; de hecho, el aspecto diferencial es también una variable aplicable a los otros tres tipos de migración (Navarro y Benítez, 1998).

La migración diferencial o parcial, se presenta en gran variedad de grupos taxonómicos y puede que sea la forma más común de migración entre los animales (Chapman *et al.* 2014). De acuerdo con Chapman y colaboradores (2014), hay tres tipos de migración parcial:

1. Los individuos migratorios y los residentes están juntos durante la temporada de reproducción, separándose durante el invierno.
2. Los individuos migratorios y los residentes crían en distintos sitios geográficos y se acoplan durante la temporada de invierno.
3. Los individuos que normalmente migran para criar no lo hacen, permaneciendo residentes.

La migración involucra distintos factores de riesgo que hacen que la mortalidad de la población migrante ascienda a más del 50%, entre los que se encuentran eventos climáticos, exposición a depredadores y actividades antropogénicas, como el riesgo de electrocución o la eliminación directa; de hecho, el tipo de migración que supone más riesgos para las aves es la latitudinal, pues suele involucrar muy largas distancias, por lo que las ventajas de migrar deben ser muy altas para incentivar a una población a hacerlo (Ocampo-Peñuela, 2010)

La migración de las aves es uno de los fenómenos más espectaculares de la naturaleza, con importantes implicaciones ecológicas y evolutivas (Åkesson y Hedenström, 2004). Algunas aves realizan migraciones excepcionalmente largas, como el agachadizo real (*Gallinago media*) que viaja hasta 6 800 kilómetros en un tiempo de 48 a 96 horas, de igual forma, existen migraciones comparativamente cortas; las aves han sido un grupo taxonómico clave para estudiar y comprender el fenómeno de la migración gracias al desarrollo de la tecnología y como resultado de

décadas de trampeo y marcaje de especies migratorias, actualmente se cuenta con una base sólida de conocimiento sobre este fenómeno y nuevas oportunidades para estudiarlo (Boere y Stroud, 2006; Chapman *et al.* 2014).

Aproximadamente el 20% de las especies de aves son migratorias, siendo la estacionalidad el principal factor que influye en que las aves migren (Somveille, 2016); al migrar a sitios con condiciones más adecuadas para ellas, las aves mantienen un balance de energía más favorable, lo cual podría estar relacionado en que las aves del hemisferio norte tengan una migración más pronunciada que las del hemisferio sur, donde la estacionalidad es menos pronunciada; el cambio global producto de actividades antropogénicas ha impactado en la fenología y sincronización del ciclo de vida de las aves, incluyendo cambios en las fechas de inicio de la migración (Robson y Barriocanal, 2010; Somveille, 2016).

Según McCluere y colaboradores (2018) una cuarta parte de las especies de rapaces del mundo son consideradas migratorias; para la conservación de estas especies, la cooperación internacional es crucial. Un corredor migratorio (*flyway*, en inglés) puede ser definido como el rango geográfico a través del cual se desplaza una especie (o grupo de especies) desde el territorio de cría hasta el territorio no reproductivo, contemplando sitios de descanso y alimentación a través de los cuales se desplazan los organismos; estos corredores migratorios pueden ser considerados utilizando varias escalas (Boere y Stroud, 2006):

1. Corredor migratorio uniespecífico, que considera la distribución total de una especie que migra, incluyendo su territorio de cría y el no reproductivo.
2. Corredor migratorio multiespecie, el cual es empleado por varias especies de manera similar cada año.
3. Corredores globales, son grandes áreas que a menudo involucran a varios países en las cuales especies con sistemas migratorios similares tienen establecido su ciclo de vida.

En Norteamérica, se distinguen principalmente cuatro corredores de migración para las aves: la ruta del Pacífico, que rodea la costa del Pacífico desde el extremo norte del continente hasta la Costa Oeste de México, donde hace intersección con la central. La ruta central, que es la principal y sigue por el este de las Montañas Rocosas de Canadá, distribuyéndose a través de estados del centro de Estados Unidos de América y continuando en el centro y Golfo de México, la ruta del Mississippi, que empieza en el noreste del continente y cuya principal intersección es en el Río Mississippi, para después viajar al sur cruzando el Golfo de México y, por último, la ruta del Atlántico, que empieza en zonas marítimas de Canadá y sigue la Costa Este de los Estados Unidos de América (Berlanga y Rodríguez, 2010):

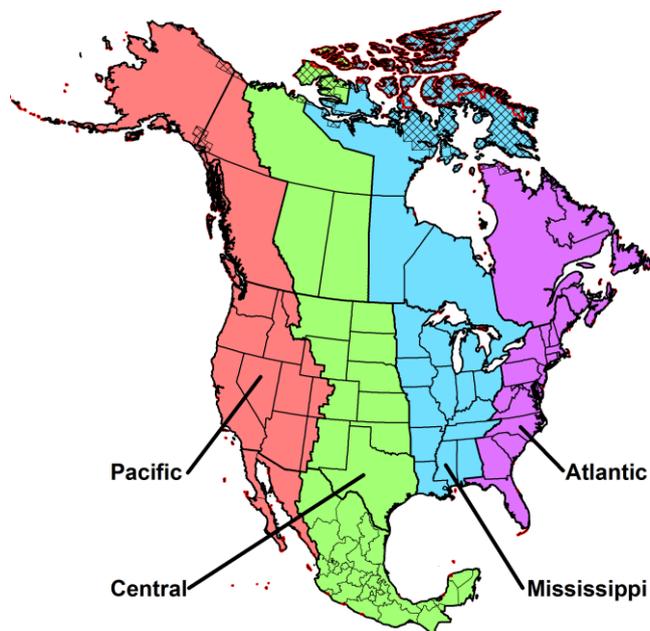


Figura 1. Distribución espacial de los cuatro corredores migratorios principales de Norteamérica para las aves (Waller et al. 2018).

Las rapaces son uno de los grupos de aves migratorias más relevantes para México, pues la ruta de migración de aves rapaces con mayor importancia en el mundo es precisamente a lo largo de la planicie costera del Golfo de México, donde millones de aves aprovechan para viajar entre el mar Atlántico y la Sierra Madre Oriental (Medellín et al. 2009). En México, 34 de las 57 especies de rapaces diurnas tienen poblaciones migratorias (Ruelas-Inzunza, 2010). En promedio, se estima el paso de 5 millones de individuos cada año durante la migración de otoño en este corredor migratorio (Ruelas-Inzunza, 2005).

En Norteamérica y Europa, la mayoría de los estudios poblacionales para rapaces se realizan gracias a los datos obtenidos a través de los censos realizados en estaciones de conteo y anillamiento de las aves durante su migración; estos sitios proveen información que de otra forma sería muy complicado obtener debido a la conducta evasiva de muchas especies (Ruelas-Inzunza, 2010). Para hacer estudios poblacionales con estos datos se asume que una proporción constante de la población pasa de manera cíclica por un punto en particular, en el caso de México, la planicie costera del Golfo de México, concentrando a la mayoría de las aves rapaces migratorias en Veracruz (Ruelas-Inzunza, 2010). Es importante analizar cuidadosamente los datos obtenidos en sitios de conteo, pues hay variables como la fecha, la hora del día, el esfuerzo de muestreo, así como dirección y velocidad del viento que cambian entre cada sitio (Radcliffe, 2018).

En Veracruz, México, se reconocen dos periodos del año en los cuales las rapaces migratorias pasan en grandes cantidades, el otoño y la primavera; en la migración del otoño, que es cuando las aves viajan en dirección norte-sur, se registran cuatro veces más individuos que en la primavera, en la cual viajan de sur a norte; dicha diferencia puede deberse a que en otoño las condiciones meteorológicas son mejores para el conteo de aves, así como a la mortandad natural de muchos individuos en su primer migración y la diferencia en el esfuerzo de muestreo (Ruelas-Inzunza, 2005).

La mayoría de las rapaces migran aprovechando las termas, corrientes de aire caliente que favorecen a las aves para tomar altura y mantenerse alto al volar, minimizando así el costo energético que implica desplazarse largas distancias (Medellín *et al.* 2009). Esto es llamado vuelo a campo traviesa (*cross country flight* en inglés), las aves toman altura con las columnas de aire caliente y planean prácticamente sin batir las alas en la dirección deseada, no obstante, algunas especies, sobre todo de los géneros *Falco* y *Accipiter*, utilizan también el vuelo batido. (Medellín *et al.* 2009).

Según Medellín y colaboradores (2009), hay tres elementos importantes que limitan la migración de las aves rapaces:

1. La disponibilidad de termas para minimizar el gasto energético y permitir el viaje de las especies planeadoras.
2. La disponibilidad de hábitats de forrajeo. Si bien algunas especies de rapaces casi no comen durante la migración, muchas (especialmente las de vuelo batido) necesitarán sitios de descanso con recursos disponibles (presas potenciales).
3. La disponibilidad de hábitat donde pasar la temporada no reproductiva. En general, las rapaces buscan territorios de invierno similares a los que ocupan durante la época reproductiva (Bildstein, 2004).

### c) Especie de estudio

El aguililla gris (*Buteo plagiatus*) es una rapaz perteneciente al orden Accipitriformes, familia Accipitridae, que se distribuye desde el suroeste de Estados Unidos de América al noroeste de Costa Rica (Del Hoyo *et al.* 2018). Es una aguililla pequeña, los machos pesan entre 391 y 470 gramos mientras que las hembras, por dimorfismo sexual, pesan de 552 a 668 gramos (Figura 2). Miden aproximadamente 40 cm de alto y su envergadura es de unos 90 cm (Del Hoyo *et al.* 2018). Es una rapaz de hábitos generalistas, con una fuerte inclusión de reptiles en su dieta (Dunne *et al.* 2012).

*Buteo plagiatus* era considerada una subespecie de *Buteo nitidus*; no obstante, debido a diferencias de plumaje, tamaño y vocalización, fueron reconocidas como especies distintas, reconociendo a *B. plagiatus* en el norte de su distribución y *B. nitidus*, en el sur, desde Costa Rica a Argentina (Millsap *et al.* 2011). Además, previos estudios mostraban que la divergencia entre ambas subespecies de aguililla gris era tan alta como lo es con la aguililla cola roja, *Buteo jamaicensis* (Riesing *et al.* 2003)

Los individuos adultos de *Buteo plagiatus* presentan un plumaje gris en el dorso, mientras que en el frente un tono pálido más cercano al blanco; la cola es prominentemente barrada con líneas blancas y negras; los ejemplares juveniles son cafés del dorso y en el frente son blancos con líneas café oscuro; estas características morfológicas permiten distinguir al aguililla gris del resto de las rapaces con relativa facilidad (Dunne *et al.* 2012).

El aguililla gris se considera un migrante parcial, no obstante, su migración ha sido poco estudiada (Bildstein, 2004). Las poblaciones más norteadas, que se distribuyen principalmente en Arizona, Texas y Nuevo México, son migratorias; mientras que en el resto de su distribución en México es probable que sea residente durante todo el año (Del Hoyo *et al.* 2018). La mayoría de los individuos del norte empiezan a viajar hacia el sur dejando EE. UU. a finales de septiembre o inicios de octubre; en primavera migran para reproducirse en los territorios de cría y comienzan a llegar en marzo (Dunne *et al.* 2012).

En México, su distribución es amplia, abarcando los estados de Campeche, Coahuila, Colima, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán (Berlanga *et al.* 2008). En Estados Unidos de América, el extremo norte de su distribución, *Buteo plagiatus* está registrado principalmente en bosques de álamos y sauces, así como de mezquite, a menudo asociados a corredores ribereños, un hábitat muy limitado y amenazado en los EE. UU. (Stromberg, 1993; Kropp, 2002; Dunne *et al.* 2012).

El tipo de hábitat elegido en México es mucho más variable, ocupando desde áreas abiertas y de agricultura, hasta bosques tropicales, a menudo se encuentran en bosques ribereños, bordes de bosque y arboledas semiáridas (Peterson y Chalif, 1973; Bibles *et al.* 2020). Muchos de los que prefiere, como bordes de bosques caducifolios y matorral, no exceden los 1000 msnm (Bibles *et al.* 2020).

Esta especie se encuentra en la categoría de menor preocupación (*Least Concern*) de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN); a su vez, se encuentra listada en el apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna silvestres (CITES, por sus siglas en inglés) (Del Hoyo *et al.* 2018).



Figura 2. Aguillilla gris adulta. Fotografía tomada de Gray, M. 2017.

## d) Ciencia ciudadana

De acuerdo con Adolfo Navarro (Berlanga *et al.* 2015), una de las particularidades más notorias de la ornitología como disciplina zoológica, es el importante aporte de datos que hacen miembros de la sociedad no especializados, es decir, que no son biólogos o profesionistas de carreras afines; dado su carisma, las aves cuentan con un número importante de aficionados que salen a observarlas y que pueden tomar datos de interés científico bastante confiables, los cuales deberían contemplarse por los académicos para fortalecer los lazos entre la ciencia y la sociedad e incrementar el conocimiento actual sobre la ecología, la distribución y reproducción de las aves (Berlanga *et al.* 2015)

El único proyecto a la fecha que monitorea las poblaciones migratorias de aves rapaces en México es VRR, proyecto fundado en 1991 que de forma cooperativa con PVER, Hawk Mountain Sanctuary y HawkWatch International monitorean las migraciones de rapaces de otoño y primavera con el objetivo de conservar a las rapaces migratorias y su hábitat; su plan de acción se basa en tres aspectos (Ruelas *et al.* 2009):

- Investigación. Ubicando áreas importantes, entendiendo la ecología de la migración y estudiando las amenazas de las rapaces.
- Monitoreo. Mediante conteos y anillado de aves para tener datos posteriores de captura y recaptura, obteniendo así valiosa información sobre rutas migratorias e historia de vida.
- Educación ambiental. con distintos programas de alcance urbano y rural.

## Justificación

En años recientes, las aves rapaces han ganado la atención de la biología de la conservación, ya que el interés que generan en la gente y el importante papel que desempeñan en el ecosistema las coloca como excelentes especies bandera (Donázar *et al.* 2016). Como consecuencia, McClure y colaboradores (2018) recomiendan estudiar las tendencias y tamaños poblacionales de más especies de rapaces, pues para la mayoría de las especies del mundo (59%) no hay estimaciones de tamaño poblacional; de hecho, existe un marcado sesgo en el estudio de las aves rapaces, pues la gran mayoría de las investigaciones giran en torno solo a las mismas 10 especies (el 1.8% de todas las rapaces) siendo objeto de estudio de un tercio (32%) de todas las publicaciones existentes (Buechley *et al.* 2019). En México es probable que, de todos los grupos taxonómicos de aves con conducta migratoria, el de las rapaces sea el que necesita de forma más crítica atención, por lo que se sugiere, entre otras cosas, hacer estudios sobre la diversidad y abundancia de rapaces migratorias en regiones clave (Medellín *et al.* 2009). Investigar sobre el estado de salud individual y poblacional de las rapaces brinda información valiosa sobre el estado de salud del ecosistema, pues son especies bioindicadoras (Robinson, 2017). Por lo tanto, mientras más sepamos de la biología de las aves rapaces, más herramientas tendremos para conservarlas a ellas y a su hábitat (Negro y Galván, 2018).

Por otro lado, si bien *Buteo plagiatus* es hoy considerado como un migrante parcial, su migración ha sido poco estudiada y hasta hace poco no era considerada una especie migratoria; por lo tanto, el análisis de los registros de esta especie durante su migración es necesario para entender cuál es su dinámica espacio temporal (Ruelas-Inzunza, 2000). Dado lo anterior y en vista que aún hay muchos huecos en el estudio de las aves rapaces, este trabajo pretende aportar al estado de conocimiento de las aves rapaces y su conducta migratoria en México al centrarse en una especie que debido a su abundancia y amplia distribución ha sido pasada por alto, pero cuyo estudio puede ayudarnos a comprender mejor la dinámica de las especies parcialmente migratorias al revelar información sobre sus patrones de movimiento y fenología migratoria.

# Objetivos

## Objetivo general

- Analizar la migración que realiza el aguililla gris (*Buteo plagiatus*) en la planicie costera del Golfo de México, empleando los datos que han sido colectados por las estaciones de conteo del proyecto Veracruz Río de Rapaces de 2008 a 2018.

## Objetivos particulares

- Conocer la tendencia poblacional que ha tenido la población migratoria de esta especie durante los últimos diez años y entender su dinámica por medio de un análisis bibliográfico.
- Describir la fenología de su migración, para conocer si hay un retraso en la fecha de llegada de los individuos o diferencias en el número de estos asociadas a la presencia de los fenómenos climáticos El Niño y La Niña.

## Hipótesis

La población migratoria del aguililla gris ha experimentado un decrecimiento significativo en los últimos años debido a la variedad de amenazas que aquejan a muchas otras especies de rapaces, como la destrucción del hábitat en el caso del águila crestada (*Morphnus guianensis*) o el halcón de pecho naranja (*Falco deiroleucus*), las intoxicaciones con pesticidas en el caso del halcón peregrino (*Falco peregrinus*) o las rapaces carroñeras como los buitres (género *Gyps*), la mayor incidencia de enfermedades infecciosas consecuencia de la transformación del hábitat como ocurre con gavilanes de Cooper (*Accipiter cooperii*) o la persecución directa como sucede con las rapaces nocturnas (Strigiformes). De igual forma, como consecuencia del cambio global se espera que, como sucede con otras especies de aves migratorias, la migración de esta especie sea cada vez más tardía y sensible a las fluctuaciones climáticas producto de El Niño y La Niña (Sarasola *et al.* 2018).

## Método

### a) Sitio de estudio y toma de datos

La planicie costera del Golfo de México es una de las principales rutas tomadas por las aves al momento de migrar; el estado de Veracruz es de particular interés dado que la posición central del estado en la intersección de la Sierra Madre Oriental con el Eje Neovolcánico, así como la corta distancia al mar, crean un paso natural que la gran mayoría de las rapaces usa para continuar con su viaje al sur, aprovechando las termales que se crean en esta zona y evitando así mayores gastos de energía (Ruelas *et al.* 2010). Al migrar, las rapaces viajan en líneas guía, en este caso, volando agrupadas siguiendo las zonas con termales, minimizando así la necesidad de aletear y con ello, el gasto energético, comportamiento que se aprovecha para el conteo y la identificación (Zalles y Bildstein, 1995).

El monitoreo de la migración de *Buteo plagiatus* fue llevado por personal capacitado del proyecto PVER en sus estaciones de conteo de PVER; una ubicada en la azotea del hotel “Bienvenido” en Cardel (N 19° 22' 15.97”, W -96° 22' 35.5”) y otra en el observatorio de aves migratorias “Dr. Mario Ramos” en Chichicaxtle (N 19° 20' 35.1”, W -96° 27' 51.09”) en el centro del estado de Veracruz, con una distancia de aproximadamente 11 kilómetros entre ambas (Figura 3). Para la toma de datos, existe una coordinación en campo llevada a cabo por medio de radios para evitar el conteo del mismo grupo de individuos dos veces. La identificación y cuantificación de los individuos fue llevada a cabo por biólogos asistidos por observadores de aves con previa capacitación en un horario de 8:00 a 18:00 horas. Los conteos se registraron en el momento utilizando contadores para evitar errores con los individuos contados, posteriormente fueron almacenados en una base de datos en donde se registra el número de individuos por hora y por día (sin distinción de sexo o plumaje adulto/juvenil). En su conjunto, las dos estaciones de conteo funcionan como réplicas independientes que proveen una cuantificación única de datos de conteo de la migración de aves rapaces en este sitio (Ruelas *et al.* 2010).

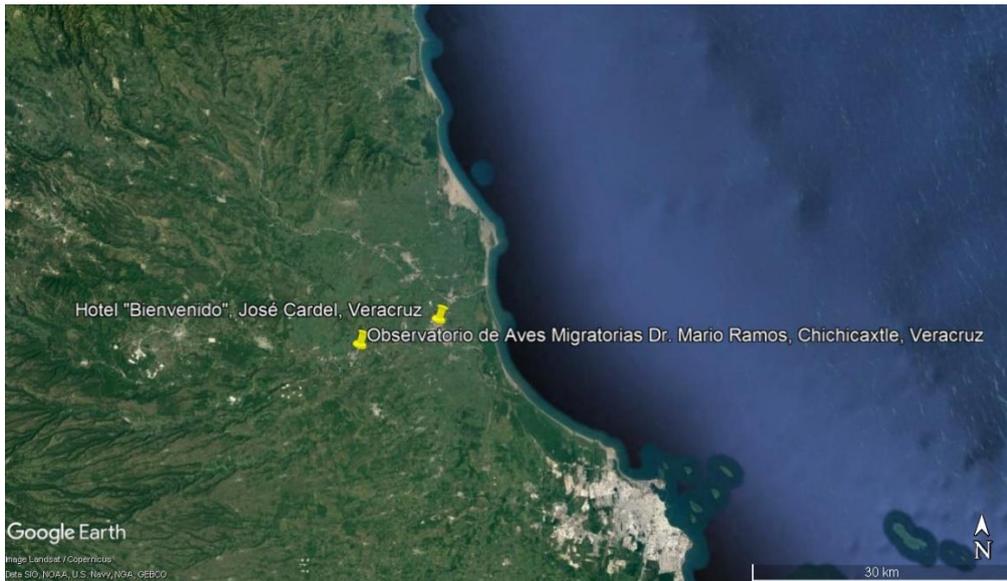


Figura 3. Localidades de conteo durante la migración en Veracruz, México (Google Earth Pro).

## b) Análisis estadístico

Para conocer la tendencia poblacional de la especie, se calculó el cambio proporcional en el tamaño de la población de cada año al siguiente, obteniendo la tasa finita de crecimiento poblacional como  $\lambda = N_{t+1} / N_t$ ; tras obtener dicho valor para todos los años, se calculó la media y la desviación estándar para conocer cuántos individuos en promedio se registran cada mes durante la temporada de toma de datos (Gotelli, 2008).

Además, se analizaron los datos con el método propuesto por Farmer y colaboradores (2007) para monitorear poblaciones de aves rapaces migratorias. Hay dos supuestos que deben ser aceptados para este análisis en Veracruz, México; el primero, es que los censos realizados por las estaciones de conteo son una muestra adecuada de las poblaciones de rapaces que migran a través del Golfo de México, con un flujo de individuos constante (Ruelas, 2010). El segundo supuesto, es que pese a las variables tanto intrínsecas como extrínsecas que inciden sobre el conteo de aves migratorias, la muestra representa una proporción constante de la población a largo plazo (Ruelas, 2010).

El monitoreo de la migración se obtiene con índices anuales que derivan del conteo diario de individuos; debido a la distribución sesgada de los conteos diarios, en la cual hay muchos días con cero o pocos individuos contados y pocos días con muchos registros, la media geométrica es una mejor medida de tendencia central en estos casos (Farmer *et al.*, 2007). Para optimizar el análisis, se establecieron dos ventanas de conteo; la primera, incluye al 95% de los individuos contados cada año, excluyendo al primer 5% registrado y a todos los ceros asociados, es decir, la ausencia de individuos contados. La segunda, incluye al 95% de individuos contados a lo largo de cada día, para lo cual se excluye los registros (individuos y ceros) obtenidos en las horas 8-9 am, 4-5 pm y 5-6 pm. De este modo, se consigue una mejor distribución de los datos, disminuyendo la influencia de muchos ceros registrados con pocos individuos (Farmer *et al.*, 2007). Una vez establecidas ambas ventanas de conteo, se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) de una vía, siendo los años el factor y los individuos la variable de respuesta para conocer si hay diferencias significativas entre el número de individuos de cada año; para la regresión polinomial, cada coeficiente fue la media geométrica del conteo de cada año (2008-2018), misma que se obtuvo según Farmer y colaboradores (2007):

La estimación de la media geométrica transformada para el año  $j$  fue:

$$(TGM)_j = a_0 + a_j$$

después, este estimado fue transformado de vuelta a la escala original para obtener cada coeficiente de la regresión:

$$(GM)_j = \exp[(TGM)_j + V/2] - 1$$

Donde  $V$  es la varianza de error de la regresión; en el supuesto que  $(N_{ij} + 1)$  tiene una distribución normal logarítmica, añadir  $V/2$  a  $(TGM)_j$  antes de transformar de vuelta provee una estimación del número promedio de aguillillas en la ventana de conteo establecida (Farmer *et al.*, 2007).

El número de posibles modelos se limita al número de años en los que se realizó el muestreo; en este caso,  $\leq n/5$ . Siendo los coeficientes cada año desde el 2008 al 2018, se obtuvieron dos posibles modelos; de primer y de segundo orden (Ruelas-Inzunza, 2010). Todos los análisis del presente trabajo se realizaron en el software estadístico RStudio (2019).

Para describir la fenología de la migración de la especie, se emplearon medidas de tendencia central (media por cada mes de cada año) para hacer estadística descriptiva. Además, se empleó el criterio del día de arribo del primer individuo (FAD, por sus siglas en inglés) para conocer si hay variación significativa o no en el tiempo de inicio de registros de esta especie en la estación de conteo (Lindén, 2011). Se realizó una regresión en la cual se asignó como día uno al primero de enero de cada año y se contempla únicamente el número de día en que se registró el primer individuo en cada temporada de conteo; este método es uno de los más empleados para describir la distribución temporal en una población migratoria, siendo útil para el estudio de la fase temprana de la migración y, particularmente en este caso, poder revelar si existe un retraso en el inicio de la migración de esta especie (Lindén, 2011). Además, dada la distribución anormal de los datos, se realizó una correlación de Spearman para conocer si hay o no asociación lineal entre las dos variables (una correlación positiva sustentaría la idea de que conforme aumenta el tiempo aumenta el retraso en el registro de individuos) (Martínez *et al.* 2009).

Para conocer si hay un efecto del Niño y La Niña en la migración de la especie, se agrupó el total de individuos contados durante cada mes de cada año en función de si fueron registrados en un año con presencia de El Niño, La Niña o neutral (sin presencia de ninguno de los dos fenómenos anteriores). Los años se clasificaron con el Índice Oceánico del Niño (ION), siendo definido por la administración nacional oceánica y atmosférica de EE. UU. (<https://www.noaa.gov/>) como Niño cuando cinco periodos consecutivos de tres meses con valores del índice ION está sobre  $0.5^{\circ}$  a lo normal, o como Niña si es por debajo de  $0.5^{\circ}$ . Tras corroborar la homocedasticidad de varianzas con una prueba de Levene, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis.

## Resultados

Se contaron 7539 individuos de *Buteo plagiatus* en la temporada migratoria otoñal, contemplando los meses de agosto (a partir del día 20), septiembre, octubre y noviembre (hasta el día 20) de los años 2008-2018. En total, fueron 20050 horas de conteo distribuidas en 1023 días.

### a) Fenología migratoria

El mes de agosto incluye, promediando todos los años de toma de datos, 17.2 individuos, con una desviación estándar de 17.9. Es importante considerar que cada año al iniciar la temporada de conteo, sólo se toman datos a partir del día 20 de agosto, reduciendo los días efectivos del mes a aproximadamente 10. Esto, sumado a la rara presencia de aguilillas grises migratorias a inicios de la temporada de conteo explica el por qué los valores son tan bajos además de la muy alta variabilidad, teniendo muchos ceros (ausencia de individuos) incidiendo en el promedio pese al pico máximo de conteos para este mes, que es 35.

Durante el mes de septiembre se registró un promedio de 97.9 individuos, y una desviación estándar de 84.6, la cual de nuevo es muy alta debido a que no es un mes con flujo fuerte de individuos. Pese a que se toman datos el mes completo y su máximo de 182, dista mucho de ser el mes con el flujo principal de individuos migrando.

A diferencia de los meses anteriores, octubre es el mes con más individuos registrados; en promedio 519 (Figura 4). La desviación estándar, de 276, es considerable, no obstante, hay que recalcar que la mayoría de los individuos son registrados precisamente a finales del mes de octubre e inicios del mes de noviembre, lo que evidencia la migración tardía de ésta especie en particular con respecto a otras rapaces migratorias, y lo cual explica también los valores tan altos registrados en noviembre, mes en que sólo se toman datos hasta el día 20 y aun así, pese a no tomar datos el mes completo, registra en promedio 387 individuos, con una desviación

estándar de 172. Octubre y noviembre tienen un máximo de conteo 795 y 559, y un mínimo de 243 y 215 individuos, respectivamente.

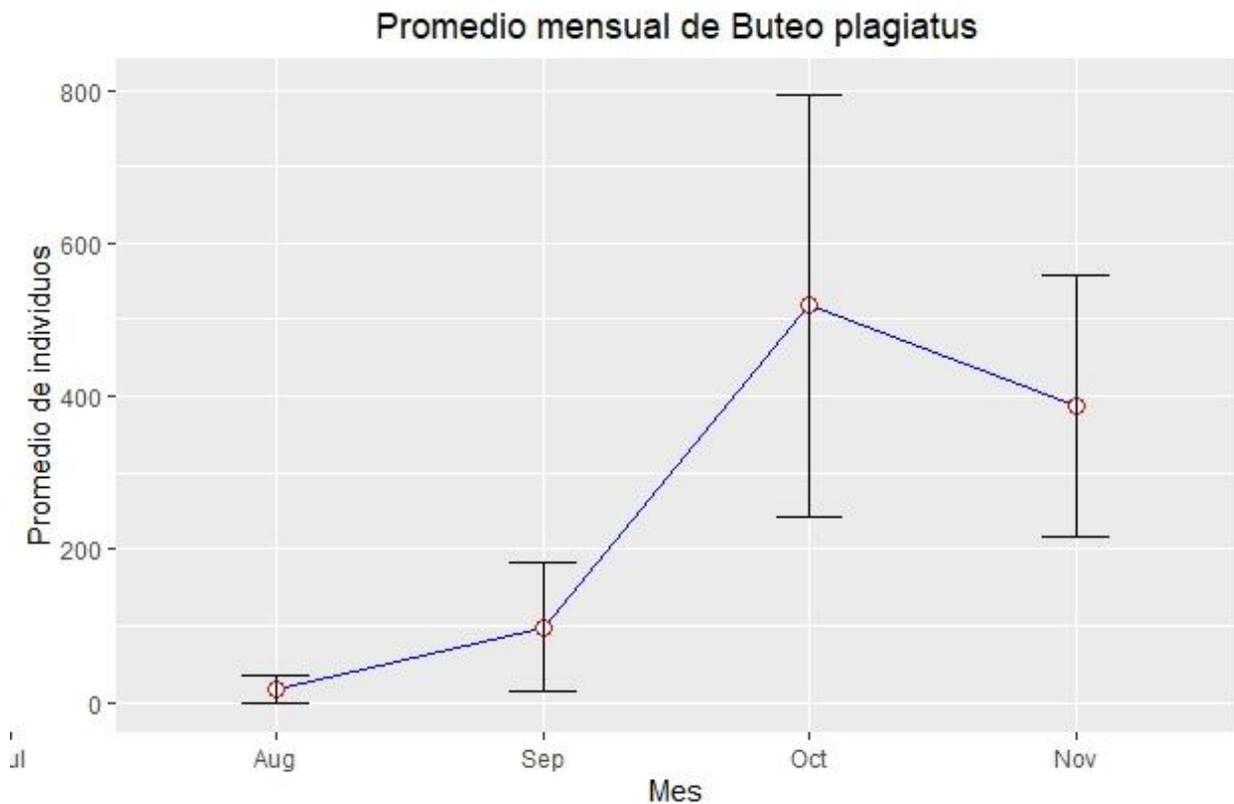


Figura 4. Promedio de individuos contados cada mes en todas las temporadas de toma de datos.

Los resultados obtenidos en la prueba de regresión lineal realizada para analizar la tendencia en diferencias de fecha de arribo de individuos no fueron estadísticamente significativos ( $r^2 = 0.06$ ), por lo que el aguililla gris no inicia su migración cada vez más tarde (Figura 5). Pese a tener una tendencia creciente, esta no es significativa ( $p=0.46$ ). Además, la correlación de Spearman confirmó que no hay asociación lineal entre las dos variables de estudio ( $\rho = 0.05$ ). Dado que ninguno de estos dos análisis tiene significancia estadística, se puede decir que no existe asociación de las variables en la correlación y tampoco demuestran una relación de dependencia al realizar la regresión.

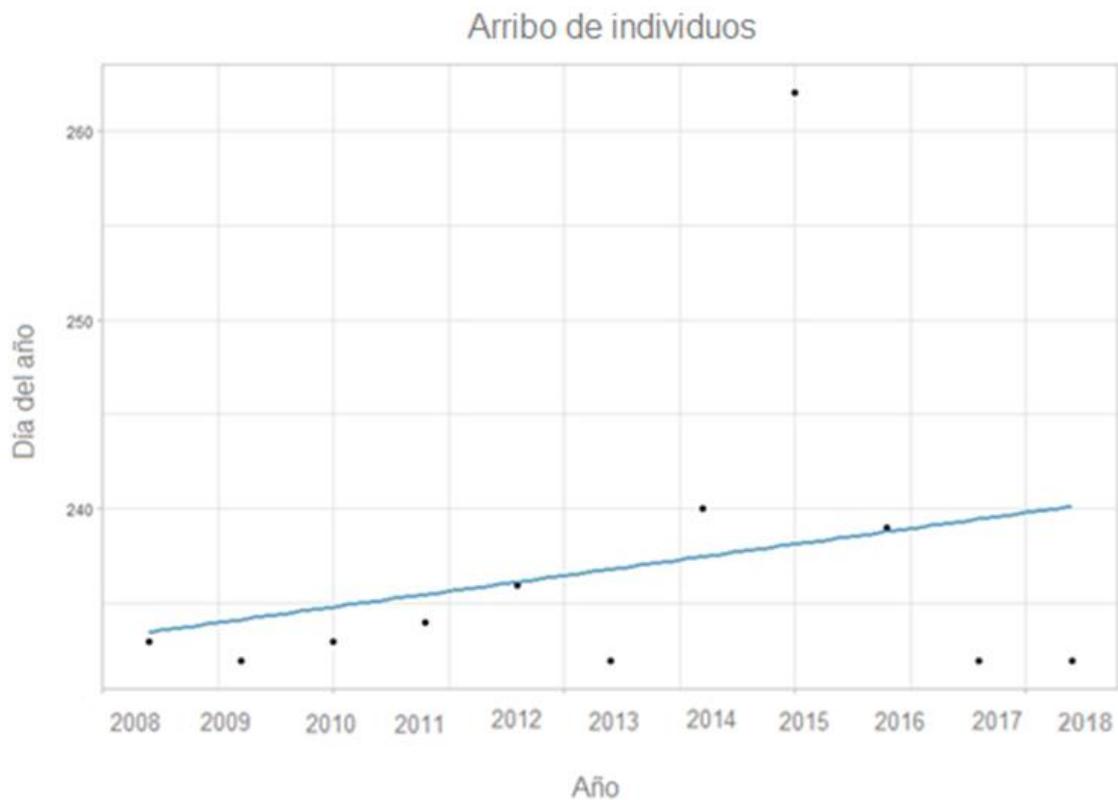


Figura 5. Diferencias entre la fecha de llegada del primer individuo en cada año.

Si bien el diagrama de cajas muestra una mayor dispersión de los datos en años con condiciones climatológicas neutrales, los resultados obtenidos de la prueba de Kruskal-Wallis muestran que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ( $p= 0.69$ , Figura 6), por lo que la migración del aguililla gris no se ve afectada en cuanto a número de individuos por los fenómenos del Niño o La Niña. En la Tabla 1 se muestran los detalles sobre los datos, agrupando en cada categoría de fenómeno al total de individuos registrados cada mes de cada año. Los años en que hubo presencia de La Niña fueron 2008, 2010, 2011, 2016 y 2017, mientras que en los años 2009, 2014, 2015 y 2018 hubo presencia del Niño. Por último, los años 2012 y 2013 fueron neutrales.

Tabla 1. Resumen estadístico del conteo mensual de cada año.

Año	Fenómeno climático	Mínimo	Máximo	Mediana	Media
2008	La Niña	3	248	59	92.25
2009	El Niño	0	405	118	160.2
2010	La Niña	6	298	134.5	143.2
2011	La Niña	0	418	119.5	164.2
2012	Neutral	0	746	245	309
2013	Neutral	3	392	156	176.8
2014	El Niño	1	191	94.5	95.25
2015	El Niño	0	462	91.5	161.2
2016	La Niña	2	577	120.5	205
2017	La Niña	13	460	200.5	218.5
2018	El Niño	2	367	48	116.2

Fuente: elaboración propia con datos de PRONATURA.

### Variación en la migración del aguililla gris en presencia de El Niño y La Niña

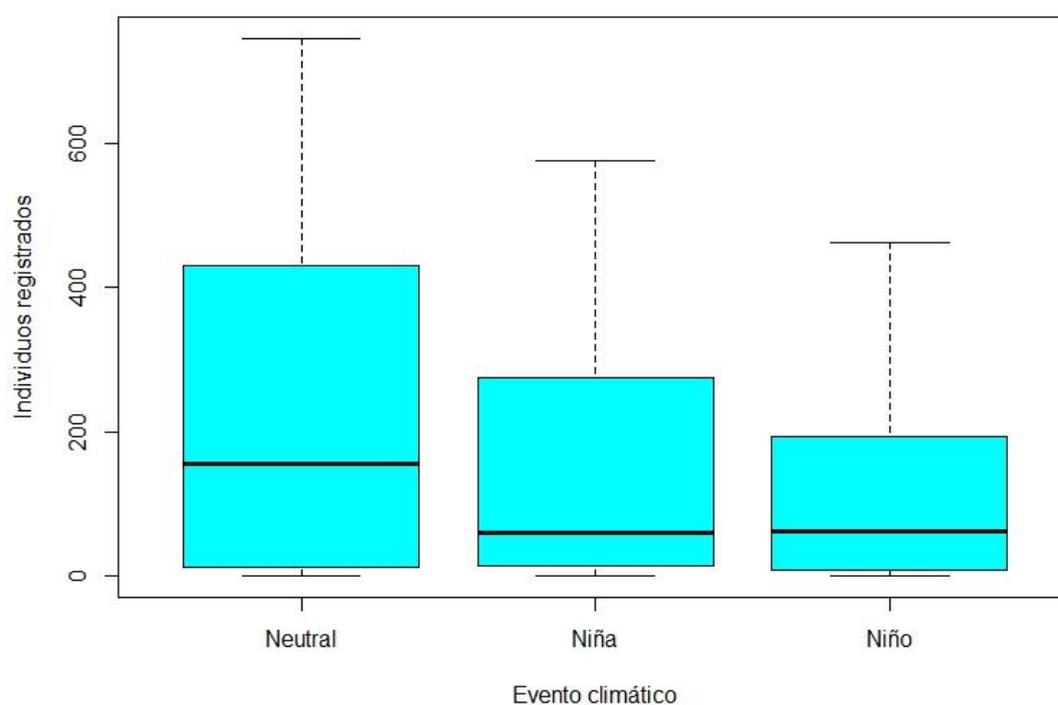


Figura 6. Diferencias en el conteo de individuos contemplando los fenómenos meteorológicos del Niño y La Niña.

## b) Tendencia poblacional

La tasa finita de crecimiento poblacional ( $\lambda = 1.04$ ) se interpreta como un crecimiento poblacional del 4%, con una desviación estándar de 0.48.

En la Figura 7, el primer punto representa el cambio ocurrido entre los años 2009 y 2008, el segundo el ocurrido entre 2010 y 2009, etc. Los puntos cuyo valor es más cercano a uno en la gráfica son 2010, 2011 y 2017, con unos valores de 1.12, 0.87 y 0.94, respectivamente. Esto quiere decir, que es en estos pares de años en los cuales hubo un menor recambio en el conteo de individuos.

Por otro lado, los puntos con una localización más extrema son los años 2009 (0.58), 2012 (0.53), 2013 (1.74), 2014 (1.87) y 2015 (0.59), y tienen esta característica debido a un recambio considerable (de casi el 100 %) en el conteo de individuos en ese par de años, acercándose a cero o a dos dependiendo si el año con el número de individuos considerablemente mayor es el denominador o el numerador, respectivamente.

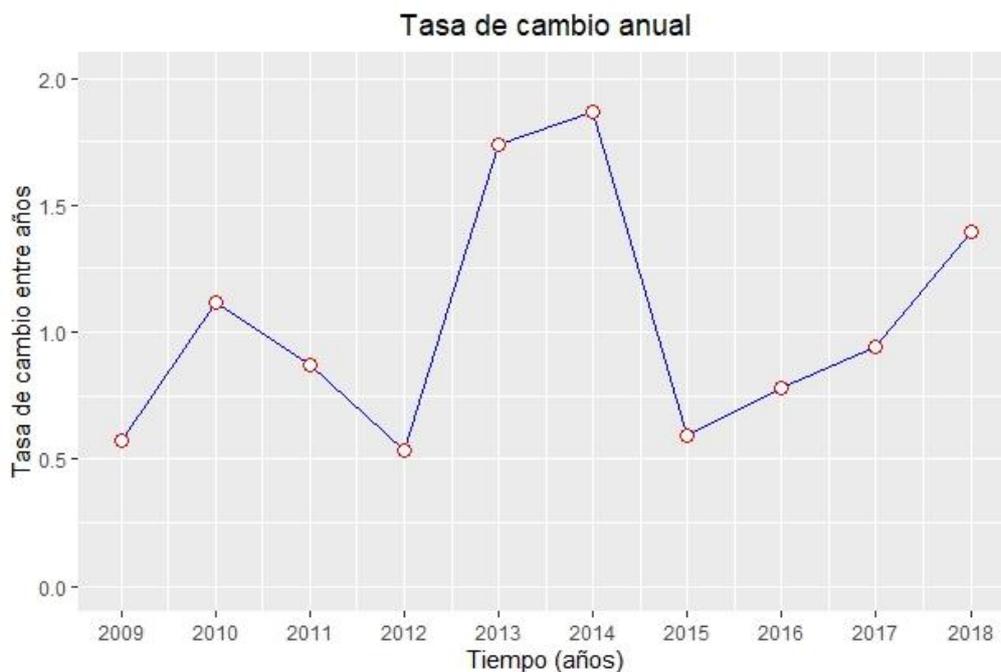


Figura 7. Cambio anual en la población de *Buteo plagiatus*.

Se realizaron los dos modelos posibles (primer y segundo orden), no obstante, el resultado del ANOVA realizado no muestra diferencias significativas entre ambas opciones ( $p=0.3788$ ), razón por la cual se seleccionó el más sencillo (primer orden) para explicar los datos. El modelo muestra una distancia considerable de los datos a la regresión polinomial ( $r^2=0.06$ , Figura 8). La tendencia creciente no significativa ( $p=0.47$ ) es congruente con la lambda obtenida previamente, por lo que la población puede considerarse como estable.

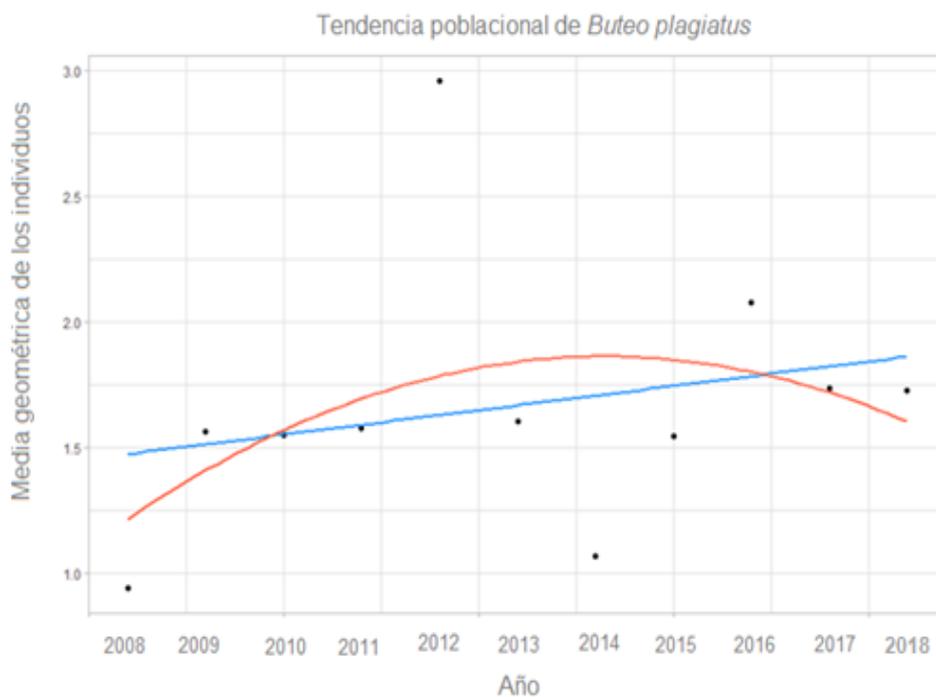


Figura 8. Regresión lineal (en azul) junto al modelo polinomial (en rojo) utilizando la media geométrica de los censos anuales.

## Discusión

### a) Migración; fenología, implicaciones ecológicas y conducta migratoria

Los patrones migratorios son influenciados por las capacidades aerodinámicas y la conducta de vuelo en cada especie (Radcliffe, 2018). *Buteo plagiatus*, al igual que otras rapaces migratorias registradas en Veracruz, migra aprovechando las termas para disminuir el gasto energético; no obstante, Ruelas-Inzunza (comunicación persona I, 13 de noviembre de 2018) propone que la especie tiene un flujo migratorio considerable tierra dentro, lejos del mar. Según Kerlinger (1985) las aves que suelen cruzar cuerpos de agua en su migración tienen las alas puntiagudas y largas, como los halcones (género *Falco*), en contraste con la mayoría de los Accipítridos, en este caso aguilillas, que tienen alas anchas y largas, ideales para planear sobre el terreno continental pero no muy eficientes para aletear; de hecho, volar sobre el mar obliga a las rapaces a aletear mucho más seguido (y por consiguiente gastar más energía) debido a la ausencia o debilidad de las termas y corrientes de aire ascendente (Kerlinger, 1985; Radcliffe, 2018). Esto además de la ausencia de presas potenciales para el aguililla gris explicaría la preferencia de esta por migrar tierra dentro, a diferencia, de los halcones, como el esmerejón (*Falco columbarius*) o el peregrino (*Falco peregrinus*) que si pueden alimentarse de otras aves migratorias capturadas al vuelo, en ocasiones sobre el mar (Radcliffe, 2018).

Actualmente, diversos estudios describen que la migración en las aves rapaces es una conducta flexible, con bases genéticas, pero fuertemente influenciada por factores externos (Bildstein, 2018). En algunas especies de rapaces como el halcón esmerejón (*Falco columbarius*), se han documentado cambios en la conducta migratoria, pasando de ser poblaciones migrantes a residentes en función de la disponibilidad de alimento, que a menudo son especies exóticas y/o nocivas, como roedores, palomas (*Columba livia*) y gorriones ingleses (*Passer domesticus*) fuertemente asociadas a ciudades y áreas con impacto antropogénico (Bildstein, 2018; Radcliffe, 2018). Esto aunado a inviernos cada vez menos fríos parece explicar por qué algunas rapaces que eran estrictamente migratorias, ahora pasan el invierno

en territorios del norte, sin tener que arriesgarse en un viaje tan largo hacia el sur (Bildstein, 2018).

No obstante, pese a la plasticidad de la conducta migratoria, resulta importante observar que aún dentro de una población, no todas las aves responden igual a los estímulos externos. Glinsky (1998) reporta que algunos individuos de aguililla gris pasan el invierno en Arizona (Estados Unidos de Norteamérica), observando en particular a una pareja que se quedó junta todo el año; es posible que una estacionalidad menos marcada junto con el manejo del hábitat propicie que cada vez más individuos de aguililla gris pasen el invierno en sus territorios del norte, por lo que una disminución en los conteos de Veracruz en el futuro para esta especie no necesariamente significaría un declive poblacional, si no menos individuos migrando o simplemente migrando menos distancia al sur, fenómeno conocido como migración de parada corta (*migratory short-stopping* en inglés), que ya ha sido reportado para otras rapaces migratorias, como por ejemplo el halcón esmerejón (Radcliffe, 2018).

Por último, para entender la conducta migratoria de *Buteo plagiatus*, para las rapaces está reportado que las poblaciones más norteñas tienen una migración más pronunciada, anticipada y larga, que aquellas de latitudes menos extremas de la misma especie; esto posiblemente se debe al cambio más radical en el hábitat por la estacionalidad y es una posible explicación de por qué hay poblaciones no migrantes de esta especie en el centro y sur de México, donde la productividad del hábitat no cambia mucho, y poblaciones migrantes en el norte del país, donde el invierno trae consigo cambios considerables en la estructura del ecosistema (Radcliffe, 2018).

La agregación en mega parvadas (grupos muy numerosos de individuos) es característica de muchas rapaces migratorias, particularmente de algunas aguilillas con alta conducta migratoria (*Buteo platypterus* y *B. swainsoni*); este comportamiento coalescente ocurre principalmente en migrantes de larga distancia, a menudo transecuatoriales y en regiones tropicales; debido a la temporalidad con la que se forman estas agregaciones (al poco tiempo de haber empezado la migración y antes de llegar a sitios con características geográficas que las obliguen a agruparse para pasar, como sucede en la costa de Veracruz) se ha propuesto que esta es una conducta propia de las aves, y no una respuesta a características geográficas

(Bildstein, 2018). *Buteo plagiatus*, en contraste, suele ser reportada por el equipo de PRONATURA viajando sola o en pareja, a menudo dentro de grupos de otras especies, aprovechando las mismas termas para viajar con el menor gasto de energía posible; esta especie probablemente no migra distancias tan largas como las otras aguilillas migratorias, que vienen viajando desde mucho más al norte y suelen pasar el invierno en Sudamérica, por lo que la dinámica de su migración puede deberse a, en primer lugar, una baja densidad poblacional migratoria de esta especie en comparación con las otras y, en segundo lugar, a la magnitud de su migración, que es más corta en tiempo y distancia que la de otras especies estrictamente migratorias (Kashmir Wolf, comunicación personal, 14 de octubre del 2018).

Además, los días pico en la migración del aguililla gris (finales de octubre, principios de noviembre) contrastan con los días pico de las aguilillas con total conducta migratoria; según datos de PVER (2019), los días con más individuos de *Buteo platypterus* son la última semana de septiembre; un mes antes que los de *B. plagiatus*. La diferencia tan grande podría deberse a que *B. platypterus* inicia su viaje desde mucho más al norte (con poblaciones reproductoras en el sur de Canadá) y, por lo tanto, con más anticipación al estar expuestos a pronunciados cambios estacionales propios de esas latitudes mucho antes, viéndose forzadas a migrar (Global Raptor Information network, 2019).

El análisis del día de primer arribo de individuos (FAD, por sus siglas en inglés) proporciona una medida sobre la fase inicial de la migración; si bien no ofrece información sobre la distribución del resto de ésta, es de uso común y permite comprender mejor los patrones migratorios (Tryjanowski *et al.* 2005; Gordo, 2007; Lindén, 2011). El FAD es influenciado por diversos factores, tanto propios de las aves como externos; uno de los más relacionados es sin duda el tamaño poblacional, que conlleva implicaciones tanto estadísticas como biológicas por las cuales las fechas de arribo suelen ser más precisas en especies con poblaciones grandes o en crecimiento (Tryjanowski *et al.* 2005; Gordo, 2007). La razón estadística tiene que ver con el aumento de probabilidad de ver y registrar a los migrantes de una especie que cuenta con muchos individuos, mientras que la razón biológica hace referencia al aumento en la detectabilidad individual producto del comportamiento de las aves cuando hay muchos individuos contrastados a cuando hay pocos; por ejemplo, en el caso de las

rapaces migratorias en Veracruz, concentrándose en mega parvadas (Tryjanowski *et al.* 2005). Es posible que exista una relación entre el equilibrio poblacional de *Buteo plagiatus* (obtenido en los estadísticos como una tendencia creciente no significativa, discutido en la siguiente sección) y las diferencias en el día del registro del primer individuo de la especie. Pese a que no es significativa, si hay una ligera tendencia al retraso, lo que podría pronunciarse más en los siguientes años debido a la plasticidad de la especie frente a los cambios del ambiente, como el paulatino retraso del otoño (Gordo, 2007).

Las tendencias temporales de la migración de otoño/invierno son específicas para cada especie, esto se observa al comparar los datos fenológicos de *Buteo plagiatus* con los de otras rapaces en el mismo sitio de conteo (Gordo, 2007). Los migrantes de distancias largas, como *B. platypterus*, inician su migración de manera temprana una vez terminada su temporada reproductiva, beneficiándose de la mayor abundancia de recursos del final del verano y del inicio del otoño en los sitios de paso y territorios invernales; en contraste, los migrantes de parada corta, como *B. plagiatus*, tienden a posponer, o incluso, suprimir, su salida de los territorios de cría con la consecuente abundancia de pequeños vertebrados que son aprovechados como alimento; además, se ha sugerido que los migrantes de parada corta tienen una mayor plasticidad frente a cambios ambientales (Tryjanowski *et al.* 2005; Gordo, 2007).

El impacto de los fenómenos meteorológicos del Niño y La Niña en las poblaciones de aves varía entre grupos; en particular, su relación con la migración de las rapaces ha sido poco estudiada en comparación con paseriformes o aves acuáticas, en éstas últimas se han reportado descensos poblaciones por mortalidad de adultos y fracaso reproductivo consecuencia de la reducción del recurso alimenticio en presencia del Niño (Kim *et al.* 2008; Jaksic y Fariña, 2010; Barrantes y Sandoval, 2019).

No obstante, las aves terrestres en general suelen ser menos sensibles a los cambios meteorológicos que traen consigo estos fenómenos, y en particular las rapaces han sido reportadas como impactadas de forma negativa y positiva a la vez; negativa por el riesgo de fracaso reproductivo dado el incremento de las lluvias en territorio continental (en presencia del Niño), y positiva en un mediano plazo por la

mayor abundancia de pequeños vertebrados, consecuencia del aumento en la productividad por la lluvia, por lo que una disminución en los individuos registrados en años con presencia del Niño podría deberse simplemente a una menor cantidad de individuos forzados a migrar dada la abundancia del recurso alimenticio en sus territorios de cría (Tryjanowski *et al.* 2005; Jaksic y Fariña, 2010). Si bien el análisis no reveló diferencias significativas en el registro de individuos con las tres categorías diferentes (El Niño, La Niña y Neutral), cabe resaltar que los meses con mayor número de registros pertenecen a los años neutrales, y la menor dispersión de datos y meses con menos registros la posee la categoría de El Niño, por lo que quizás un análisis con más datos en el futuro pueda revelar nueva información sobre la conexión del clima y ésta especie.

Por último, es importante considerar que además del tamaño poblacional y la fenología en sí, el esfuerzo de muestreo y la detectabilidad son factores que repercuten directamente en los análisis y resultados obtenidos con el FAD (Lindén, 2011). El proyecto VRR de PVER cuenta con ambos; una excelente capacidad de detección dada la ubicación privilegiada de sus sitios de conteo (ubicados en un lugar alto y con una apropiada vista panorámica a dónde pasan las aves) y un admirable esfuerzo de muestreo, en el cual expertos en identificación de aves rapaces tanto de México como de diversos países colaboran, respetando protocolos y horarios. El único punto que vale la pena considerar como deseable y que al menos por ahora no es posible cumplir, es el discernir en la toma de datos de conteo entre individuos adultos y juveniles, pues es bien sabido en otras rapaces que no migran al mismo tiempo hembras y machos, ni juveniles y adultos, y una mayor especificidad en los datos permitiría realizar análisis más detallados y que brinden mayor información para el entendimiento de la conducta migratoria en ésta y otras especies de rapaces; a su vez, si existiesen otros puntos de monitoreo de la migración más alejados del mar, se podría completar la información obtenida sobre la migración de ésta y otras especies de rapaces que probablemente migran también tierra dentro, lejos de la costa (Gordo, 2007).

## b) Tendencia poblacional

Para realizar aseveraciones sobre la situación poblacional de la especie en todo su rango geográfico, sería necesario discutir estos resultados obtenidos con otros censos que no se enfoquen en individuos migratorios, como lo es el censo de aves reproductoras (Breeding Bird Surveys) en Estados Unidos de América y Canadá; desafortunadamente, dichos censos no se realizan de igual forma en México, y no se cuenta con censos poblacionales sistemáticos para la especie de estudio y otras rapaces en el resto del país; además, dicho tipo de estudios no suelen ser tan efectivos con rapaces, debido principalmente a los hábitos esquivos que estas presentan, con relativa poca densidad poblacional y alta segregación; por lo tanto, estos resultados deben ser analizados con precaución y no olvidar que sólo corresponden a la población norteña migratoria de esta especie y no a su población total (Farmer, 2007; Ruelas-Inzunza, 2010).

Los resultados muestran que la población migratoria del aguililla gris no se encuentra en declive; la lambda de 1.04 indica un ligero crecimiento (4%) y los valores obtenidos con el modelo polinomial sugieren también un pequeño crecimiento poblacional, no obstante, este no es significativo ( $r^2=0.06$ ,  $P=0.47$ ); por lo tanto, esta población se encuentra en equilibrio (Mandujano, 2011). Estos datos podrían ser congruentes con la natalidad registrada para la especie en el norte de su distribución; Bibles y Mannan (2004) reportan una productividad de 1.32 polluelos por sitio ocupado, sin reportar un aumento considerable de esta con respecto a estudios pasados en Arizona (Glinski, 1988; Bibles y Mannan, 2004).

El aguililla gris nunca ha sido un ave común en Estados Unidos de Norteamérica, país con el que podría definirse el límite norte de su distribución; su población en el norte está estimada en pocos cientos de individuos; Dunne y colaboradores han sugerido que hay sólo 100 parejas reproductoras, aceptando que la mayoría de los individuos migran al sur en otoño, aunque algunos pocos individuos han sido reportados como residentes todo el año, mientras que otros autores estiman la población total de Estados Unidos de América en aproximadamente 1000 individuos (Dunne *et al.* 2012; Global Raptor Information Network, 2019). No obstante,

pese a que no hay suficientes datos cuantitativos para comparar, diversos autores señalan que *Buteo plagiatus* ha aumentado su población y distribución en las últimas décadas en Estados Unidos (Bibles y Mannan, 2004). Williams y Krueper (2008) sugieren con base en datos anecdóticos e históricos que la especie ha aumentado considerablemente su distribución hacia el norte, por lo que ahora tiene presencia en sitios de Texas, Arizona y Nuevo México donde hace pocas décadas no se encontraba e incluso mencionan que también ha aumentado su distribución en zonas del norte de México; ellos atribuyen dicha expansión a cambios favorables en la vegetación para nidificar y cazar, además del aumento progresivo de la temperatura, que no sólo favorece a las aguilillas per se, sino también a reptiles y roedores de los que estas se alimentan.

Con el propósito de entender la situación poblacional de esta especie y contribuir con información útil para diseñar estrategias de conservación para esta y otras rapaces migratorias a lo largo de su distribución, a continuación, se presenta una revisión bibliográfica y se discuten las principales amenazas identificadas para las aves rapaces por McClure y colaboradores (2018) para el caso de *Buteo plagiatus*:

### **1) Alteración y destrucción del hábitat**

Al igual que la mayoría de las rapaces del género *Buteo*, el aguililla gris es una rapaz generalista que se encuentra en distintos tipos de hábitat a lo largo de su distribución; no obstante, las actividades antropogénicas, como el pastoreo de ganado y explotación desmedida del agua, han degradado aproximadamente el 80% de los ecosistemas ribereños en Estados Unidos de América, hábitat al que está fundamentalmente ligada la población del norte de esta especie (La porte *et al.* 2020).

En general, *B. plagiatus* se reporta como tolerante a las actividades humanas, incluso en la temporada de reproducción, habiendo reportes tanto de nidos activos en zonas con perturbación antropogénica, como de individuos cazando en zonas de cultivo con presencia de maquinaria y mano de obra (Kropp, 2002; Patrikeev, 2007). Si bien todas las rapaces tratarán de obtener alimento de la forma menos

energéticamente costosa posible, Fox (1977) propone en su tesis doctoral que hay dos principales estrategias empleadas por las rapaces para cazar: 1) hay especies que apuestan por realizar persecuciones agresivas por presas grandes y nutricionalmente redituables aún si esto implica un gran gasto de energía y que se categorizan como agresoras (attackers) y, en contraste, 2) hay especies que optan por escoger una percha apropiada en altura y locación, y esperar una oportunidad de caza, que muchas veces culmina con un vuelo corto pero decidido al suelo para capturar una presa con el menor esfuerzo posible; la mayoría de las especies del género *Buteo* se comportan de ésta última forma, y se denominan buscadoras (searchers), por lo que en algunos casos, cambios no muy abruptos en el ecosistema pueden tener nulo impacto sobre sus poblaciones, o incluso serle benéfico, aumentando el área potencial de caza y teniendo un impacto en la estructura de la comunidad de especies, con un consecuente incremento de roedores y otros pequeños vertebrados (Fox, 1977).

La Porte y colaboradores (2020) demostraron que, a partir de 1988, tras la prohibición del pastoreo en los pastizales del área nacional de conservación ribereña San Pedro, en Arizona, la calidad del hábitat mejoró considerablemente para la especie, producto del cambio en la composición de especies que sufrió el lugar; dichos pastizales comenzaron a tener una cantidad cada vez mayor de aguilillas grises, registrándose en estas una productividad de nidos equivalente a la obtenida en los bosques de mezquite; un dato interesante e influyente en dicho cambio, es el cambio registrado en la proporción de vertebrados en la dieta, incluyendo más roedores que sus conoespecíficos habitantes del bosque de mezquite. Para dicho trabajo, el aguililla gris fue seleccionada como especie indicadora del efecto a largo plazo en la biodiversidad tras las nuevas regulaciones de manejo del hábitat, demostrando una vez más que las rapaces son un excelente barómetro ambiental (La Porte *et al.* 2020).

En el extremo norte de su distribución, dónde habita la población migratoria, los bosques de mezquite con escasos árboles altos y grandes zonas abiertas son el hábitat de elección, mientras que en el sur de su distribución suelen ser abundantes en tierras bajas, habitando bordes de bosque, bosques ribereños y arboledas semiáridas. (Peterson y Chalif, 1973; Kropp, 2002). En el caso de Texas, parece ser

que la falta de árboles adecuados para anidar es una limitante para su expansión; pues los nidos de esta especie se han reportado en árboles altos cerca del agua, a lo largo del Río Grande, en bosques restaurados (Patrikeev, 2007). En México, dada la distribución de los bosques ribereños en áreas a menudo favorables para el desarrollo de actividades humanas, existe una fuerte presión sobre éstos, sobre todo por actividades agrícolas; conservarlos es de vital importancia, no sólo para el aguililla gris, sino para un gran número de especies dada la conectividad que dan a paisajes fragmentados y su rol en la dinámica de nutrientes (Treviño *et al.* 2001, Vázquez *et al.* 2015).

En general, en los estados del sur de Estados Unidos de América y el norte de México, es probable que la presencia del aguililla gris a largo plazo esté ligada al buen manejo del agua, pues son mantos acuíferos subterráneos los que mantienen los bosques donde habita (Bibles y Mannan, 2004).

## **2) Eliminación directa**

Las rapaces, al igual que otros depredadores tope, han sufrido una larga persecución debido principalmente a campañas de desinformación, así como mitos regionales, que incluyen el asociarlas con brujería y mal agüero, vistas como competencia para la caza de especies de valor cinegético, como las codornices (Odontophoridae) o depredadoras de animales domésticos, ser buscadas como trofeo e incluso por temor a que ataquen a las personas (Audubon, 1840; Bildstein, 2008). Pese a que se ha luchado con educación por erradicar dichas creencias, la persecución no ha desaparecido, aunque es cierto que en Norteamérica (Estados Unidos de América y Canadá) ha disminuido en gran medida, en México todavía falta mucho por hacer; de hecho, una de las principales amenazas para la población nortea de *Buteo plagiatus*, es la cacería ilegal una vez que inician su viaje al sur, a zonas tropicales (Cartron, 2010). Por ejemplo, en 1988, Richard Glinski, de la Universidad de Arizona, anilló a siete polluelos de aguililla gris, los cuales fueron recapturados en el norte de Sinaloa, México; de estos siete, seis tenían disparos (Kropp, 2002) Este es un claro ejemplo de por qué para proteger especies migratorias, los esfuerzos conservacionistas deben ser transfronterizos.

### 3) Envenenamiento

Si bien la persecución directa comenzó a disminuir en Estados Unidos de América a mediados del siglo XX, fue en las últimas décadas del siglo cuando las rapaces enfrentaron una disminución poblacional masiva por el uso indiscriminado de los pesticidas organoclorados; debido a la acumulación de los químicos en cuerpos de agua, así como a la bioacumulación de los mismos a través de la cadena trófica, las rapaces más afectadas fueron aquellas que pescaban o que se encontraban en la cima de la cadena alimenticia, como el halcón peregrino (*Falco peregrinus*), un ornitófago especializado (Bildstein, 2008). Debido a la ecología trófica del aguiluza gris, es probable que la especie no haya sido tan afectada como lo fueron otras rapaces especialistas; aunque la proporción de especies en la dieta varía geográficamente, en el norte de su distribución la mayoría de las presas reportadas son reptiles, seguido de una proporción pequeña y equivalente de roedores y aves (Glinsky, 1988; Bibles, 1999). En las rapaces, el grado en que una especie se ve afectada por las actividades antropogénicas depende en parte de su nivel de especialización, lo cual explica por qué *Buteo plagiatus* nunca tuvo, hasta donde se sabe, una disminución poblacional tan pronunciada como *Falco peregrinus*, y explica también por qué en los últimos años no tiene un crecimiento poblacional tan pronunciado y estadísticamente significativo como algunas especies del género *Falco* y *Accipiter*, cuyo incremento poblacional puede ser interpretado como las poblaciones volviendo a su número original, antes de la era del DDT (Williams y Krueper, 2008; Ruelas-Inzunza, 2010; Grande *et al.* 2018).

### c) Discusión del método

A continuación, se discuten puntos relacionados con el método empleado en este trabajo.

- El aguililla gris tiene el potencial de ser confundido con el aguililla de alas anchas (*Buteo platypterus*) especialmente cuando tiene plumaje juvenil, siendo ambas especies blancas con café por debajo, con alas anchas y largas típicas del género; no obstante, proporcionalmente hablando, *B. plagiatus* tiene una cola más larga y alas menos anchas; además, *B. plagiatus* suele verse más angular al vuelo; cuando planean, *B. plagiatus* tiene las puntas de las alas mucho más levantadas, que contrastan con las alas en un ángulo hacia abajo de los *B. platypterus* (Dunne *et al.* 2012). Pese a la preparación de los identificadores en las estaciones de conteo, es probable que algunos individuos de ambas especies sean confundidos, pues algunos individuos de *B. plagiatus* se pueden encontrar dentro de las mega parvadas de cientos o miles de *B. platypterus* durante la migración (Dunne *et al.* 2012).
- Aún con la excelente ubicación de ambas estaciones de conteo de la asociación PVER, muchos individuos no pueden ser observados y en consecuencia contados. Se sabe gracias a estudios de telemetría satelital que las rapaces pueden viajar a una altura que las hace indetectables para los observadores; por ejemplo, otras especies de *Buteo* (*B. platypterus* y *B. swainsoni*) han sido reportadas viajando a 5000 metros de altura (Bildstein, 2018). Además, *Buteo plagiatus* en particular migra más tierra dentro en comparación con otros *Buteo* migratorios, por lo que resulta complicado monitorear su migración completa (E. Ruelas, comunicación personal, 13 de noviembre de 2018).
- Debido a que *Buteo plagiatus* suele migrar solo o en pareja, con un número total de pocos cientos de individuos contados cada temporada, este tipo de estudios poblacionales con regresiones polinomiales suelen tener mucha variación inter anual; caso contrario a lo que sucede con especies que migran

en masa y con muchos miles de individuos, las cuales al conformar una población más robusta tienen coeficientes de variación más bajos y, por lo tanto, resulta en una medida poblacional más confiable (Ruelas, 2005). Por esta razón, la tasa finita de crecimiento poblacional resulta otra medida confiable para conocer la tendencia poblacional y su variación, permitiendo comparar ambos métodos, observando en este caso que hay congruencia en los resultados.

- Este tipo de estudios toman en cuenta todos los individuos observados, tanto juveniles como adultos; esto evita ciertos sesgos existentes en otro tipo de muestreos empleados, por ejemplo, en passeriformes; a su vez, estudios con los datos de un solo sitio representan las condiciones en una amplia área geográfica, pues las aves contadas provienen de distintos sitios (Arizona, Texas, Nuevo México y Noreste de México, en este caso) (Dunn, 2005). En contraparte, para la mayoría de las especies registradas en los sitios de conteo, hay poca o nula información sobre la distribución real en temporada de cría y en temporada invernal, lo cual representa un problema al momento de proponer acciones de conservación; en el caso particular de *B. plagiatus*, se desconoce dónde pasan el invierno los individuos migratorios, pero debido al tipo de vuelo (a campo traviesa) que presentan los individuos contados en Veracruz, es probable que todavía se desplacen más al sur del estado o incluso lleguen a Centroamérica, como lo hacen otras rapaces del género (Dunn, 2005).

## Conclusión

La población norteña de *Buteo plagiatus* realiza una migración desde el sur de Estados Unidos y norte de México hacia el sur en otoño, registrando los primeros individuos a finales del mes de agosto en la mayoría de los años, pero con el flujo principal de individuos a finales de octubre e inicios de noviembre, por lo que su migración puede considerarse tardía. No hay una tendencia a migrar cada vez más tarde en esta especie para el periodo estudiado. Los individuos de esta especie migran solos, en pareja o en grandes parvadas junto a otras especies preferentemente tierra dentro.

La población se encuentra en equilibrio, y aún con la transformación del hábitat en el norte del país, su estatus parece seguro en el futuro inmediato. No obstante, al igual que otras rapaces, las decisiones tomadas en los siguientes años en torno a manejo del hábitat, uso de pesticidas y, sobre todo, cooperación transfronteriza entre Estados Unidos de América y México impactarán significativamente en su existencia. Para el caso de México, se recomienda altamente dirigir esfuerzos de concientización al grueso de la población y buscar alternativas sustentables de aprovechamiento que permitan involucrar a las rapaces en el desarrollo rural y urbano.

Probablemente las especies parcialmente migratorias, como lo es *Buteo plagiatus*, podrían ser con las que más aprenderemos sobre el fenómeno de la migración, y de cómo este se ve afectado por actividades antropogénicas, por lo que se sugiere realizar futuros estudios enfocados en otras poblaciones de rapaces parcialmente migratorias y como es su variación en el tiempo haciendo uso también de nuevas tecnologías como los transmisores satelitales.

## Referencias

- Akesson, S. y Hedenstrom, A. 2004. Migration. En: Sutherland, W. J., Newton, I., Green, R. Y Green R. E. 2004. Bird ecology and conservation: a handbook of techniques. OUP Oxford.
- Audubon, J. J. 1840. The Birds of America, vol. I. J. B. Chevalier, Philadelphia, Pennsylvania.
- Ayat, A. y Lestari Tata, H. 2011. Ecosystem services provided by birds in different habitats. International Conference of Indonesian Forestry Researchers (INAFOR).
- Berlanga H. y Rodríguez V. 2010. Las aves migratorias: a prueba de muros. *Especies* 19(1): 16-24.
- Berlanga, H., H. Gómez de Silva. V. M. Vargas-Canales, V. Rodríguez-Contreras. L. A. Sánchez-González, R. Ortega-Álvarez y R. Calderón-Parra 2015. Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes. CONABIO. México D.F.
- Berlanga, H., V. Rodríguez-Contreras, A. Oliveras de Ita, M. Escobar, L. Rodríguez, J. Vieyra y V. Vargas. 2008. Red de Conocimientos sobre las Aves de México (AVESMX). CONABIO, MÉXICO
- Bibles, B. 1999. The relationship between productivity and habitat quality in Gray Hawks. Tucson, Arizona: disertación doctoral, Universidad de Arizona.
- Bibles, B. D., R. L. Glinski, y R. R. Johnson. 2020. Gray Hawk (*Buteo plagiatus*), version 1.0. In *Birds of the World* (A. F. Poole and F. B. Gill, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA.
- Bibles, B. y Mannan, W. 2004. Productivity and nest-site characteristics of gray hawks in southern Arizona. *Journal of Raptor Research*. 38 (3): 238-242.
- Bildstein, K. 2018. Raptor migration. En: En: Sarasola, J. H., Grande, J. M., y Negro, J. J. 2018. *Birds of prey: Biology and conservation in the XXI century*. Switzerland: Springer.
- Bildstein, K. L. 2004. Raptor migration in the neotropics: patterns, processes, and consequences. *ORNITOLOGIA NEOTROPICAL* 15 (Suppl.): 83–99.
- Bildstein, K. L. 2008. *A Brief History of Raptor Conservation in North America*. En K. L. Bildstein, J.P. Smith, E. Ruelas I., R.R. Veit. eds. *State of North*

America Birds of Prey. Nuttall Ornithological Club and American Ornithologists. Union Series in Ornithology No. 3. Cambridge, Massachusetts, and Washington, D.C.

- Boere, G y Stroud, David. 2006. The Flyway Concept: What it Is and What it Isn't. *Waterbirds Around the World*. 40-47.
- Buechley, E.R., Santangeli A., Girardello M., Neate-Clegg MH., Oleyar D., McClure, Christopher J. W. Y Şekercioğlu ÇH. 2019. Global raptor research and conservation priorities: tropical raptors fall prey to knowledge gaps. *Diversity and Distributions*:1–14.
- Butcher, G.S. y Niven, D. K .2007. Combining data from the Christmas Bird Count and the Breeding Bird Survey to determine the continental status and trends of North American Birds. National Audubon Society, New York.
- Cade, T. J. 1982. *The falcons of the world*. Ithaca: Cornell University Press.
- Cartron, J. E. 2010. *Raptors of New Mexico*. University of New Mexico press.
- Ceballos, J. y Justribó, J. H. (eds.). 2011. *Manual Básico y Ético de Cetrería*. 73p. Avium, Madrid.
- Chapman, B.B., Hulthen, K., Wellenreuther, M., Hansson, L.A., Nilsson, J.Å. y Bronmark, C. 2014. Patterns of animal migration. *Animal Movement Across Scales* (ed. by L.-A. Hansson and S. Åkesson), pp.11– 35. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Chapman, B.B., Hulthen, K., Wellenreuther, M., Hansson, L.A., Nilsson, J.Å. y Bronmark, C. 2014. Patterns of animal migration. *Animal Movement Across Scales* (ed: L.-A. Hansson and S. Åkesson), pp. 11– 35. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Chapman, B.B., Hulthen, K., Wellenreuther, M., Hansson, L.A., Nilsson, J.Å. y Bronmark, C. 2014. Patterns of animal migration. *Animal Movement Across Scales* (ed. by L.-A. Hansson and S. Åkesson), pp.11– 35. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Del Hoyo, J., Collar, N. y Marks, J.S. 2018. Grey Hawk (*Buteo plagiatus*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. y de Juana, E. (eds.). *Handbook of the Birds of the World Alive*. Lynx Edicions, Barcelona. Recuperado de <https://www.hbw.com/node/467355>.

- Donázar, J., Cortés-Avizanda, A., Fargallo, J., Margalida, A., Moleón, M., Morales-Reyes, Z., Moreno-Opo, R., Pérez-García, J., Sánchez-Zapata, J., Zuberogoitia, I., y Serrano, D. 2016. Roles of Raptors in a Changing World: From Flagships to Providers of Key Ecosystem Services. *Ardeola: revista ibérica de ornitología*. 63. 181-234.
- Dunn, E. H. 2005. Counting migrants to monitor bird populations: state of the art. En Ralph CJ, Rich TD. (Eds). *Bird conservation implementation and integration in the Americas: Proc 3rd Int Partners Flight Conf 2002*, vols 651, 643; Asilomar, Gen Tech Rep PSW-GTR-191. Pacific Southwest Research Station, Forest Service, US Department of Agriculture, Albany, pp 712.
- Dunne, P., Sibley, D. Y Sutton, Clay. 2012. *Hawks in flight*. Segunda edición. Nueva York. Houghton Mifflin Harcourt Company.
- Farmer, C. J., Hessel, D. J. T. y Mizrahi, D. 2007. Detecting population trends in migratory birds of prey. *The American Ornithologists' Union*. 124(3):1047-1062.
- Fox, NC. 1977. The biology of the New Zealand falcon (*Falco novaeseelandiae* Gmelin 178 8). Unpublished PhD thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Gill F, D Donsker Y P Rasmussen (Eds). 2021. *IOC World Bird List (v11.1)*.
- Glinski, R. 1988. Gray Hawk. Pp. 83-86. En Glinski, R., Pendleton, M., Moss, M., LeFranc, M. Jr., Millsap, B. Eds. *Proceedings of the southwest raptor management symposium and workshop*. Washington, D.C.: National Wildlife Federation.
- Global Raptor Information Network. 2019. Species account: Broad-winged Hawk *Buteo platypterus*. Recuperado de <http://www.globalraptors.org>.
- Global Raptor Information Network. 2019. Species account: Gray-lined Hawk *Buteo nitidus*. Recuperado de <http://www.globalraptors.org>.
- Gordo, O. 2007. Why are bird migration dates shifting? A review of weather and climate effects on avian migratory phenology. *Climate research: Vol. 35*, pp. 37–58.
- Gotelli. Nicholas J. 2008. *A primer of ecology*. Cuarta edición. Sinauer Associates, INC. Sunderland, Massachusetts.

- Grande, J. M., Orozco-Valor, P. M., Soledad Liébana, M., y Sarasola, J. H. 2018. Birds of prey in agricultural landscapes: the role of agriculture expansion and intensification. En: Sarasola, J. H., Grande, J. M., y Negro, J. J. 2018. Birds of prey: Biology and conservation in the XXI century. Switzerland: Springer.
- Gray, M. 2017. Aguililla gris adulta [figura]. Recuperado de <https://www.naturalista.mx/photos/9605672>.
- Isasi-Catalá, E. 2011. Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación. *Interciencia*. 36. 31-38.
- IUCN 2018. *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-1*. <<http://www.iucnredlist.org>>. Downloaded on 05 July 2018. Fecha de consulta: 5 de septiembre del 2018.
- Kerlinger, P. 1985. Water-crossing behavior of raptors during migration. *Wilson Bulletin* Vol. 97, pp. 109-113.
- Kirk, D. A., y C. Hyslop. 1998. Population status and recent trends in Canadian raptors: A review. *Biological Conservation*, 83 (1), 91-118.
- Kirk, D. A., y C. Hyslop. 1998. Population status and recent trends in Canadian raptors: A review. *Biological Conservation*, 83 (1), 91-118.
- Kropp, R. 2002. "*Asturina nitida*" (On-line), Animal Diversity Web. Recuperado de [https://animaldiversity.org/accounts/Asturina\\_nitida/](https://animaldiversity.org/accounts/Asturina_nitida/).
- Kruger, O. 2005. The evolution of reversed sexual size dimorphism in hawks, falcons and owls: a comparative study. *Evol Ecol* 19:467-486.
- Kuhl, H., Frankl-Vilches, C., Bakker, Antje, B., Mayr, G., Nikolaus, G., Boerno S. T., Klages, S., Timmermann, B. y Gahr, M. 2020. An Unbiased Molecular Approach Using 3'-UTRs Resolves the Avian Family-Level Tree of Life. *Molecular biology and evolution*.
- La Porte, A. M., Mannan, R. W., y Brewer, S. 2020. Riparian Conservation Facilitated Expansion of Gray Hawks. *The Journal of Wildlife Management*.
- Lindén, A. 2011. Using first arrival dates to infer bird migration phenology. *Boreal Env. Res.* 16 (suppl. B): 49–60.
- Mandujano, S. 2011. *Ecología de poblaciones aplicada al manejo de fauna silvestre: cuatro conceptos (N,  $\lambda$ , MSY, Pe)*. Instituto Literario de Veracruz S.C., México.

- Martínez, O. R. M., T. L. C. Pendas, O. M. Martínez, A. A. Pérez, y A. M. Cánovas. 2009. EL COEFICIENTE DE CORRELACION DE LOS RANGOS DE SPEARMAN CARACTERIZACION. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2).
- McClure, C., James R.S. Westrip, Jeff A. Johnson, Sarah E. Schulwitz, Munir Z. Virani, Robert Davies, Andrew Symes, Hannah Wheatley, Russell Thorstrom, Arjun Amar, Ralph Buij, Victoria R. Jones, Nick P. Williams, Evan R. Buechley, Stuart H.M. Butchart. 2018. State of the world's raptors: Distributions, threats, and conservation recommendations. *Biological Conservation*, Volume 227, Pages 390-402.
- Medellín, R., Abreu-Grobois, A., Arizmendi, M. C., Mellink, E., Ruelas, E., Sanana, E. y Urbán, J. 2009. Conservación de especies migratorias y poblaciones transfronterizas, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 459-515.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Millsap, B.A., Seipke, S.H. Y Clark, W.S. 2011. The Gray Hawk (*Buteo nitidus*) is two species. *Condor*, 113, 326–339.
- Navarijo, M. L. 2014. *Las aves nacionales: el valor del uso de la imagen*. Ciudad de México: Instituto de Biología, UNAM.
- Navarro, A. y Benítez, H. 1998. *El dominio del aire*. Fondo de cultura económica.
- Negro, J. 2018. Raptors and people: an ancient relationship persisting today. En: Sarasola, J. H., Grande, J. M., y Negro, J. J. 2018. *Birds of prey: Biology and conservation in the XXI century*. Switzerland: Springer.
- Negro, J. J. y Galván, I. 2018. Behavioural Ecology of Raptors. En: Sarasola, J. H., Grande, J. M., y Negro, J. J. 2018. *Birds of prey: Biology and conservation in the XXI century*. Switzerland: Springer.
- Ocampo-Peñuela, N. 2010. El fenómeno de la migración en aves: una mirada desde la Orinoquia. *Orinoquia*, 14(2):188-200.
- Patrikeev, M. 2007. Notes on the nesting of the Gray Hawk (*Buteo nitidus*) en Bentsen-Rio Grande Valley State Park, Texas. *Texas Birds Annual* 3:14-15.

- Peterson, R. T. y Chalif, E. L. 1973. A Field Guide to Mexican Birds: The Peterson Field Guide Series. Houghton Mifflin, New York.
- Radcliffe, R. W. 2018. Natural History and Ecology of the Merlin and Red-headed Falcon. En: Loft, J. Y Radcliffe, R. W. (Ed.). 2018. The complete merlin. Sheridan, WY. USA. Western sporting.
- Riesing, M. J., L. Kruckenhauser, A. Gamauf, and E. Haring. 2003. Molecular phylogeny of the genus Buteo (Aves: Accipitridae) based on mitochondrial marker sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 27:328–342.
- Robinson, B. W. 2017. Quantifying diet. En D. L. Anderson, C. J. W. McClure, y A. Franke, editors. *Applied raptor ecology: essentials from Gyrfalcon research*. The Peregrine Fund, Boise, Idaho, USA.
- Robson, D., y Barriocanal, C. (2010). Ecological conditions in wintering and passage areas as determinants of timing of spring migration in trans-Saharan migratory birds. *Journal of Animal Ecology*, 80(2), 320–331. doi:10.1111/j.1365-2656.2010.01772.x
- RStudio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Ruelas-Inzunza, E. 2000. "New" Migrants. *Amigos del Río de Rapaces* 5(1):6.
- Ruelas-Inzunza, E. 2005. Raptor and wading bird migration in Veracruz, Mexico: spatial and temporal dynamics, flight performance, and monitoring applications. Tesis de doctorado. University of Missouri - Columbia.
- Ruelas-Inzunza, E. 2010. Aves rapaces migratorias. *CONABIO. Biodiversitas*, 2:11-15.
- Ruelas-Inzunza, E., Goodrich, L. J., & Hoffman, S. W.. 2010. Cambios en las poblaciones de aves rapaces migratorias en Veracruz, México, 1995-2005. *Acta zoológica mexicana*, 26(3), 495-525.
- Ruelas-Inzunza, E., Goodrich, L. J., Hoffman, S. W., Martínez, L., Smith, J. P., Peresbarbosa, E. Rodríguez, R., Scheuermann, K. L. Mesa, S. L., Cabrera, Y., Ferriz, N., Straub, R., Peñaloza, M. M. y Barrios, J. G. 2009. Long-term conservation of migratory birds in México: The Veracruz River of Raptors Project. En T. D. Rich, C. Arizmendi, D. Demarest and C. Thompson, eds. *Tundra to tropics: Connecting birds, habitats and people*. Proceedings of the

4th International Partners in Flight Conference. Washington, DC: Partners in Flight.

- Sarasola, J. H., Grande, J. M., y Negro, J. J. 2018. Birds of prey: Biology and conservation in the XXI century. Switzerland: Springer.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación (DOF), jueves 30 de diciembre de 2010.
- Sharpe, A. E. 2014. A REEXAMINATION OF THE BIRDS IN THE CENTRAL MEXICAN CODICES. *Ancient Mesoamerica*, 25(02), 317–336. doi:10.1017/s0956536114000297
- Somveille, M. 2016. The global ecology of bird migration: Patterns and processes. *Frontiers of Biogeography*. 8 (3).
- Stromberg, J.C. 1993. Frémont Cottonwood-Goodding Willow Riparian Forests: A Review of Their Ecology, Threats, and Recovery Potential. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science*, Vol. 27, No.1, pp. 97-110.
- Treviño, Garza E. J., Cavazos, C. y Aguirre O. C. 2016. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. *Madera y Bosques*. 7. 13.
- Tryjanowski, P.; Kuźniak, S. y Sparks, T.H. 2005. What affects the magnitude of change in first arrival dates of migrant birds?. *Journal of Ornithology*: Vol. 146, pp. 200- 205
- Vázquez G., J. G. García Franco, G. Castillo, F. Escobar, A. Guillén, M. L. Martínez, K. Mehlreter, R. Novelo, E. Pineda, V. Sosa, C., Valdepino, A. Campos C., R. Landgrave, E. Montes de Oca, A. Ramírez, J. Galindo. 2015. Ecosistemas ribereños: un paisaje fragmentado. *CONABIO. Biodiversitas*, 119:7-11.
- Waller EK, Crimmins TM, Walker JJ, Posthumus EE, Weltzin JF. 2018. North American migratory bird flyway map. [Figura 1]. Recuperado de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0202495>.
- Williams, S. O. III, y D. Krueper. 2008. The changing status of the Gray Hawk in New Mexico and adjacent areas. *Western Birds* 39:202-208.
- Zalles, J. I. y K. L. Bildstein. Editores. 1995. Manual de observatorios de emigración de rapaces. Hawk Mountain Sanctuary Association, Kempton, Pennsylvania, USA.