

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
en Ecología marina**

**Variación en la abundancia y distribución de tres especies de
aves playeras (Aves: Scolopacidae) en la costa oeste de
Norteamérica, en relación con factores ambientales**

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Estefanía Isabel Muñoz Salas

Ensenada, Baja California, México
2022

Tesis defendida por
Estefanía Isabel Muñoz Salas
y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Eduardo Palacios Castro
Director de tesis

Dra. Ma. Elena Solana Arellano

Dr. Rafael Ramírez Mendoza

Dr. Romeo Saldívar Lucio



Dr. Rafael Andrés Cabral Tena
Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

Dr. Pedro Negrete Regagnon
Director de Estudios de Posgrado

Estefanía Isabel Muñoz Salas © 2022

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis.

Resumen de la tesis que presenta **Estefanía Isabel Muñoz Salas** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

Variación en la abundancia y distribución de tres especies de aves playeras (Aves: Scolopacidae) en la costa oeste de Norteamérica, en relación con factores ambientales

Resumen aprobado por:

Dr. Eduardo Palacios Castro
Director de tesis

Las poblaciones de aves playeras que se reproducen en Norteamérica han disminuido en un 37% desde 1970, sin embargo, en sus zonas de invernada no se conoce el estado poblacional actual de muchas especies y la información generada es escasa. Los Conteos Navideños de Aves (CBC) y el Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP) realizan censos sistemáticos a una escala espacial que incluye la mayor área de las zonas no reproductivas. Estos dos protocolos de monitoreo de aves a largo plazo brindan la oportunidad de detectar cambios en la distribución y abundancia de aves playeras durante el invierno. Utilizamos datos de estos protocolos para evaluar las tendencias poblacionales de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus* en su principal zona de invernada durante distintos periodos. Analizamos también la asociación de la abundancia de cada especie con la precipitación y temperatura (promedio, mínima y máxima), y los patrones de distribución y abundancia en las diferentes regiones usando Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMM). Las variables ambientales se obtuvieron por medio del CRU TS (Climatic Research Unit gridded Time Series). Encontramos que existe una tendencia negativa y significativa en la población invernante de *T. semipalmata* y *L. fedoa* en la costa oeste de Norteamérica, al igual que en California. La tendencia de esta última especie fue negativa y significativa en la península de Baja California (PBC). Encontramos que la PBC es la región más importante para estas tres especies en la costa oeste de Norteamérica, seguido de Sonora, Sinaloa y Nayarit (SSN) y California. Se encontró que los datos generados por el protocolo de monitoreo del MSP son útiles para identificar asociaciones entre la abundancia de aves playeras y variables ambientales en la costa oeste de Norteamérica. Encontramos que la abundancia de *L. fedoa* se asocia de manera negativa con la precipitación. Mientras que la abundancia de *T. semipalmata* y *N. americanus* se asocia de manera positiva y significativa con la temperatura mínima y máxima respectivamente. Nuestro estudio pone en evidencia la importancia y utilidad de los estudios de aves playeras a largo plazo en la costa oeste de Norteamérica, y la necesidad de continuar con estos.

Palabras clave: *Limosa fedoa*, *Tringa semipalmata*, *Numenius americanus*, tendencia poblacional, distribución, variables ambientales, costa Oeste de Norteamérica, California, noroeste de México

Abstract of the thesis presented by **Estefanía Isabel Muñoz Salas** as a partial requirement to obtain the Master of Science in Marine Ecology.

Variation in abundance and distribution of three shorebird species (Aves: Scolopacidae) on the west coast of North America in relation to environmental factors.

Abstract approved by:

Dr. Eduardo Palacios Castro
Thesis Director

Breeding shorebird populations in North America have declined by 37% since 1970, yet on their wintering grounds, the current population status of many species is unknown and little information is generated. The Christmas Bird Counts and the Migratory Shorebird Project conduct systematic surveys at a spatial scale that includes the greater area of the non-breeding grounds. These two long-term bird monitoring protocols provide an opportunity to detect changes in shorebird distribution and abundance during the winter. We used data from these protocols to assess the population trends of *L. fedoa*, *T. semipalmata*, and *N. americanus* on their main wintering grounds during different periods. We also analyzed the association of the abundance of each species with precipitation and temperature (average, minimum and maximum) and the distribution and abundance patterns in the different regions using Generalized Linear Mixed Models (GLMM). The environmental variables were obtained through the CRU TS (Climatic Research Unit gridded Time Series). We found a negative and significant trend in the wintering population of *T. semipalmata* and *L. fedoa* on the west coast of North America and California. The trend for the latter species was negative and significant on the Baja California peninsula (BCP). We found that PBC is the most critical region for these three species on the west coast of North America, followed by Sonora, Sinaloa, Nayarit (SSN), and California. We found that data generated by the Migratory Shorebird Project (MSP) monitoring protocol help identify associations between shorebird abundance and environmental variables on the west coast of North America. We found that *L. fedoa* abundance is negatively associated with precipitation. While the abundance of *T. semipalmata* and *N. americanus* is positively and significantly associated with minimum and maximum temperature, respectively. Our study highlights the importance and usefulness of long-term shorebird studies on the west coast of North America and the need for their continuation.

Keywords: *Limosa fedoa*, *Tringa semipalmata*, *Numenius americanus*, trend, distribution, environmental variables, west coast of North America, California, northwest Mexico

Dedicatoria

A mi familia.

Agradecimientos

Al CICESE y el Posgrado de Ecología Marina por darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría y el apoyo para concluirlos satisfactoriamente. A sus profesores, por permitirme continuar con mi formación académica. Al CONACYT por el apoyo financiero otorgado a través de la beca durante el periodo 2019-2021 para desarrollar mis estudios y concluir mi posgrado.

Al Dr. Eduardo Palacios por permitirme participar en el Proyecto de Aves Playeras Migratorias. Sin duda, participar en este proyecto me ha dado la oportunidad de aprender y desarrollarme profesionalmente. Gracias por toda la ayuda, paciencia y dedicación que me brindó durante la realización de este trabajo.

A la Dra. Elena Solana por ser parte del comité, y apoyarme siempre en la parte estadística de este trabajo con la mejor disposición. Gracias por todo el conocimiento compartido.

Al Dr. Romeo Saldívar y al Dr. Rafael Ramírez por formar parte de mi comité. Gracias por los comentarios y sugerencias que sin duda enriquecieron el presente trabajo.

Este trabajo resume el esfuerzo de un gran número de instituciones, investigadores y voluntarios que han dedicado su tiempo a los conteos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias y los Conteos Navideños de Aves. Nada de esto fuera posible sin las colaboraciones que esto implica.

A US Forest Service-International Programs a través de Copper River International Migratory Bird Initiative (CRIMBI) quien financia este proyecto.

A Point Blue quien lidera el Proyecto de Aves Playeras en el Corredor Migratorio del Pacífico, al Grupo de Aves del Noroeste (GANO) y al Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE) Unidad La Paz, así como a Terra Peninsular A. C. quienes coordinan el proyecto en México.

Al Dr. Salvador Sánchez Colón por la atención y ayuda en el proceso estadístico.

Al Dr. Richard Johnston por las pláticas y comentarios sobre la tesis.

Tabla de contenido

Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	ix
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes	2
1.2.1 Ecología de <i>Limosa fedoa</i> , <i>Tringa semipalmata</i> y <i>Numenius americanus</i>	2
1.3 Monitoreo de aves playeras a largo plazo en Norteamérica	6
1.3.1 El Proyecto de Aves Migratorias	6
1.3.2 Cuento Navideño de Aves.....	7
1.4 Justificación	7
1.5 Hipótesis.....	8
1.6 Objetivos	8
1.6.1 Objetivo general.....	8
1.6.2. Objetivos particulares	8
Capítulo 2. Metodología	9
2.1 Área de estudio	9
2.1.1 California	10
2.1.2. Península de Baja California	12
2.1.3. Sonora, Sinaloa y Nayarit.....	14
2.2 Recopilación de datos	17
2.2.1 Proyecto de Aves Playeras Migratorias	17
2.2.2 Cuento Navideño de Aves.....	18
2.2.3 Variables ambientales	18
2.3 Análisis de datos.....	19
2.3.1 Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMM).....	20
2.3.2 Tendencia de la población de <i>N. americanus</i> , <i>L. fedoa</i> y <i>T. semipalmata</i>	22

2.3.3 Selección de variables de los Modelos Lineales Generalizados Mixtos	23
2.3.4 Distribución de la población invernante de <i>N. americanus</i> , <i>L. fedoa</i> y <i>T. semipalmata</i> en la costa oeste de Norteamérica	24
2.3.5 Asociación entre la abundancia de <i>N. americanus</i> , <i>L. fedoa</i> y <i>T. semipalmata</i> y las variables ambientales en la costa oeste de Norteamérica.....	25
Capítulo 3. Resultados y discusión.....	26
3.1 Resultados	26
3.1.1 Proyecto de Aves Playeras Migratorias.....	26
3.1.2 Censo Navideño de Aves	27
3.2 Modelos Lineales Generalizados Mixtos	28
3.2.1 Tendencia de la población de <i>N. americanus</i> , <i>L. fedoa</i> y <i>T. semipalmata</i> en los principales sitios de invernada de California y el noroeste de México.....	28
3.2.2 Selección de variables de los Modelos Lineales Generalizados Mixtos	32
3.2.3 Distribución de la población invernante de <i>L. fedoa</i> , <i>T. semipalmata</i> y <i>N. americanus</i> en la costa oeste de Norteamérica	36
3.2.4 Asociación entre la abundancia de <i>N. americanus</i> , <i>L. fedoa</i> y <i>T. semipalmata</i> y las variables ambientales en la costa oeste de Norteamérica.....	38
3.3 Discusión	45
Capítulo 4. Conclusiones	54
4.1 Recomendaciones	55
Literatura citada	56
Anexos.....	65

Lista de figuras

Figura 1. Área de distribución de <i>L. fedoa</i> , <i>T. semipalmata</i> y <i>N. americanus</i> en las distintas temporadas de su ciclo anual migratorio.....	5
Figura 2. Área de estudio.	9
Figura 3. Zonas, regiones y periodos analizados para cada una de las especies con cada uno de los protocolos.....	20
Figura 4. Ubicación de los sitios del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP) considerados.	26
Figura 5. Ubicación de los círculos de conteo del Conteo Navideño de Aves (CBC) considerados.	27
Figura 6. Tendencias que resultaron negativas y significativas con los datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP) para cada una de las especies	30
Figura 7. Tendencias que resultaron significativas con los datos de conteo e índice de abundancia del Conteo Navideño de Aves (CBC) para cada una de las especies.	34
Figura 8. Coeficiente de variabilidad estimado por el GLMM final para la abundancia de <i>L. fedoa</i> respecto a los distintos predictores en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).....	39
Figura 9. Coeficiente de variabilidad estimado por el GLMM final para la abundancia de <i>T. semipalmata</i> respecto a los distintos predictores en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).....	40
Figura 10. Coeficiente de variabilidad estimado por el modelo final para la abundancia de <i>N. americanus</i> respecto a los distintos predictores en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).....	41
Figura 11. Coeficientes de variabilidad estimados por los modelos finales de los conteos y el índice de abundancia de <i>L. fedoa</i> respecto a los distintos predictores incluidos en cada modelo en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Conteo Navideño de Aves (CBC).....	42
Figura 12. Coeficiente de variabilidad estimado por el GLMM final para la abundancia de <i>T. semipalmata</i> respecto a los distintos predictores en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Conteo Navideño de Aves (CBC).....	43
Figura 13. Coeficientes de variabilidad estimados por los modelos finales de los conteos y el índice de abundancia de <i>N. americanus</i> respecto a los distintos predictores incluidos en cada modelo en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Conteo Navideño de Aves (CBC).	44

Lista de tablas

Tabla 1. Resumen de las variables fijas y aleatorias consideradas en los modelos ajustados para los datos del Cuento Navideño de Aves (CBC) y el Proyecto de Aves Playeras (MSP).	22
Tabla 2. GLMM ajustados para la evaluación de la tendencia en la abundancia de cada una de las especies en las distintas regiones y periodos para ambos esquemas de monitoreo.	23
Tabla 3. Tendencia de la población invernante de las tres especies estimada a partir de los datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP) en la costa oeste de Norteamérica durante el periodo 2011-2019.	29
Tabla 4. Tendencia de la población invernante de las tres especies estimada a partir de los conteos e índice de abundancia del Cuento Navideño de Aves (CBC) en los principales sitios de invernada en la costa oeste de Norteamérica.....	33
Tabla 5. Modelos finales para cada una de las tres especies, con los datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).....	35
Tabla 6. Modelos finales para cada una de las tres especies, con los datos del Cuento Navideño de Aves (CBC).	36
Tabla 7. Resumen de los mejores GLMM que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para <i>L. fedoa</i> . Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).	65
Tabla 8. Resumen de los mejores GLMM que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para <i>T. semipalmata</i> . Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).	66
Tabla 9. Resumen de los mejores modelos que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para <i>N. americanus</i> . Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).	67
Tabla 10. Resumen de los mejores GLMM que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para <i>L. fedoa</i> . Datos del Cuento Navideño de Aves (CBC).	68
Tabla 11. Resumen de los mejores GLMM que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para <i>T. semipalmata</i> . Datos de Cuento Navideño de Aves (CBC).	69
Tabla 12. Resumen de los mejores GLMM que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para <i>N. americanus</i> . Datos del Cuento Navideño de Aves (CBC).	70

Capítulo 1. Introducción

1.1 Introducción

Las aves playeras son un grupo taxonómico ampliamente distribuido y ecológicamente diversificado, que enfrenta rápidos cambios poblacionales causados por el cambio climático y diversas actividades humanas (Koleček et al., 2021). Desde 1970, el 68 % de las especies de aves playeras que se reproducen en Norteamérica han experimentado una disminución neta de 17 millones de individuos, lo que representa un cambio del 37 % en su abundancia (Rosenberg et al., 2019).

El conocer las tendencias poblacionales de las especies es una de las principales herramientas de conservación (Butcher et al., 2005), ya que permite dilucidar si existen o no cambios en su abundancia a través del tiempo. La naturaleza migratoria de las aves playeras, representa uno de los principales problemas para su estudio y conservación, al ser necesario contar con datos de abundancia estandarizados a largo plazo en múltiples sitios de sus zonas de reproducción, migración e invernada, lo que requiere la colaboración de varios países (Warnock et al., 2021). Para la mayoría de las especies de aves playeras en Norteamérica, la información generada a largo plazo es escasa y no se conocen sus tendencias poblacionales durante el invierno.

Existen dos protocolos de monitoreo a largo plazo que realizan conteos de aves playeras en Norteamérica, y que brindan la oportunidad de detectar cambios en la distribución y abundancia de aves playeras durante el invierno. Estos protocolos se han llevado a cabo de manera sistemática desde hace algunas décadas. Uno de ellos es el Conteo Navideño de Aves (CBC por sus siglas en inglés) que se basa en proyectos de ciencia ciudadana, es decir, que es realizado voluntariamente por miembros del público en general. Los conteos del CBC se realizan desde hace más de cien años a una escala espacial que incluye la mayor parte de las zonas de invernada de la mayoría de las especies de aves playeras. El otro es el Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP por sus siglas en inglés), que desde hace una década realiza conteos desde Alaska hasta Chile, y es dirigido por Point Blue Conservation Science, una organización de investigación y conservación con sede en California. Estos conteos son los censos más grandes de aves playeras en toda la ruta migratoria del Pacífico.

Recientemente se analizó la tendencia poblacional de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus* en la península de Baja California con datos generados a partir del MSP. Se determinó que para las tres especies

existía una disminución de individuos invernantes en esta región, y se encontró que la temperatura es un factor que se asocia con la densidad de aves durante el periodo 2012-2018 (Muñoz-Salas, 2019).

En este sentido, falta esclarecer si dichas disminuciones se deben a una disminución en todo su intervalo de invernada en Norteamérica o si están asociadas a cambios en su distribución. También, si la asociación entre la temperatura y abundancia de aves se presenta en otras regiones, y qué otras variables ambientales podrían estar asociadas y cuáles son los mecanismos relacionados con estas asociaciones. Esto puede ser analizado a escalas de tiempo y espacio más amplias, utilizando la información generada por los conteos del MSP, y del CBC.

Dado lo anterior, en este estudio se analiza la tendencia de la población invernante de tres especies de aves playeras en los principales sitios de invernada en la costa oeste de Norteamérica y la influencia de la fluctuación ambiental en sus patrones de distribución por medio de Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMM). Para ello se obtuvieron datos de abundancia de cada una de las especies a partir de los dos protocolos de monitoreo de aves antes mencionados. Los análisis se dividen en períodos a largo plazo (2001-2019) y a corto plazo (2011-2019; 2009-2019). Además, se determina la existencia de tendencias en las variables ambientales (precipitación, temperatura media, máxima y mínima) en cada periodo.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Ecología de *Limosa fedoa*, *Tringa semipalmata* y *Numenius americanus*

Limosa fedoa

El picopando canelo es un ave playera migratoria de tamaño grande (42-48 cm; 285-454 g), que presenta un culmen ligeramente recurvado y rosado en la base y negro en la punta, tarsos oscuros y una coloración canela en la mayor parte de su plumaje (Ayala-Pérez, 2010; figura 1).

Esta especie se reproduce en el norte de las Grandes Llanuras, en el interior del noroeste de EE. UU. y Canadá. Desde el centro de Montana, el centro de Dakota del Norte, hacia el noreste de Dakota del Sur y el noroeste de Minnesota. Cuando abandona sus sitios de reproducción se dirige a zonas costeras en el centro de California EE. UU. y en el Golfo de México desde Carolina del Sur por la costa de México, hasta centro América (AVIBASE, 2021; figura 1). Durante el invierno se vuelve bastante gregario, formando

grandes bandadas que descansan juntas en humedales durante la marea alta o se paran juntas en las aguas poco profundas sobre planicies para explorar el fondo lodoso en busca de moluscos, gusanos marinos, crustáceos y otros invertebrados (Udvardy y Farrand, 1994).

Existen tres poblaciones reproductoras de *Limosa fedoa*. La población de aves que se reproducen en las praderas del centro del continente norteamericano, y ampliamente separadas, existen dos poblaciones que se reproducen en la tundra. Una de estas poblaciones se reproduce en la Bahía de James, Canadá y la otra en los alrededores de la Bahía de Ugashik en la costa norte de la península de Alaska. La población de Alaska pasa el invierno en la costa del Pacífico desde Washington hasta el norte de California, y presentan diferencias con la población del centro del continente. Se cree que han persistido cerca de la bahía de Ugashik desde que esa zona formaba parte de la Beringia del Pleistoceno, mientras que las aves de Alaska se describen como una nueva subespecie, *L. f. beringiae* (Gibson y Kessel, 1989; figura 1).

Los números poblacionales de *L. fedoa* se redujeron por la caza durante el siglo XIX, y sus poblaciones se mantuvieron estables entre 1966 y 2015 (Gratto-Trevor, 2020). Según la asociación *Partners in Flight*, la población reproductora mundial estimada es de 170.000. Actualmente el Conteo de Aves en Reproducción de Norteamérica, les otorga una puntuación de preocupación continental, lo que los coloca en la lista amarilla de vigilancia para especies con un intervalo restringido (Sauer et al., 2020). La caza y la pérdida de hábitat como resultado de la conversión de praderas en campos agrícolas contribuyó a la extirpación de la población reproductora en estas áreas. Los sitios costeros de invernada también se han perdido o degradado (Udvardy y Farrand, 1994). En San Francisco, California por ejemplo, las marismas de marea se han reducido de 81 km² a alrededor de 48 km², del año 1800 al año 2000 (Cornell Lab of Ornithology, 2019). Es considerada como una especie de preocupación menor según la Lista Roja con una tendencia poblacional en decremento (IUCN, 2021) y en 2019 fue incluida en La Norma Oficial Mexicana 059 como especie amenazada por la pérdida, contaminación y perturbación de su principal hábitat durante el invierno en México (SEMARNAT, 2010).

Tringa semipalmata

El playero aliblanco es un ave playera grande y robusta (33-41 cm; 200-330 g) con patas largas, pico recto y grueso, con alas más anchas, cola corta y cuadrada; son aves grises o marrones que al volar muestran una llamativa franja blanca y negra a lo largo de cada ala (Cornell Lab of Ornithology, 2019; figura 1).

Se reproduce en Canadá al suroeste de Manitoba, el centro de Alberta y sur de Saskatchewan, en el este de Oregón, sur de Idaho, el noreste de California, el oeste de Nevada, centro de Utah, norte de Colorado, el oeste y norte de Nebraska y el este de Dakota del Sur en EE. UU. En el este, desde el sur de Nueva Brunswick, la Isla del Príncipe Eduardo y Nueva Escocia en Canadá hacia el sur hasta el norte de Delaware en EE. UU. Inverna en las costas de California y Virginia, hacia el sur, a lo largo de ambas costas de México hasta centro América (AVIBASE, 2021; figura 1).

Usualmente se alimenta a lo largo de playas, marismas y costas rocosas, sondeando con su pico en el lodo o el agua recogiendo su alimento, que varía según la ubicación. Se ha documentado que *T. semipalmata* es una especie oportunista en la obtención de su alimento, ya que se alimenta de presas que habitan una gran variedad de microhábitats, como pequeños organismos de las marismas, que encuentran entre las algas, así como también insectos como coleópteros o dípteros e incluso peces y semillas (Stenzel et al., 1976; Udvardy y Farrand, 1994).

En América del Norte se encuentran dos subespecies distintas: una que se reproduce en el este y otra que se reproduce en el oeste, al norte de las Grandes Llanuras en pastizales y praderas cerca del agua dulce, desde donde realizan migraciones a regiones costeras para pasar el invierno. Algunas de las poblaciones occidentales migran hacia el este, apareciendo a lo largo de la costa atlántica en otoño e invierno (Udvardy y Farrand, 1994). Las dos subespecies son genética, morfológica, ecológica y vocalmente distintas con distribuciones de reproducción muy distintas en Norteamérica. *T. semipalmata semipalmata* se reproduce en marismas costeras salobres y salinas a lo largo de las costas del Atlántico y del Golfo de México hacia su parte oriental, así como en las Indias Occidentales; *T. semipalmata inornata* se reproduce en praderas y pastizales húmedos del interior noroeste de Norteamérica, se reconoce que las poblaciones de esta subespecie muestran fidelidad tanto a las zonas de reproducción como de invernada (Oswald et al., 2016).

En el siglo XIX eran muy cazadas y hubo que esperar a la aprobación de la Ley del Tratado de Aves Migratorias en 1918 para que sus poblaciones se recuperaran, y aunque el playero aliblanco es común en algunas zonas, parece que ha disminuido entre 1966 y 2014, según el Conteo de Aves Reproductoras de Norteamérica (Sauer et al., 2020). *Partners in Flight* calculan que la población reproductora mundial es de 160.000 individuos. Esta especie está en la lista de vigilancia del estado de las aves de 2014, que enumera las especies de aves que corren el riesgo de estar amenazadas o en peligro de extinción si no se toman medidas de conservación (NABCI, 2016). La conversión de los pastizales y humedales nativos para uso agrícola ha disminuido la cantidad de territorio de reproducción adecuado para la subespecie occidental. El desarrollo costero en California también ha degradado los posibles lugares de invernada de esta

población (Udvardy y Farrand, 1994; Cornell Lab of Ornithology, 2019). En la lista roja está considerada como una especie de preocupación menor con una tendencia poblacional estable (IUCN, 2021).

Numenius americanus

El zarapito pico largo es el ave playera más grande de América del Norte (50-65 cm, 490-950 g), se caracteriza por poseer un pico increíblemente largo, delgado y curvo que le da su nombre; es un ave moteada color canela que sumerge profundamente su pico en el lodo y la arena en busca de alimento (Cornell Lab of Ornithology, 2019; figura 1).

Se reproduce en pastizales de las Grandes Llanuras y la Gran Cuenca en el sur de Canadá desde la Columbia Británica hasta Manitoba, prácticamente en todos los estados del centro y oeste de EE. UU. Es un migrante de corta distancia, que pasa el invierno en California, Texas, Florida y Luisiana en EE. UU. (Olalla Kerstupp, 2014). En México es transeúnte común y visitante invernal en Baja California y la vertiente del Pacífico desde Sonora hasta Colima, se le encuentra también en la costa del Atlántico, desde Tamaulipas hasta la península de Yucatán (Olalla Kerstupp, 2014; figura 1).

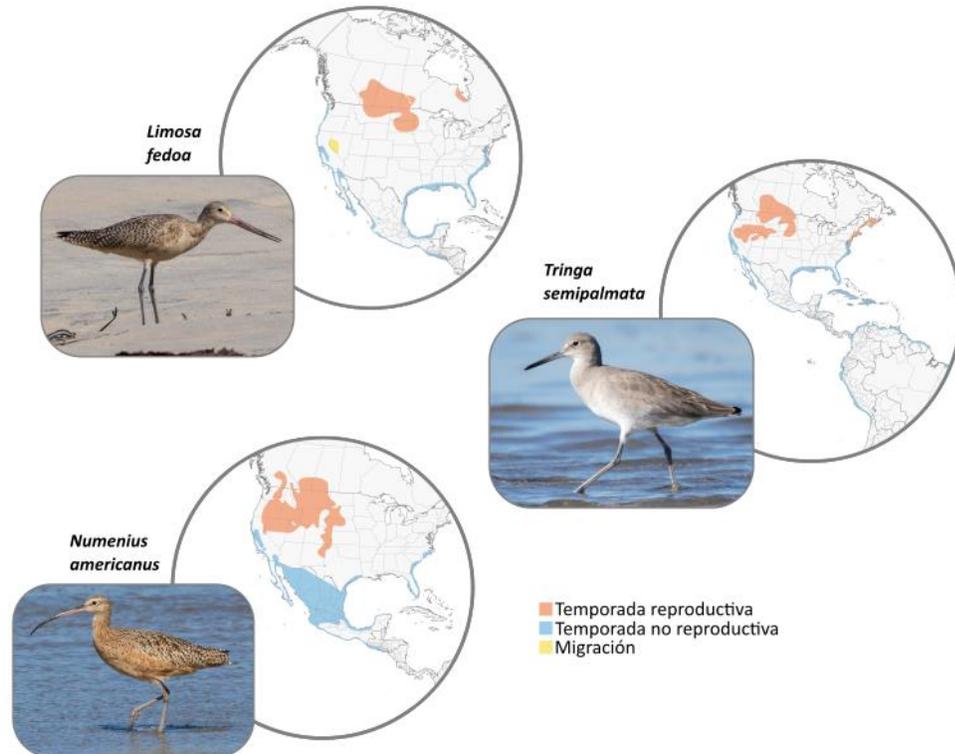


Figura 1. Área de distribución de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus* en las distintas temporadas de su ciclo anual migratorio.

Durante el invierno habita humedales, estuarios, marismas, campos agrícolas inundados, pastizales y playas, donde se alimenta de presas que viven en diferentes hábitats, pero que se caracterizan por tener madrigueras curvas como lo son cangrejos (Stenzel et al., 1976). Existe cierta variación geográfica entre las poblaciones reproductoras de *N. americanus* en Canadá y Estados Unidos y existen dos posturas con relación a esto. Por un lado se cree que la especie es monotípica y por otro lado se sostiene que existen dos subespecies que hasta 1919 se creían eran *N. a. americanus* (Bechstein, 1812) y *N. a. parvus* (Bishop, 1910). Aunque es necesario realizar más estudios sobre el estado taxonómico de esta especie, sigue siendo incierto si las diferencias de tamaño son el resultado del cambio gradual de rasgos fenotípicos por alguna influencia externa o condiciones medioambientales; o debido a la amplitud de su área de distribución o si muestran una ruptura geográfica distintiva (Dark-Smiley y Keinath, 2004).

Las poblaciones de *N. americanus* han disminuido significativamente durante los últimos 150 años, particularmente en la costa este, donde la especie alguna vez fue común, pero ahora es rara (Dugger y Dugger, 2020). En décadas más recientes, ha disminuido en muchas partes de su área de anidación a medida que los pastizales se han convertido en cultivos agrícolas. *Partners in Flight* calculan que la población reproductora mundial es de 140.000 individuos. Los zarapitos de pico largo fueron mucho más numerosos, pero las poblaciones ha sido extirpadas en algunas regiones debido a la caza y la conversión de su hábitat de cría de pastizales a la agricultura antes de 1900 (Dugger y Dugger, 2020). La principal amenaza para el zarapito pico largo es la pérdida de hábitat, debido tanto al desarrollo como a los efectos proyectados del cambio climático, especialmente en sus zonas de reproducción (Udvardy y Farrand, 1994; Cornell Lab of Ornithology, 2019). Es considerada como una especie de preocupación menor de acuerdo con la lista roja con una tendencia poblacional decreciente (IUCN, 2021).

1.3 Monitoreo de aves playeras a largo plazo en Norteamérica

1.3.1 El Proyecto de Aves Migratorias

Ante la necesidad de datos estandarizados sobre la abundancia de aves playeras en múltiples sitios, y con el fin de estudiar, conservar y gestionar eficazmente las poblaciones de aves playeras, surgió el Proyecto de Aves Playeras Migratorias. Actualmente se lleva a cabo en 13 países a lo largo de la costa del Pacífico de América. Este programa de monitoreo es coordinado por Point Blue Conservation Science y realiza censos una vez al año en 84 sitios no reproductivos (~1400 unidades de muestreo) entre el 15 de noviembre y el 15 de febrero, cuando las aves migratorias se encuentran relativamente “residentes”. La

meta es caracterizar la variación espacial y temporal de la abundancia de las aves playeras, y comprender qué factores influyen más en sus poblaciones a lo largo de la ruta migratoria (Reiter et al., 2020).

El Proyecto de Aves Playeras Migratorias proporciona una base de datos que es esencial para aumentar el conocimiento de los factores que afectan a las aves playeras en toda la costa del Pacífico en América, y poder así, identificar cuáles y dónde las acciones de conservación podrían tener el mayor impacto (Reiter et al., 2020). Los datos de estos monitoreos brindan la oportunidad de detectar cambios en la distribución y abundancia de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus*, ya que los conteos se han llevado a cabo de manera sistemática, e incluyen los principales sitios de invernada de estas tres especies de aves playeras.

1.3.2 Conteo Navideño de Aves

El Conteo Navideño de Aves de la Sociedad de Audubon es el mayor y más antiguo censo de aves del continente americano. Cada año desde 1900, a principios de invierno, miles de observadores contabilizan durante un día el mayor número de aves dentro de un círculo de 24 km de diámetro (Bock y Root, 1981). Aunque, cubre principalmente los Estados Unidos y Canadá, la metodología del CBC se ha aplicado en todo el mundo y permite a muchos observadores de aves contribuir a una actividad de conservación, ya que es uno de los censos de aves más extensos y amplios geográficamente (Dunn et al., 2005; Link et al., 2006).

Los estudios sobre aves playeras a largo plazo en México no cuentan con más de dos décadas de realizarse, por lo que, los conteos del CBC son útiles, ya que brindan información sobre el estado de las poblaciones de aves playeras invernantes en el país. La sociedad de Audubon ha creado una herramienta en la que se puede explorar las tendencias de la población durante las últimas décadas, pero no está disponible para México (Meehan et al., 2018).

1.4 Justificación

Para comprender de manera integral el estado en el que se encuentran las poblaciones de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus* durante el invierno, es necesario conocer sus tendencias. Como todas las especies migratorias, estas tres especies dependen simultáneamente, de hábitats apropiados, tanto en sus sitios de reproducción como en las áreas no reproductivas. Estas últimas son tan cruciales, que su desaparición puede acarrear colapsos poblacionales, debido a que las especies se concentran en

extensiones pequeñas en comparación con su distribución espacial durante la época reproductiva (Palacios et al., 1991). Dada la disminución en la población invernante de estas tres especies en la península de Baja California, falta esclarecer si estas disminuciones son por cambios en la distribución poblacional en los sitios o si se trata de una disminución poblacional real en todo el intervalo de invernada. En este trabajo se analizarán ambas hipótesis para las últimas décadas, indagando si existen variaciones espacio-temporales en su principal zona de invernada y su relación con variables ambientales. Con la información generada se espera identificar sitios y hábitats prioritarios para estas especies, y con ello contribuir en las decisiones de conservación.

1.5 Hipótesis

Las tendencias poblacionales de las tres especies están estables en su principal zona de invernada en la costa oeste de Norteamérica y sus fluctuaciones están asociadas a factores ambientales como la temperatura y la precipitación.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Evaluar las tendencias poblacionales de las tres especies en su principal zona de invernada en Norteamérica y la influencia de variables ambientales en sus patrones de distribución y abundancia con datos obtenidos de dos protocolos de monitoreo de aves playeras a largo plazo en la costa oeste de Norteamérica.

1.6.2. Objetivos particulares

1.-Determinar la tendencia poblacional de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus* en su principal zona de invernada en la costa oeste de Norteamérica.

2.-Analizar la abundancia de las tres especies en la temporada de invierno en California y el noroeste de México.

2.-Examinar la influencia de variables ambientales (precipitación, temperatura promedio, mínima y máxima) en la abundancia de las tres especies durante la temporada de invierno.

Capítulo 2. Metodología

2.1 Área de estudio

La región de estudio conforma la principal zona de invernada de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus* se encuentra en la región Neártica y comprende las áreas templado-frías de América del Norte (Morrone, 2001; Olson et al., 2001). Los monitoreos de aves en el presente estudio se realizaron en los principales humedales de la costa oeste de Norteamérica, desde la Bahía de Tomales ($38^{\circ}08'55''\text{N}$ $122^{\circ}53'52''\text{O}$), hasta la Reserva Nacional de Investigación Estuarina del Río Tijuana ($32^{\circ}33'20''\text{N}$ $117^{\circ}07'23''\text{O}$) en California EE. UU.; y desde el Estero de Punta Banda ($31^{\circ}43'08''\text{N}$ $116^{\circ}38'57''\text{O}$) hasta Bahía Magdalena ($25^{\circ}24'47.16''\text{N}$ $112^{\circ}4'50.14''\text{O}$) en la costa oeste de la península de Baja California, incluyendo la Bahía de La Paz ($24^{\circ}7'4.17''\text{N}$ $110^{\circ}22'33.23''\text{O}$) en la costa este; así como a lo largo de la costa del macizo continental del noroeste de México, desde el Delta del Río Colorado ($31^{\circ}40'23.07''\text{N}$ $114^{\circ}13'28.07''\text{O}$) en Sonora, hasta la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales ($22^{\circ}13'41.79''\text{N}$ $105^{\circ}28'33.74''\text{O}$) en Nayarit (figura 2).

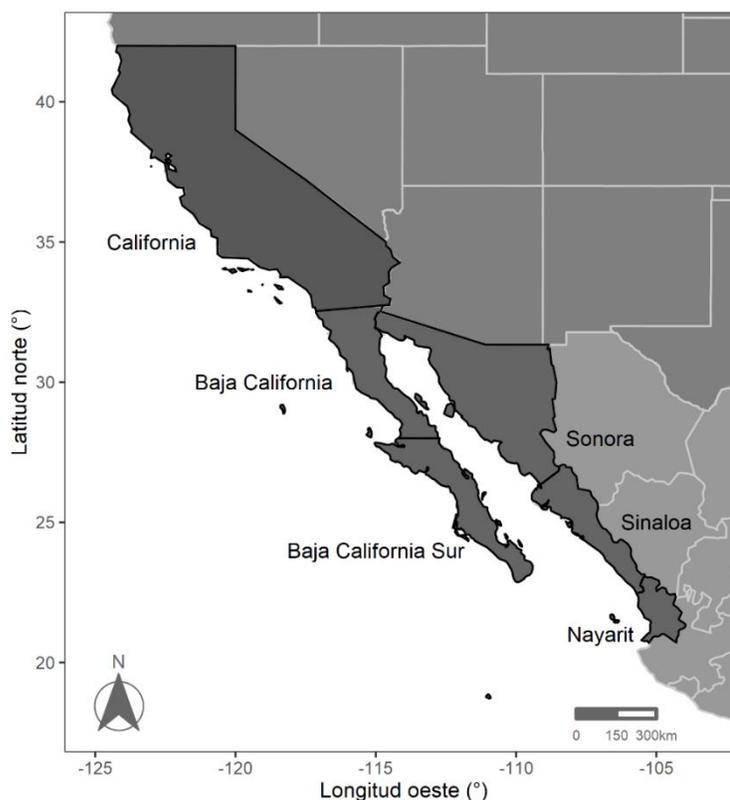


Figura 2. Área de estudio.

2.1.1 California

La costa de California pertenece a la región Mediterránea de América del Norte, que abarca desde el gran Valle Central y las cordilleras de la costa central de California, hasta la parte norte de la península de Baja California, en México; se limita por el Océano Pacífico, las montañas de la Sierra Nevada y el desierto de Mojave (Fenn et al., 1997). Presenta un clima que se caracteriza por veranos calientes y secos, y por inviernos templados con precipitaciones asociadas a tormentas frontales de invierno provenientes del océano Pacífico, que en promedio registran una precipitación anual de 200 a 1,000 mm, según la elevación y latitud, y cae por lo general de noviembre a abril; la temperatura promedio anual oscila entre los 14 °C y los 18 °C aproximadamente (CCA, 1997). En la costa de California concurren tres principales ecorregiones (Wiken et al., 2011; Griffith et al., 2016):

(1) Cordillera Costera

Esta región abarca las montañas costeras del oeste de Washington, oeste de Oregón y el noroeste de California, prevalecen los climas marinos de la costa occidental y de tipo mediterráneo, con veranos cálidos y relativamente secos e inviernos húmedos; la temperatura anual oscila entre los 7 °C y los 14 °C, y la precipitación entre 1000 y más de 5000 mm. Hay una alta densidad de arroyos perennes, lagos costeros, bahías y estuarios; el terreno se compone principalmente de montañas de pendientes moderadas a pronunciadas, algunas colinas y montañas bajas, con cabos costeros, terrazas marinas, dunas de arena y playas. Dentro de las actividades humanas que se realizan en la región se incluyen la silvicultura, productos forestales, turismo, pesca y caza.

(2) Bosques de encino, chaparral y matorral costeros californianos

Esta ecorregión ocupa el centro-sur de California y el noroeste de Baja California, así como las islas del Canal, Isla de Cedros y la Isla Guadalupe. Presenta un clima mediterráneo de veranos secos y calurosos e inviernos no tan extremos; la temperatura media anual oscila entre los 14 °C y los 18 °C aproximadamente y la precipitación entre 200 mm y más de 1400 mm; las nieblas costeras proporcionan humedad en la estación seca. La vegetación se compone principalmente de chaparral y bosques de robles, con la presencia de pastizales y pino en elevaciones más altas. El caudal de los arroyos de esta región es mayoritariamente efímero e intermitente, con arroyos perennes; en general la región carece de lagos, pero existe la presencia de estanques y embalses. La zona costera se compone de rocas sedimentarias, con sedimentos más gruesos cerca de las laderas coluviales. En la región hay zonas urbanas, suburbanas e

industriales, y los usos del suelo y las actividades humanas dominantes son el ocio, el turismo, la agricultura y el pastoreo.

(3) Valle Central de California

La zona costera de esta región denominada Bahía de Suisun, presenta un delta donde confluyen los ríos de Sacramento, San Joaquín, Cosumnes, Mokelumne y Calaveras y donde la vegetación nativa históricamente consistía en plantas acuáticas como tules, juncos y hierba salada, pero que, en la actualidad ha sido sustituida por distintos cultivos agrícolas.

Dado lo anterior, en California se encuentran los humedales más extensos y diversos de todos los estados de la costa oeste de EE. UU., a excepción de Alaska, con un total de 110 humedales principales, que van desde estuarios y marismas generalmente no desarrollados, que bordean las desembocaduras de ríos inundados por mareas en el norte, hasta lagunas salinas, ensenadas y marismas altamente urbanizadas en el sur; algunos de los humedales más grandes se encuentran en la región central de California (California Coastal Commission, 2012), y hacia el sur se pueden encontrar corredores ribereños a lo largo de arroyos y ríos, que se han desarrollado gracias a procesos fluviales y palustres, como en el condado de San Diego, o aquellos que aparecen en las proximidades de estuarios y humedales marinos donde un río llega a la costa, como en la desembocadura del río Santa Ynez (Ferren et al., 1996).

Las costas de California limitan con uno de los sistemas oceánicos más productivos del mundo, la corriente de California, que se origina gracias a tormentas provenientes del Pacífico Norte, acercándose desde el noroeste, lo que resulta en una corriente litoral o deriva litoral, que transporta nutrientes y arena a lo largo de la costa (Griggs et al., 2005; Xiu et al., 2018).

En las costas de California se han designado cinco sitios RAMSAR, y se han incluido cuatro sitios dentro de la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (RHRAP), dos de ellos designados como Sitio de Importancia Regional y el resto como Sitio de Importancia Hemisférica, como la Bahía de San Francisco (WHSRN, 2021). La región costera de California cuenta también, con tres sitios considerados como Áreas Importantes para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad (BirdLife International, 2021), y existen 17 sitios a lo largo de la costa, que han sido designados como Áreas Costeras Protegidas, de acuerdo con la Base de datos Mundial sobre Áreas Protegidas (UNEP-WCMC, 2020).

2.1.2. Península de Baja California

La mayor parte de la península de Baja California pertenece a una de las subdivisiones del Desierto Sonorense, que a su vez pertenece a la región de Desiertos de América del Norte, que se extiende de la parte oriental de la Columbia Británica hasta Baja California y la parte norte-centro de México. Se diferencia de las regiones forestales montañosas adyacentes por su aridez, vegetación única de arbustos y cactus, carencia de árboles y, generalmente, relieves y elevaciones bajas (CCA, 1997); Bradley y Colodner, 2020). De acuerdo con González-Abraham y colaboradores (2010) y Wiken y colaboradores (2011), la península de Baja California pertenece a tres grandes ecorregiones:

(1) Ecorregión Mediterránea o Provincia Florística de California

Esta subregión constituye una de las dos regiones no desérticas de la península de Baja California, situada en el noroeste peninsular y contiene el extremo sur de la Región Mediterránea, tiene dos periodos confiables de precipitación, invierno y primavera. Dentro de esta región se pueden definir varias ecorregiones basadas principalmente en la latitud, precipitación e influencia marítima, que en la costa se compone de matorral costero que sigue la costa Pacífica desde la frontera internacional hasta San Vicente, y hasta una elevación de 400-600 m. El paisaje se caracteriza por acantilados marinos, terrazas fluviales y costeras, y dunas costeras arenosas, donde la precipitación anual promedio es de 250-380 mm. El matorral costero rosetófilo, es otro paisaje característico de la franja costera de esta región, que va desde San Vicente hasta las proximidades de Punta Carlos, formando una larga área transicional entre los ecosistemas mediterráneos y los estrictamente desérticos; se presenta en las terrazas aluviales y dunas costeras donde la precipitación anual promedio es de 100-250 mm, con un significativo aporte de humedad de la niebla costera.

(2) Desértica o del Desierto Sonorense

Los desiertos de Baja California se extienden a lo largo de la península formando una extensa transición entre los ecosistemas templados de tipo mediterráneo en el noroeste y el extremo sur de la península de carácter tropical. Esta región presenta precipitaciones escasas e irregulares, con variables e impredecibles proporciones de lluvia en invierno y verano. La vegetación se caracteriza por una elevada cobertura arbórea, que es definida por el grado de afectación de las lluvias frontales de invierno del norte y los ciclones tropicales en el sur; con una precipitación media anual que oscila entre 100 a 200 mm, y una temperatura media anual de 18 °C en la costa. La vegetación que predomina es xerófila de tipo desértico,

y a lo largo del Mar de Cortés y del Océano Pacífico hay muchas bahías, tanto superficiales como profundas, así como lagunas, cabos y canales, predominando las lagunas de agua salada. Las condiciones tienden a la alta evaporación en estas zonas costeras, por lo que se pueden encontrar salinas.

(3) Tropical o Región del Cabo

En el extremo sur, la península cruza por el Trópico de Cáncer, y es de carácter tropical seca, con precipitaciones derivadas en su mayoría de tormentas ciclónicas tropicales que alcanzan la región a finales de verano y otoño, con una precipitación promedio anual que fluctúa entre 173 y 682 mm y una temperatura anual entre 14 °C y 23 °C. Los climas varían según la altitud, desde muy seco y cálido en las zonas costeras, hasta seco y cálido en las laderas orientales de la sierra, además de climas secos y semicálidos que cubren la zona desde el este de La Paz hasta Cabo San Lucas y alrededor de los sistemas montañosos y solo existe la presencia de arroyos intermitentes en la costa.

La costa oeste de la península de Baja California está compuesta de costas rocosas, arenosas y bocanas. Al igual que en California, se encuentra bajo la influencia de la circulación oceánica del Pacífico y, con ello, a la persistente corriente fría de California. La constante exposición de oleaje oceánico y las corrientes de deriva en zonas con una batimetría somera, generan patrones de oleaje locales que transportan sedimentos y resultan en la presencia de barras o islas de barrera, siendo más notables en la parte sur (Ortiz Pérez et al., 2006).

En la costa este de la península de Baja California, y la parte baja del Golfo de California, se presenta una configuración irregular con entrantes y salientes que forman pequeñas bahías o ensenadas, con la presencia de acantilados de diversos tamaños entre los cuales se disponen abanicos provenientes de corrientes temporales de agua y lluvias, lo que provoca que, en esta región se alternen paisajes costeros de tipo rocoso y arenoso (Ortiz Pérez et al., 2006).

En la costa oeste de la península de Baja California se encuentran los sistemas de humedales de mayor importancia para las aves playeras: el Estero de Punta Banda, la Bahía de San Quintín y los estanques salinos de la Laguna Figueroa, las lagunas Ojo de Liebre y Guerrero Negro a mitad de la península, el complejo de humedales de Laguna San Ignacio y el complejo de humedales de Bahía Magdalena (Page et al., 1997). Aunque en la costa este, la Bahía de la Paz, también ha sido reconocida por su importancia para las aves playeras (Massey y Palacios, 1994; Carmona, 1995; Carmona et al., 2003; Brabata-Domínguez, 2011).

Dada la importancia de estos humedales, en la península de Baja California, se han designado diez sitios RAMSAR (Ramsar, 2021) y se han incluido siete sitios dentro de RHRAP de los cuales seis son considerados como Sitios de Importancia Regional y uno como Sitio de Importancia Hemisférica, siendo este el Complejo Lagunar Ojo de Liebre-Guerrero Negro (WHSRN, 2021). Dentro de las designaciones nacionales, se han incluido diez sitios como Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en esta región (Arizmendi y Márquez-Valdemar, 2000).

2.1.3. Sonora, Sinaloa y Nayarit

La zona costera de la parte continental del noroeste de México, es decir, en los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit, convergen 3 regiones ecológicas, la región de Desiertos de América del Norte que comprende Sonora, desde el Alto Golfo de California y la parte noroeste de Sinaloa; la región de Selvas Cálido-Secas en la parte central de Sinaloa y la región de Selvas Cálido-Húmedas en las costas del sur de Sinaloa y Nayarit (CCA, 1997). La zona costera de esta región pertenece a cuatro ecorregiones (Wiken et al., 2011):

(1) Desierto Sonorense

Esta región incluye el sureste de California, el suroeste de Arizona, el noreste de Baja California, el noroeste de Sonora así como el extremo norte de Sinaloa, con un clima desértico subtropical seco, marcado por veranos muy calurosos e inviernos suaves, con una temperatura media anual que oscila entre los 19 °C y los 25 °C aproximadamente; la precipitación media anual es de 206 mm, y oscila entre 75 y 560 mm, las zonas más secas presentan una media anual de 100 mm y las precipitaciones de invierno disminuyen de oeste a este, mientras que las de verano lo hacen de este a oeste y las tasas de evaporación son bastante elevadas en toda la zona. La vegetación se compone de matorral, cactus y zonas sin vegetación visible; en el centro de la subregión las comunidades se vinculan a un clima subtropical, mientras que en la parte sur son más tropicales, con mayor influencia de bosques espinosos caducifolios. Los arroyos son en su mayoría efímeros e intermitentes, con pocos recursos hídricos superficiales, siendo el río Colorado el río más importante en el norte, mientras que la parte sur está regada por los ríos Yaqui, Mayo y Fuerte, con algunos manantiales y unos cuantos embalses. Dado lo anterior el uso de los recursos hídricos es intenso en esta región. Esta ecorregión se caracteriza por la presencia de cordilleras de bloques de falla, montañas bajas dispersas, abanicos y valles aluviales, y en la zona costera son comunes los depósitos de cantos rodados,

playas y depósitos eólicos. En cuanto a las actividades humanas que se realizan en la región destacan la pesca costera y de altura.

(2) Planicie costera sinaloense con selva baja espinosa y humedales

Esta región se caracteriza por sistemas de relieve de llanuras y colinas, con una condición climática seca, con bajas precipitaciones, altas temperaturas y un alto grado de evaporación y en la zona del litoral existen humedales con vegetación de tipo manglar que consisten en comunidades de plantas relativamente bajas, pero con apariencia arbórea, que son ecológica y económicamente importantes, ya que proporcionan un entorno especial para la flora y fauna, y en términos de acuicultura, sirven como estanques naturales para el desarrollo y la explotación de especies marinas como el camarón. Esta subregión se compone de un terreno básicamente llano con elevaciones bajas, con suelos que se caracterizan por su profundidad y productividad.

(3) Lomeríos y cañones de Sinaloa y Sonora con matorral xerófilo y selva baja caducifolia.

La mayor parte de esta subregión se localiza en la Sierra Madre Occidental, aunque también se asocia a la planicie de Sonora, a la planicie costera del Pacífico y a la Faja Neovolcánica Transversal. El clima predominante es subhúmedo y cálido con lluvias en verano, seguido de climas secos y semisecos; los climas de la región están influenciados orográficamente por la Sierra Madre Occidental, por lo que existen zonas con mucha humedad, así como zonas secas y semisecas, dependiendo de la posición y distancia del océano. La vegetación más abundante es el bosque tropical caducifolio. Esta región incluye la parte norte de la región hidrológica del sur de Sonora y parte de las cuencas altas formadas por los afluentes de los ríos Sonora, Yaqui y Mayo. En la parte central de la subregión, la región de Sinaloa incluye los ríos Fuerte, Sinaloa, Mocorito, Culiacán, San Lorenzo, Piaxtla, Elota y Quelite. En la parte sur, las regiones de Presidio y San Pedro incluyen los afluentes de los ríos Presidio, Acajoneta y Baluarte. El sistema Lerma-Santiago incluye los ríos Huaynamota, Santiago-Aguamilpa, Santiago-Guadalajara y Juchipila. Todos estos ríos y afluentes son muy importantes económicamente porque proveen de agua a numerosas zonas agrícolas. Las sierras y los cerros cubren casi el 70% del territorio de la subregión, aunque también hay bajadas, cañones, llanuras y mesetas. El 15% del territorio se dedica a la producción agrícola, y la pesca es también una actividad fundamental.

(4) Planicie costera de Nayarit y Sinaloa con selva baja espinosa.

Esta subregión se encuentra dentro de la región fisiográfica de la Planicie Costera del Pacífico, que forma parte de las llanuras costeras de Nayarit y Sinaloa, presenta un clima cálido con un nivel intermedio de precipitación, y debido a las condiciones climáticas y de suelo, algunas zonas permanecen inundadas todo el año. Presenta una vegetación dominante que se beneficia de la humedad permanente y estacional, que en zonas inundadas incluye mangles, que son importantes ecológica y económicamente debido a las actividades acuícolas; el bosque tropical bajo espinoso es otro tipo de vegetación importante. Al ser una zona muy llana y sujeta a inundaciones, y con un clima cálido, son comunes las lagunas costeras y las lagunas costeras de agua salada. Es una región con terrenos muy planos, con zonas sujetas a inundaciones periódicas y con suelos con diferentes niveles de salinidad.

Las costas de la región del Alto Golfo comprenden la desembocadura del río Colorado y consisten en playas bajas arenosas (72% del frente costero), se extienden entre amplias planicies de marea, deltas y campos de dunas con playas que rodean el extremo septentrional del golfo; las costas rocosas solo están presentes en una porción (26%), también existe la presencia de bocanas. Por otra parte, la costa oriental del Golfo, que comprende el sur de Sonora y norte de Sinaloa, se diferencia por factores climáticos que cambian de muy árido al seco desértico, donde existe la presencia de ambientes costeros lagunares y sistemas de deltas, que gracias a las represas y las grandes obras de irrigación, han inhabilitado procesos de sedimentación en el frente de los deltas, aunque en el sector sur, los ríos no forman deltas, pero su sedimentación segmenta a las lagunas y esteros que se encuentran paralelos a la costa. Las costas se componen de costas arenosas (81%), rocosas (14%) y bocanas (5%) y dado que los ríos presentes en esta región no llegan directamente al mar, sino que se extienden y derivan en barras costeras, forman lagunas, esteros y planicies de inundación (Ortiz Pérez et al., 2006).

La boca del Golfo de California se puede considerar como una zona de transición entre mar abierto y la salida del Golfo de California de condiciones energéticas más bajas. La costa frontal en esta zona se compone de arena (79%) con el desarrollo de barreras formadas por planicies de cordones costeros antiguos y rocosos (20%). La concentración de sistemas hidrológicos sobre la planicie costera de Nayarit, favorece la existencia de pantanos, planicies de inundación y lagunas costeras, como Marismas Nacionales, que por su extensión, es considerado como el sistema de humedales más importante del Pacífico mexicano (Ortiz Pérez et al., 2006).

La región del macizo continental del noroeste de México se han designado dieciocho sitios RAMSAR (WHSRN, 2021) y se han incluido nueve sitios dentro de RHRAP, de los cuales dos son considerados como Sitios de Importancia Hemisférica, tres como Sitios de Importancia Regional y dos como Sitios de Importancia Internacional (WHSRN, 2021). A nivel nacional, se reconocen diecisiete AIC (Arizmendi y Márquez-Valdemar, 2000). El Delta del Río Colorado es considerado un área Importante para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad (BirdLife International, 2021).

2.2 Recopilación de datos

Los datos poblacionales analizados en este estudio se obtuvieron de dos esquemas de monitoreo biológico a largo plazo con una cobertura espacial a nivel continental. Ambos esquemas de monitoreo cuentan con bases de datos de uso libre que están disponibles en internet. El proyecto de Aves Playeras Migratorias, es liderado por Point Blue Conservation Science y cuenta con una base de datos denominada California Avian Data Center (CADC) donde se recaba la información, y está disponible en el sitio: <https://data.pointblue.org/cadc2/>. Por su parte el Conteo Navideño de Aves es organizado por la Sociedad de Audubon y su base de datos está disponible en: <https://netapp.audubon.org/cbcobservation/>.

2.2.1 Proyecto de Aves Playeras Migratorias

A partir de la base de datos de CADC se descargaron los recuentos de las diferentes especies de aves playeras de 2011 a 2019, así como información sobre la región, los sitios, las unidades de muestreo, su tamaño y las características del hábitat que se observaron al momento en que se realizaron los censos. Con esta información se formó una base datos para cada una de las especies, y se eligieron las unidades de muestreo que presentaban más de seis años de censos.

En cada uno de los sitios se evaluó la abundancia de aves playeras por medio del método de Censo por Área, siguiendo un protocolo de monitoreo estandarizado (Reiter et al., 2020), que consiste en un diseño espacial de tipo transversal, donde se establecen unidades de muestreo (con tamaños variables), que son áreas bien definidas y delimitadas por un polígono en cada uno de los sitios. Este tipo de conteo es el más común y también es denominado “búsqueda en área”, porque se hace un conteo completo de todas las

aves con ayuda de un telescopio, en cada unidad de muestreo. Para la observación de aves se usó un telescopio (20-60 x), así como cámaras y binoculares (7 x 35 o 10 x 50).

Se contaron de manera individual las aves cuando la parvada era <300 individuos, y en parvadas que superaban este número se hizo una estimación utilizando el método de “bloques”, que consiste en contar un bloque de aves dentro de un grupo y extrapolar el número de aves en toda la parvada; el tamaño del bloque puede variar entre 10, 100 y 1000 individuos dependiendo de la cantidad de aves (Howes y Bakewell, 1989). Cada conteo se realizó a una distancia no mayor a 200 metros de las aves y el tiempo de observación dependió del número de individuos y riqueza de especies en la unidad de muestreo.

2.2.2 Conteo Navideño de Aves

A partir de los conteos del CBC recopilamos datos de abundancia total (no. individuos) y del índice de abundancia (núm. individuos/grupo*hora) de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus*. Dado que estos conteos se basan en voluntarios, el número de contadores y los métodos de la recolección de datos varían a lo largo del tiempo y entre los círculos de conteo (Link et al., 2006), por lo que este índice de abundancia toma en cuenta el esfuerzo que podría afectar el número de aves registradas durante los conteos (Butcher y McCulloch, 1990).

De manera inicial, se identificaron los círculos de conteo activos que contenían datos de por lo menos seis años, en los inviernos de 2001 a 2019. Una vez que se hizo la selección de los círculos, se obtuvieron los resultados históricos para cada una de las especies (National Audubon Society, 2020). Con la información extraída se formó una base de datos, tanto para la abundancia como para el índice de abundancia relativa.

2.2.3 Variables ambientales

Los datos de series temporales de la temperatura promedio, mínima, máxima y de precipitación se extrajeron del conjunto de datos climáticos CRU TS (Climatic Research Unit gridded Time Series). Este conjunto de datos climáticos, se basa en una cuadrícula de 0.5° de latitud por 0.5° de longitud en todos los dominios terrestres del mundo, excepto la Antártida y se obtiene mediante la interpolación de anomalías

climáticas mensuales a partir de amplias redes de observaciones de estaciones meteorológicas utilizando una ponderación de distancia angular (Harris et al., 2020).

Se usó el programa MATLAB (Ver. 7.7.0) para acceder, organizar y extraer los datos de los archivos NetCDF originales de la versión CRU TS v4: https://data.ceda.ac.uk/badc/cru/data/cru_ts/cru_ts_4.04/data. A partir de las coordenadas geográficas de cada una de las unidades de muestreo y de cada uno de los círculos de conteo, se interpolaron los datos de cada una de las variables por medio del método del vecino más cercano. Se consideró el promedio mensual del mes de enero como el dato representativo del invierno de 2009 a 2019, para los datos de MSP, y el del mes de diciembre de 2011- 2019 para los datos del CBC. Esto por coincidir con el mes del conteo de cada programa de monitoreo.

Las temperaturas mínimas y máximas son los promedios mensuales de los registros diarios individuales de estas variables, no son la temperatura mínima o máxima global registrada en cada mes; los valores de precipitación corresponden a días húmedos, es decir aquellos días que reciben ≥ 0.1 mm de precipitación (Harris et al., 2020).

2.3 Análisis de datos

La zona costera de California y el noroeste de México representan la principal zona de invernada de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus*. En el presente trabajo, se hace referencia a esta zona como la costa oeste de Norteamérica. Los datos de abundancia total del MSP, correspondientes al periodo 2011-2019, se analizaron a tres escalas: a una escala de la costa oeste de Norteamérica; de California y el noroeste de México; y la PBC y SSN (figura 3). Los datos de abundancia total y del índice de abundancia del CBC, correspondientes al periodo 2001 a 2019, se analizaron a dos escalas: a una escala de la costa oeste de Norteamérica y a una escala de California y del noroeste de México. En el caso de los datos del índice de abundancia, los análisis se repitieron para el periodo 2009 a 2019, que es el periodo de las tendencias más recientes del visor de tendencias de la Sociedad de Audubon (figura 3).

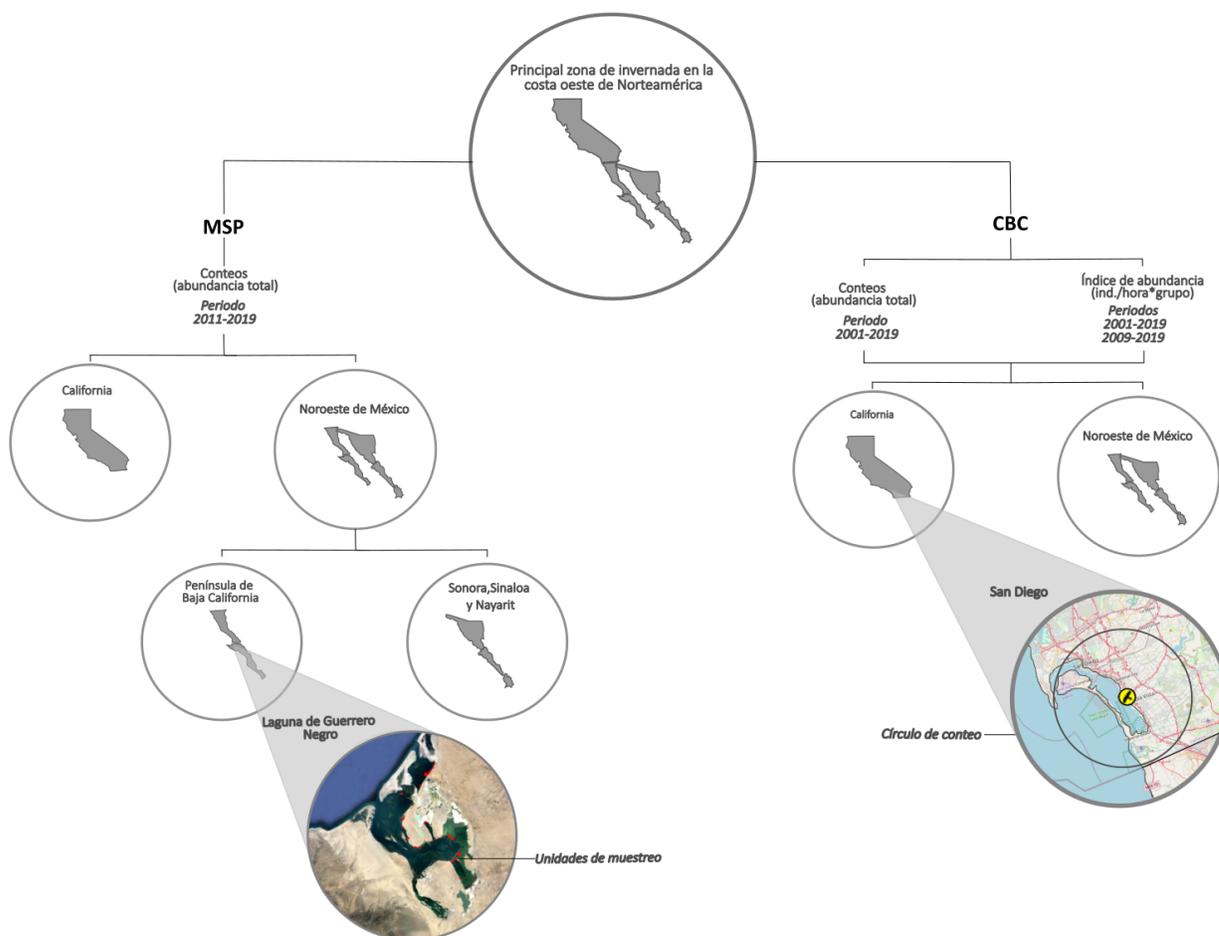


Figura 3. Zonas, regiones y periodos analizados para cada una de las especies con cada uno de los protocolos. Los datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP) se analizaron a tres escalas, y los datos del Censo Navideño de Aves (CBC) a dos. Se muestra un ejemplo de la estructura anidada de las unidades de muestreo y los círculos de conteo en sitios y regiones.

2.3.1 Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMM)

En las últimas décadas los Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMM de aquí en adelante por sus siglas en inglés), han sido ampliamente utilizados ante la necesidad de analizar datos binarios o de conteos, que incluyen variaciones entre individuos (Bolker et al., 2009).

Los datos de conteos de aves se caracterizan por contener muchos ceros. Los conteos del CBC y el MSP son un ejemplo de este tipo de situaciones, ya que se ejecutan bajo múltiples procesos, y es poco probable que se ajusten a una distribución normal o que se pueda mejorar la linealidad de la respuesta y la homogeneidad de la varianza por medio de transformaciones (Cayuela, 2010; O'Hara y Kotze, 2010).

Aunado a lo anterior, existen diferentes autores que sugieren que se recurra a los GLMM, puesto que representan una herramienta estadística de gran utilidad, ya que logran unir las principales ventajas de los Modelos Lineales Mixtos y los Modelos Lineales Generalizados, y en años recientes han sido ampliamente utilizados en estudios de aves y conteos (Serrano et al., 2001; Weston et al., 2012; Tryjanowski et al., 2015; Puan et al., 2019).

Se utilizaron GLMM para evaluar 1) la variación anual de la abundancia de cada una de las especies en los diferentes periodos, 2) en las distintas regiones, 3) y la asociación de la abundancia de aves con variables ambientales. Para cada uno de los modelos ajustados seleccionamos la distribución de probabilidad apropiada según el criterio de información de Akaike (AIC de aquí en adelante; Akaike, 1974) para la variable de interés (conteo e índice de abundancia). Se compararon las distribuciones típicas para datos de recuentos con un enlace de tipo logarítmico: Poisson y binomial negativa (Cayuela, 2010), y para cada una de las distribuciones se probaron modelos con un ajuste para el exceso de ceros (*zero-inflated*).

La distribución binomial negativa con inflación cero fue la que mejor se ajustaba a los datos en todos los casos, a excepción de los datos del índice de abundancia relativa del CBC, que se ajustó a una distribución binomial negativa.

La correlación espacial de los conteos de un mismo sitio se controló al considerar esta variación en los efectos aleatorios. Como variables de efectos fijos se consideró el año del invierno en que se realizó el conteo, la región a la que pertenecía el sitio como factor y el área de las unidades de muestreo, en el caso de los datos del MSP (*offset*; tabla 1).

La forma general del modelo se describe a continuación:

$$C \sim \text{NB}(\lambda * A_u, \delta)$$

$$\text{Log}(\lambda) = \beta_0 + \beta_Y + \beta_R + \beta_{VA} + \epsilon_s$$

$$\epsilon_s \sim \text{Norm}(0, \sigma_s^2) \quad (1)$$

donde C son los recuentos observados en el año y y sitio s ; λ es la media de cada año; A_u es el área especificada de las unidades de muestreo, δ es el parámetro de dispersión de la distribución Binomial Negativa, $\text{log}(\lambda)$ es la función de enlace para relacionar la media de los recuentos con las variables predictoras (β); β_0 es el intercepto; β_Y es el coeficiente de la tendencia; β_R es el coeficiente de la abundancia

en las distintas regiones (factor); β_{VA} es el coeficiente de la asociación de la abundancia y alguna de las variables ambientales; ϵ_s son efectos aleatorios específicos del sitio o las unidades de muestreo anidadas en los sitios distribuidos normalmente con una media fija de 0 y varianza estimada de σ^2 . El ajuste de los modelos se modificó según el análisis que se quería realizar.

Tabla 1. Resumen de las variables fijas y aleatorias consideradas en los modelos ajustados para los datos del Cuento Navideño de Aves (CBC) y el Proyecto de Aves Playeras (MSP).

Variables fijas	
Área (<i>offset</i>)	En el caso de los datos del MSP, el tamaño de la unidad se incluyó como término “ <i>offset</i> ” o de compensación dentro de los factores fijos, para tomar en cuenta la variación del área de las unidades de muestreo.
Años	Se consideró que el invierno de cada año podría explicar las diferencias estacionales. Para examinar la variación anual en la abundancia de cada especie, y para ser comparado con otros estudios se consideró el año como factor fijo. Las diferencias entre los años no son reproducibles con otros estudios que abarquen otras temporadas, como el Cuento de Aves en Reproducción.
Región	Las distintas regiones establecidas se consideraron como factor dentro de las variables fijas para explicar la proporción de la abundancia por unidad de muestreo en cada una de las regiones.
Variable ambiental <i>Precipitación=pre</i> <i>Temperatura promedio=tmp</i> <i>Temperatura máxima=tmx</i> <i>Temperatura mínima=tmn</i>	La precipitación, la temperatura promedio, máxima y mínima se consideraron dentro de las variables fijas para explicar el porcentaje de cambio en la abundancia cuando se encontró una asociación significativa con alguna de las variables.
Variables aleatorias	
CBC: Sitios MSP: Sitios/Unidades de muestreo	En el caso de los modelos del CBC, los sitios se consideraron como variable de efectos aleatorios. Para los modelos de MSP se consideraron las unidades de muestreo anidadas en cada uno de los sitios como variable de efectos aleatorios.
Interacción de la variable ambiental en los efectos aleatorios	Cuando el modelo seleccionado contenía alguna de las variables ambientales se probó el incluir la interacción de esta variable con la variable de efectos aleatorios para considerar su variación dentro y entre sitios.

2.3.2 Tendencia de la población de *N. americanus*, *L. fedoa* y *T. semipalmata*

Utilizamos GLMM para cada una de las bases de datos para evaluar las tendencias de la abundancia de cada una de las especies. Los datos se agruparon de acuerdo con los diferentes periodos y regiones, para luego ajustar un GLMM con la distribución antes seleccionada. Se realizaron 13 análisis para cada una de las especies (tabla 2). Para el MSP, se ajustaron un total de cinco GLMM por especie, tres para los conteos

del CBC y dos para el índice de abundancia. Las estimaciones de California para los datos del índice de abundancia del CBC se obtuvieron de las tendencias ya estimadas para cada una de las especies por La Sociedad de Audubon (Meehan et al., 2018).

Con los coeficientes estimados para la variable años en cada uno de los modelos se calculó la tasa de cambio anual de la abundancia o índice de abundancia por medio de la siguiente fórmula (Mehtätalo y Lappi, 2020):

$$\% \text{ cambio} = (\exp(\beta x_1) - 1) \times 100$$

Tabla 2. GLMM ajustados para la evaluación de la tendencia en la abundancia de cada una de las especies en las distintas regiones y periodos para ambos esquemas de monitoreo.

Programa de monitoreo	Variable de respuesta	Periodo y región
Proyecto de Aves Playeras Migratorias	Conteo	Periodo 2011-2019 Costa Oeste de Norteamérica California Noroeste de México Península de Baja California Sonora, Sinaloa y Nayarit
		Periodo 2001-2019 Costa Oeste de Norteamérica California Noroeste de México
Conteo Navideño de Aves	Índice de abundancia	Periodo 2001-2019/Periodo 2009-2019 Costa Oeste de Norteamérica Noroeste de México

2.3.3 Selección de variables de los Modelos Lineales Generalizados Mixtos

Para cada una de las bases de datos se realizó una selección de variables por pasos hacia adelante. Se ajustó un modelo inicial o nulo, en el cual se incluyó únicamente el efecto aleatorio para después ajustar un nuevo modelo que incluyó el tamaño de la unidad como término “offset”. A partir de este modelo se

procedió a ajustar un modelo para cada una de las variables de efectos fijos: año de conteo, región, temperatura promedio, mínima, máxima y precipitación. Se utilizó el AIC más bajo para seleccionar el mejor modelo de una variable, repitiendo el proceso de forma sucesiva hasta que los valores de AIC de los nuevos modelos ajustados resultaron mayores al modelo anterior.

Cuando el modelo seleccionado contenía alguna de las variables cuantitativas se probó el incluir la interacción de esta variable con la variable de efectos aleatorios, y se comparó si tenía un menor AIC.

Seguido de esto, se hizo una evaluación de las estimaciones de los coeficientes e intervalos de confianza (IC de aquí en adelante) a 95% de los modelos finales. Se caracterizó la dirección de la asociación con la abundancia en cada uno de los casos, considerando como significativo cuando el IC a 95% no se superponía a cero. El propósito de cada uno de los modelos fue de carácter explicativo más no predictivo.

En algunos de los modelos finales ajustados con los datos del MSP, las estimaciones de los coeficientes de las variables ambientales no fueron significativas de acuerdo con IC a 95%. Con fines explicativos en esos casos, se volvió a hacer el procedimiento de selección de variables sin considerar la variable que no resultó significativa.

Para cada uno de los modelos ajustados se obtuvo la devianza o devianza explicada que es una medida de bondad de ajuste, es decir, la variabilidad explicada por el modelo. Se calcula mediante la siguiente fórmula (Cayuela, 2010):

$$D^2 = \frac{\text{Devianza modelo nulo} - \text{Devianza residual}}{\text{Devianza modelo nulo}} \times 100$$

2.3.4 Distribución de la población invernante de *N. americanus*, *L. fedoa* y *T. semipalmata* en la costa oeste de Norteamérica

A partir de cada uno de los modelos seleccionados, se determinó la dirección de la asociación entre la abundancia de cada especie en cada una de las regiones, así como la magnitud de esta y su significancia.

2.3.5 Asociación entre la abundancia de *N. americanus*, *L. fedoa* y *T. semipalmata* y las variables ambientales en la costa oeste de Norteamérica

Se determinó la asociación entre la abundancia de cada una de las especies y las variables ambientales a partir de los modelos finales seleccionados. Los coeficientes estimados en cada uno de los modelos se utilizaron para calcular el cambio porcentual de la abundancia o del índice por la unidad de medición correspondiente (°C o mm lluvia) mediante la función exponencial.

Todos los análisis se llevaron a cabo en el lenguaje de programación de código abierto R versión 4.0.0 (R Core Team, 2020), con ayuda de la interfaz gráfica Rstudio. El ajuste de todos los modelos se hizo usando la estimación de máxima verosimilitud por medio del paquete “glmmTMB”, especificando la familia de distribución como *nbinom2* y *ziformula = ~1*, para los casos en que se utilizó la inflación de ceros (Magnusson et al., 2017). Todos los gráficos se visualizaron mediante el paquete “ggplot2” (Wickham, 2009).

Capítulo 3. Resultados y discusión

3.1 Resultados

3.1.1 Proyecto de Aves Playeras Migratorias

Entre 2011 y 2019 se realizaron un total de 4,845 conteos en 629 unidades de muestreo pertenecientes a 36 sitios a lo largo de la costa de California y el noroeste de México (figura 4). Del total de conteos, 3,538 se realizaron en 16 sitios de California, 794 en 8 sitios de la PBC y 513 en 12 sitios de SSN. En los nueve años de muestreos del proyecto del MSP se contabilizaron 290,097 individuos de *L. fedoa*, 239,498 de *T. semipalmata* y 37,442 de *N. americanus*.

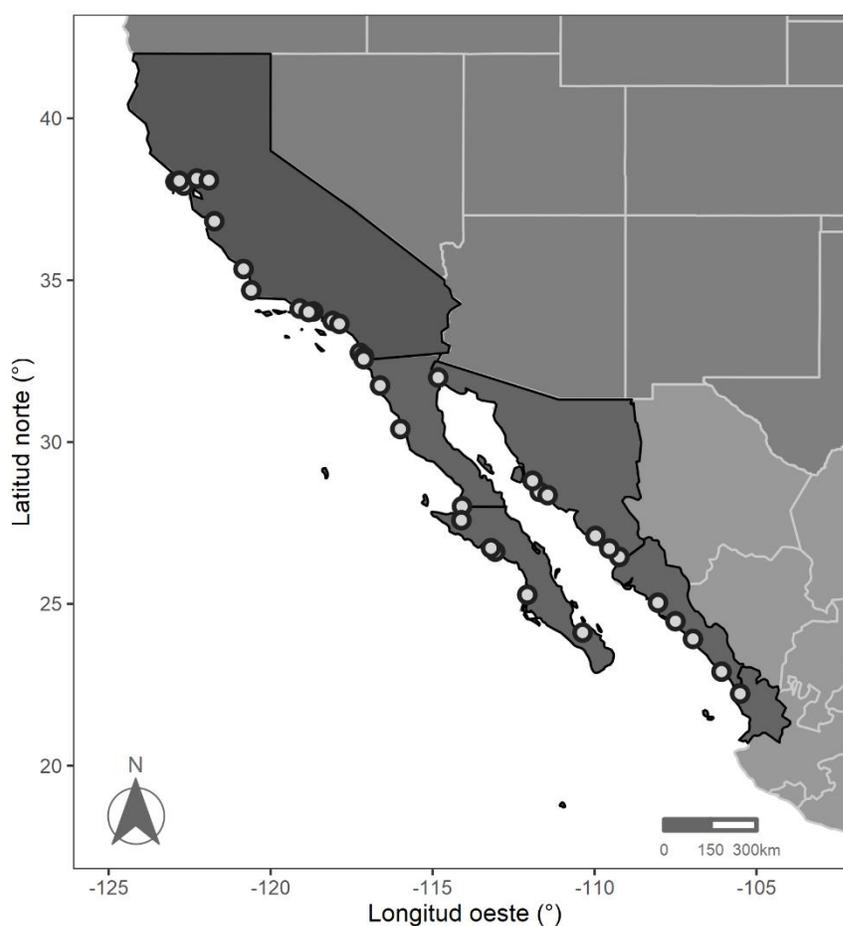


Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo considerados del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).

3.1.2 Conteo Navideño de Aves

Entre 2001 y 2019 se realizaron un total de 751 Conteos Navideños de Aves en 43 sitios, en la costa de California y el noroeste de México (figura 5). En California se realizaron 642 conteos en 35 sitios y en el noroeste de México se realizaron 109 conteos en ocho sitios.

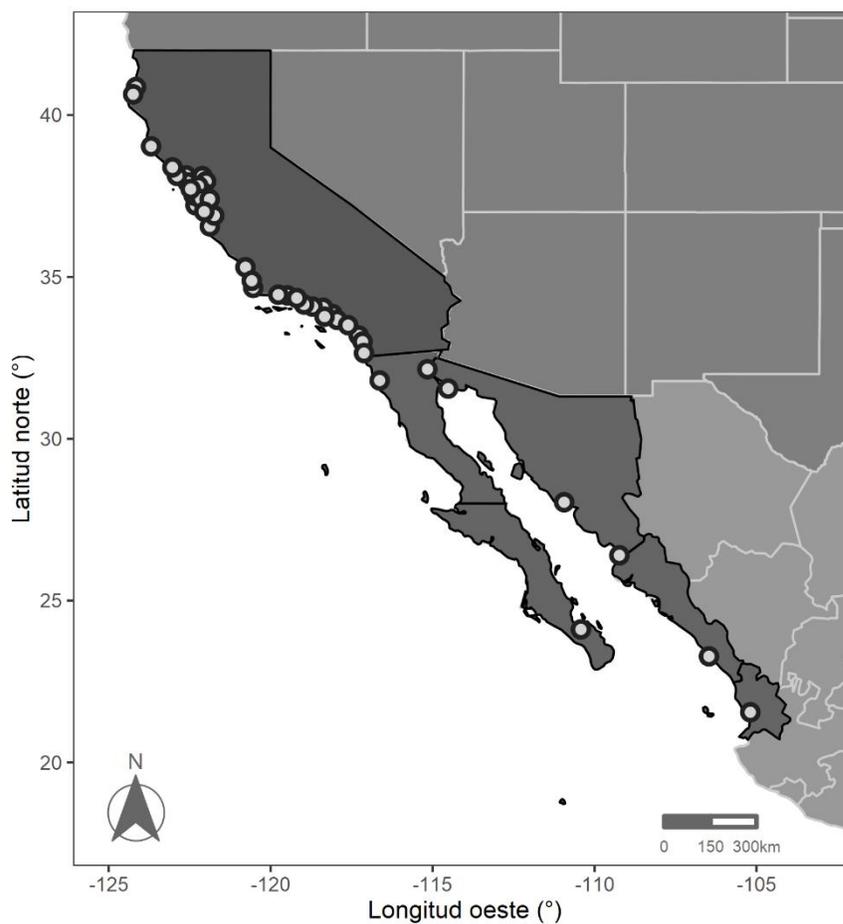


Figura 5. Ubicación de los círculos de conteo del Conteo Navideño de Aves (CBC) considerados.

Conteos

En los 19 años de conteos del CBC se registraron un total de 467,256 individuos de *L. fedoa*, 399,343 de *T. semipalmata* y 65,755 de *N. americanus* en toda la costa oeste de Norteamérica.

Índice de abundancia (núm. de individuos/grupo*hora)

Para *L. fedoa*, en los 19 años de conteos se obtuvo un índice de abundancia total de 2,555 en la costa oeste, para *T. semipalmata* de 2, 262 y de 493 (ind/grupo*hora) para *N. americanus*.

3.2 Modelos Lineales Generalizados Mixtos

3.2.1 Tendencia de la población de *N. americanus*, *L. fedoa* y *T. semipalmata* en los principales sitios de invernada de California y el noroeste de México.

Proyecto de Aves Playeras Migratorias

De acuerdo con los GLMM calculados a partir de los datos del MSP, la tendencia de la población invernante de *L. fedoa* durante el periodo 2011-2019 fue negativa y significativa en la costa oeste de Norteamérica ($\beta = -0.079$; $p < 0.001$), California ($\beta = -0.05$; $p < 0.001$) y el noroeste de México ($\beta = -0.11$; $p < 0.001$), con un cambio porcentual anual del -7.6%, -5.5% y -10.5% respectivamente. En la PBC la tendencia de la población invernante de esta especie fue negativa y significativa ($\beta = -0.22$; $p < 0.001$), con un cambio anual de -20%, mientras que en SSN fue positiva, pero no significativa ($\beta = -0.11$; $p = 0.5$; tabla 3).

La tendencia de la población invernante de *T. semipalmata* fue negativa y significativa en la costa oeste de Norteamérica ($\beta = -0.09$; $p < 0.001$), California ($\beta = -0.06$; $p < 0.001$) y en el noroeste de México ($\beta = -0.12$; $p < 0.001$; tabla 6), con un cambio anual de -8.8%, -6.7% y -11.8% respectivamente. En la PBC la tendencia de esta especie también fue negativa y significativa ($\beta = -0.23$; $p < 0.001$), con un cambio anual de -21%. En SSN la tendencia de esta especie fue positiva, pero no significativa ($\beta = 0.02$; $p = 0.05$; tabla 3).

La tendencia de la población invernante de *N. americanus* fue negativa pero no significativa en la costa oeste de Norteamérica ($\beta = -0.02$; $p = 0.1$), California ($\beta = -0.01$; $p = 0.4$) y el noroeste de México ($\beta = -0.02$; $p = 0.3$). La PBC también presentó una tendencia negativa, pero no significativa ($\beta = -0.05$; $p = 0.6$), mientras que en SSN su tendencia fue positiva y no significativa ($\beta = 0.01$; $p = 0.1$; tabla 3).

En resumen, con los GLMM calculados a partir de los datos del MSP se determinó que existe una tendencia negativa y significativa en la población invernante de *L. fedoa* y *T. semipalmata* en toda la costa oeste de Norteamérica, California y el Noroeste de México. En esta última región, estas especies también presentaron una tendencia negativa y significativa en la PBC. Para *N. americanus* no hubo evidencia de una disminución poblacional en ninguna de las regiones (figura 6).

Tabla 3. Tendencia de la población invernante de las tres especies estimada a partir de los datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP) en la costa oeste de Norteamérica durante el periodo 2011-2019. Se muestran los resultados por región. En negritas se muestran las tendencias que resultaron significativas de acuerdo con los IC a 95%.

Tendencia conteos MSP 2011-2019				
Especie	Región	Pendiente β (% de cambio por año)	IC 95%	<i>p</i>
<i>L. fedoa</i>	Costa oeste Norteamérica	-0.79 (-7.6)	-0.11, -0.04	<0.001
	California	-0.05 (-5.5)	-0.09, -0.01	<0.001
	Noroeste de México	-0.11 (-10.5)	-0.17, -0.05	<0.001
	Sonora, Sinaloa y Nayarit	0.02 (2.5)	-0.05, 0.1	0.5
	Península Baja California	-0.22 (-20)	-0.31, -0.13	<0.001
<i>T. semipalmata</i>	Costa oeste Norteamérica	-0.9 (-8.8)	-0.12, -0.06	<0.001
	California	-0.06 (-6.7)	-0.1, -0.03	<0.001
	Noroeste de México	-0.12 (-11.8)	-0.18, -0.07	<0.001
	Sonora, Sinaloa y Nayarit	0.02 (2.17)	-0.04, 0.08	0.5
	Península Baja California	-0.23 (-21)	-0.31, -0.16	<0.001
<i>N. americanus</i>	Costa oeste Norteamérica	-0.02 (-2.4)	-0.05, 0.006	0.1
	California	-0.01 (-1.6)	-0.05, 0.02	0.4
	Noroeste de México	-0.02 (-2.6)	-0.07, 0.02	0.3
	Sonora, Sinaloa y Nayarit	0.01 (1.82)	-0.06, 0.09	0.66
	Península Baja California	-0.06 (-5.8)	-0.13, 0.01	0.1

Conteo Navideño de Aves

Conteos

Periodo 2001-2019

De acuerdo con los GLMM calculados a partir de los conteos del CBC durante el periodo 2001-2019, la tendencia de la población invernante de *L. fedoa* fue negativa pero no significativa en la costa oeste de Norteamérica ($\beta = -0.01$; $p=0.6$), California ($\beta = -0.009$; $p=0.1$) y el noroeste de México ($\beta = -0.009$; $p=0.5$; tabla 4).

Para *T. semipalmata* la tendencia de la población invernante fue negativa y significativa en la costa oeste de Norteamérica ($\beta = -0.02$; $p<0.0001$), California ($\beta = -0.02$; $p<0.0001$) y el noroeste de México ($\beta = -0.04$; $p<0.0001$), con un porcentaje de cambio anual de -2.8%, -2.6% y -3.9% respectivamente (tabla 4).

Por su parte, la tendencia de la población invernante de *N. americanus* fue positiva, pero no significativa en la costa oeste de Norteamérica ($\beta = 0.005$; $p=0.4$), California ($\beta = 0.0047$; $p=0.5$) y el noroeste de México ($\beta = 0.0049$; $p=0.8$; tabla 4).

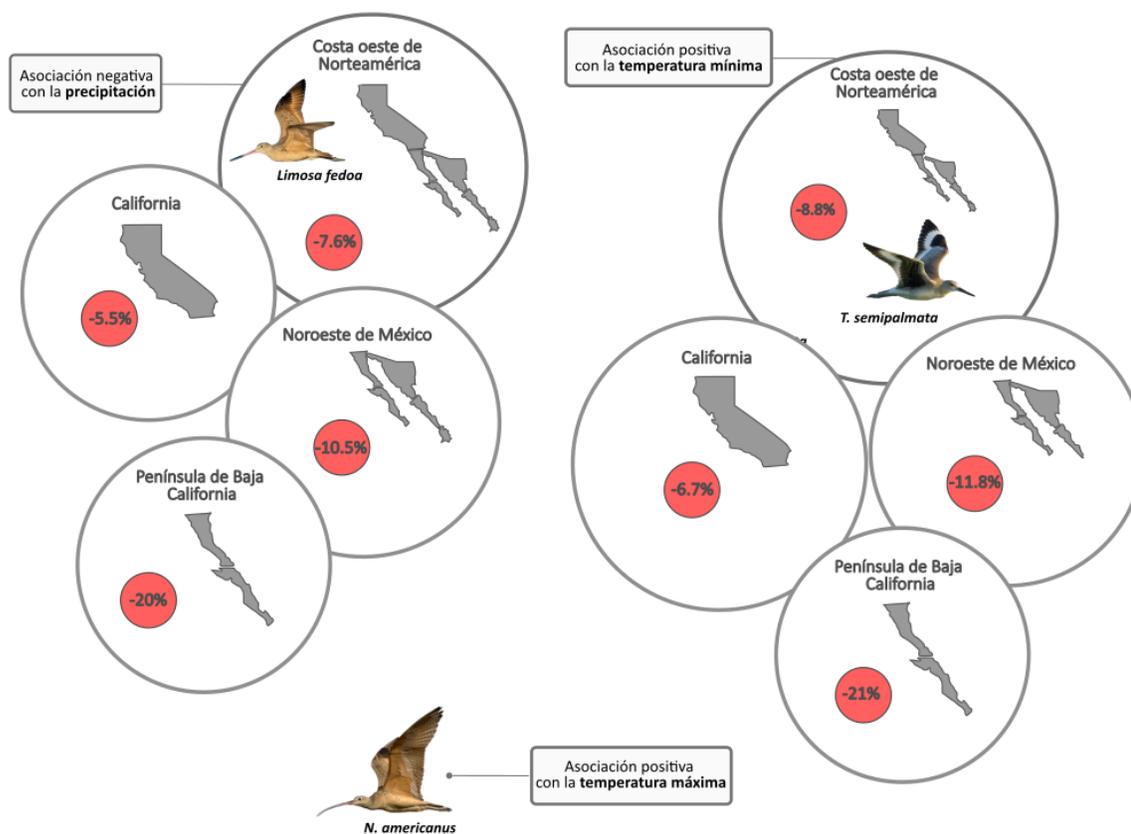


Figura 6. Tendencias que resultaron negativas y significativas con los datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP) para cada una de las especies. Se muestran las tendencias para la costa oeste de Norteamérica, California y el noroeste de México. Se indica el porcentaje de cambio en la abundancia de cada especie en los círculos rojos. Se indica las asociaciones significativas de cada una de las especies con las diferentes variables ambientales.

Índice de abundancia (núm. de individuos/grupo*hora)

Periodo 2001-2019

Con los GLMM calculados a partir del índice de abundancia del CBC durante el periodo 2001-2019, determinamos que la tendencia de la población invernante de *L. fedoa* fue negativa y significativa en la costa oeste de Norteamérica ($\beta = -0.015$; $p < 0.01$) y California ($\beta = -0.016$; $p < 0.01$) con un porcentaje de cambio anual de -1.5% y -1.7% respectivamente. En el noroeste de México, aunque la tendencia fue negativa, no resultó significativa ($\beta = -0.07$; $p = 0.6$; tabla 4).

Para *T. semipalmata*, durante este periodo, la tendencia en la población invernante fue negativa y significativa en la costa oeste de Norteamérica ($\beta = -0.03$; $p < 0.001$), California ($\beta = -0.02$; $p < 0.001$) y el

noroeste de México ($\beta = -0.047$; $p < 0.001$), con un porcentaje de cambio anual de -3%, -2.7% y -4.5% respectivamente (tabla 4).

La tendencia de la población invernante de *N. americanus* fue negativa pero no significativa en la costa oeste de Norteamérica ($\beta = -0.001$; $p = 0.9$), al igual que en California ($\beta = -0.01$; $p = 0.1$). En el noroeste de México fue positiva, pero no significativa ($\beta = 0.03$; $p = 0.2$; tabla 4).

Periodo 2009-2019

Para el periodo 2009-2019, de acuerdo con los GLMM calculados a partir del índice de abundancia del CBC, la tendencia de la población invernante de *L. fedoa* en la costa oeste de Norteamérica fue negativa pero no significativa ($\beta = -0.01$; $p = 0.3$). Lo anterior coincide con la tendencia calculada por la sociedad de Audubon para California, que también fue negativa y no significativa (IC 95%: 1.53, -2.75). En el noroeste de México la tendencia fue positiva, pero no significativa ($\beta = 0.04$; $p = 0.1$; tabla 4).

Para *T. semipalmata* su tendencia poblacional en la costa oeste de Norteamérica fue negativa y significativa ($\beta = -0.03$; $p = 0.003$), con un cambio anual de -3.4%. Lo anterior coincide con las estimaciones la Sociedad de Audubon para California en este periodo, quienes determinaron una tendencia negativa y significativa (IC 95%: -0.88, -4.16), con un cambio anual de -2.4%. En el noroeste de México, la tendencia fue negativa, aunque no significativa ($\beta = -0.05$; $p = 0.05$; tabla 4).

Finalmente, para *N. americanus*, en la costa oeste de Norteamérica la tendencia fue positiva y significativa ($\beta = 0.06$; $p = 0.003$), con un cambio anual de 7.1%. Lo anterior difiere de la tendencia poblacional calculada por la Sociedad de Audubon para esta especie en California, que fue negativa pero no significativa (IC 95%: 6.72, -7.75). En el noroeste de México su tendencia fue positiva y significativa ($\beta = 0.14$; $p = 0.004$), con un cambio anual de 15.6% (tabla 4).

En resumen, con los datos de conteo del CBC se determinó que en un periodo a largo plazo de 2001-2019, únicamente para *T. semipalmata* existe una tendencia negativa en toda la costa oeste de Norteamérica y California. Durante este mismo periodo, pero con datos del índice de abundancia, tanto para *T. semipalmata* como *L. fedoa* se encontró que la tendencia en la costa oeste de Norteamérica y California fue negativa y significativa. En el noroeste de México, la tendencia de *T. semipalmata* también resultó negativa y significativa (figura 7). En un periodo a corto plazo de 2009-2019, para *T. semipalmata* se determinó que existe una tendencia negativa y significativa en la costa oeste de Norteamérica. Para *N.*

americanus durante este periodo, su tendencia resultó positiva y significativa en toda la costa oeste de Norteamérica y en el noroeste de México (figura 7).

3.2.2 Selección de variables de los Modelos Lineales Generalizados Mixtos

Proyecto de Aves Playeras Migratorias

Para *L. fedoa* el procedimiento de selección de variables por pasos resultó en dos modelos de tres variables que obtuvieron el mismo valor de AIC, que fue el más bajo (Anexo I). El primer modelo incluyó los años, la región y la precipitación. En el segundo modelo, la tercera variable fue la temperatura mínima. Para cada uno de estos modelos se probó el incluir la interacción de la variable ambiental correspondiente en los efectos aleatorios. El modelo que incluyó la precipitación y su interacción en los efectos aleatorios obtuvo el menor AIC. Se eligió este modelo como el modelo que mejor explicaba la abundancia de *L. fedoa* en la costa oeste de Norteamérica, y explicó el 1.04% de la devianza (tabla 5 y 7).

De las variables incluidas en este modelo, la precipitación fue la variable que aportó el mayor porcentaje a la devianza con 0.20%, seguido de la variable región que aportó 0.11% y los años que aportaron 0.04%. El modelo en donde solo se controló el tamaño de la unidad de muestreo aportó 0.63% a la devianza total explicada (tabla 7).

Para *T. semipalmata* el procedimiento de selección de variables por pasos resultó en un modelo final que incluyó los años, la temperatura mínima con su interacción en los efectos aleatorios y la región (tabla 5). Este modelo fue el que mejor explicó la abundancia de esta especie en la costa oeste de Norteamérica, y explicó un 0.79% de la devianza (tabla 8).

Tabla 4. Tendencia de la población invernante de las tres especies estimada a partir de los conteos e índice de abundancia del Cuento Navideño de Aves (CBC) en los principales sitios de invernada en la costa oeste de Norteamérica. Se muestra las tendencias obtenidas por regiones a largo plazo (2001 a 2019) y mediano plazo (2009 a 2019). Las tendencias del CBC que se muestran para California durante el periodo 2009-2019 (en gris) se obtuvieron a partir del visor de tendencias estimadas por la Sociedad de Audubon. En negritas se muestran las tendencias que resultaron significativas de acuerdo con los IC a 95%.

Especie	Región	Tendencia conteos CBC 2001-2019			Tendencia índice CBC 2001-2019			Tendencia índice CBC 2009-2019		
		Pendiente β (% de cambio por año)	IC 95%	<i>p</i>	Pendiente β (% de cambio por año)	IC 95%	<i>p</i>	Pendiente β (% de cambio por año)	IC 95%	<i>p</i>
<i>L. fedoa</i>	Costa oeste Norteamérica	-0.01 (-1.02)	-0.02, 0.0005	0.06	-0.01 (-1.49)	-0.02, -0.003	<0.01	-0.01 (-1.1)	-0.03, 0.01	0.3
	California	-0.009 (-0.9)	-0.02, 0.002	0.12	-0.01 (-1.68)	-0.02, -0.004	<0.01	(-0.6)	1.53, -2.75	-
	Noroeste de México	-0.009 (-0.9)	-0.04, 0.02	0.5	-0.007 (-0.74)	-0.03, 0.02	0.6	0.04 (4.8)	-0.01, 0.10	0.13
<i>T. semipalmata</i>	Costa oeste Norteamérica	-0.02 (-2.8)	-0.03, -0.01	<0.0001	-0.03 (-3.09)	-0.04, -0.02	<0.001	-0.03 (-3.4)	-0.07, -0.02	0.003
	California	-0.02 (-2.6)	-0.03, -0.01	<0.0001	-0.02 (-2.7)	-0.03, -0.01	<0.001	(-2.4)	-0.88, -4.16	-
	Noroeste de México	-0.04 (-4.7)	-0.07, -0.01	<0.01	-0.04 (-4.5)	-0.07, -0.01	<0.01	-0.05 (-5.8)	-0.12, 0.001	0.05
<i>N. americanus</i>	Costa oeste Norteamérica	0.005 (0.5)	-0.008, 0.02	0.4	-0.001 (-0.19)	-0.04, 0.03	0.9	0.07 (7.19)	0.02, 0.11	0.003
	California	0.004 (0.47)	-0.009, 0.01	0.5	-0.01 (-1.5)	-0.03, 0.006	0.17	(-0.02)	-7.75, 6.72	-
	Noroeste de México	0.004 (0.49)	-0.03, 0.04	0.8	0.03 (3.28)	-0.01, 0.08	0.2	0.14 (15)	0.04, 0.24	0.004

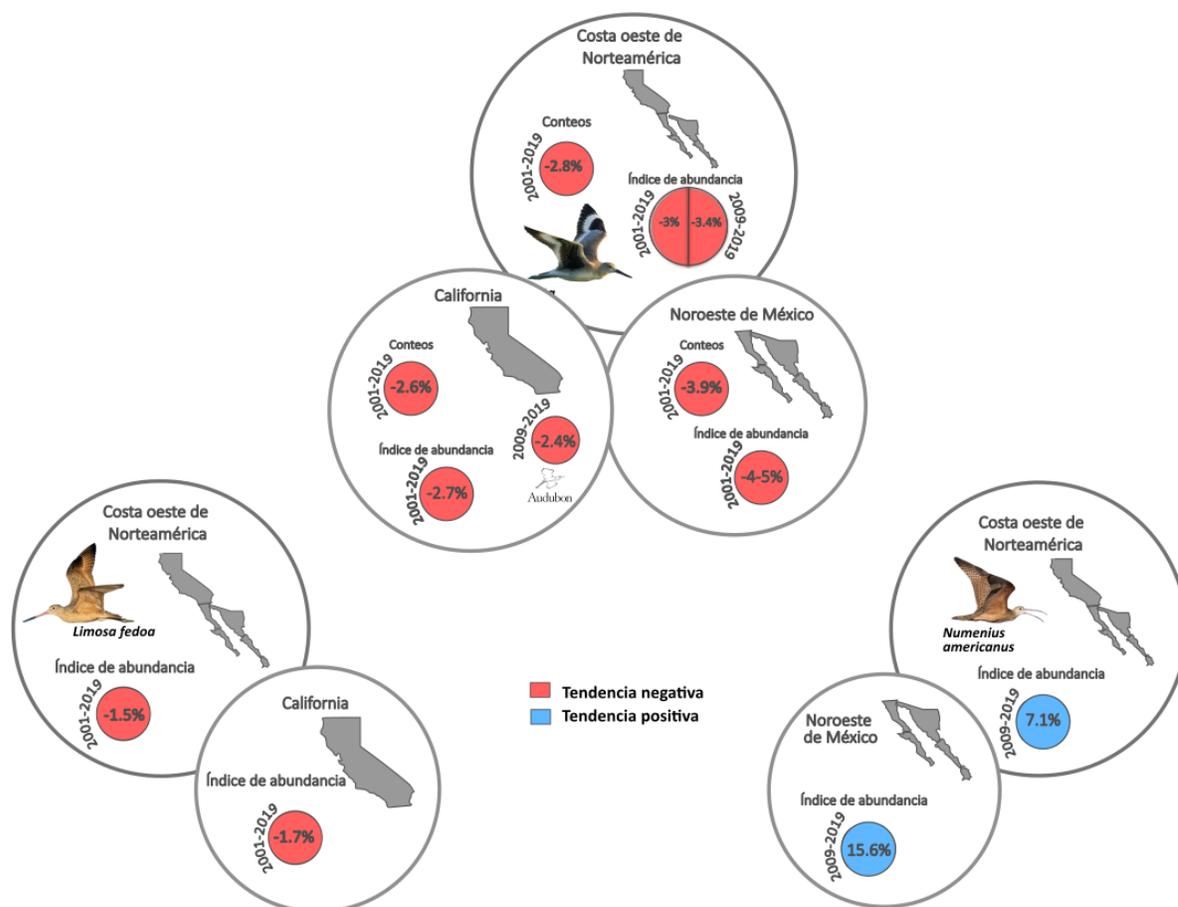


Figura 7. Tendencias que resultaron significativas con los datos de conteo e índice de abundancia del Conteo Navideño de Aves (CBC) para cada una de las especies. Se muestran las tendencias para la costa oeste de Norteamérica, California y el noroeste de México. En los círculos rojos se indica el porcentaje de cambio de la abundancia de cada especie y el periodo correspondiente de la tendencia. Círculos rojos indican tendencias negativas y los azules tendencias positivas. En el caso *T. semipalmata* se muestra la tendencia estimada por el visor de tendencias de la Sociedad de Audubon para el periodo 2009-2019.

De las variables incluidas en el mejor modelo para *T. semipalmata*, los años fue la variable que aportó el mayor porcentaje de la devianza con 0.16%, seguido de la temperatura mínima con 0.15% y la región con 0.03%. Cuando únicamente se controló el tamaño de la unidad de muestreo tuvo un aporte de 0.44% a la devianza total explicada (tabla 8).

En el caso de *N. americanus*, de manera inicial el procedimiento de selección de variables por pasos resultó en un modelo de tres variables que incluyó la región, los años y la precipitación. Esta última variable no fue significativa, ni el modelo que incluyó la interacción de esta variable en los efectos aleatorios, por lo

que se decidió volver a seleccionar el mejor modelo de tres variables sin considerar la precipitación (tabla 9).

Una vez que se volvió a hacer la selección del mejor modelo de tres variables, tanto el modelo que incluyó a la temperatura mínima como el que incluyó la temperatura máxima obtuvieron los valores de AIC más bajos, por lo que se decidió el considerar ambos modelos como los mejores modelos de tres variables. En ambos casos, se probó el incluir la interacción de la variable ambiental seleccionada con la variable de efectos aleatorios (tabla 9).

El modelo que incluyó la temperatura máxima y su interacción en los efectos aleatorios presentó el menor valor de AIC por lo que se eligió como el modelo que mejor explica la abundancia de *N. americanus* en la costa oeste de Norteamérica, y explicó un 0.80% de la devianza (tabla 9).

De las variables incluidas en el modelo seleccionado para *N. americanus*, la temperatura máxima fue la variable que aportó el mayor porcentaje a la devianza con el 0.31%, mientras que la región aportó un 0.07% y los años un 0.02%. El modelo en donde solo se controló el tamaño de la unidad explicó el 0.40% de la devianza explicada (tabla 9).

Tabla 5. Modelos finales para cada una de las tres especies, con los datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).

Especie	Modelo
<i>L. fedoa</i>	Abundancia ~ offset(Tamaño unidad) + Región + Año + pre + (pre Sitio/Unidad)
<i>T. semipalmata</i>	Abundancia ~ offset(Tamaño unidad) + Año + tmn + Región + (tmn Sitio/Unidad)
<i>N. amerianus</i>	Abundancia ~ offset(Tamaño unidad) + Región + Año + tmx + (tmx Sitio/Unidad)

Conteo Navideño de Aves

Para los datos de abundancia total de *L. fedoa*, el modelo final incluyó únicamente los años y la temperatura mínima, explicando el 0.02 y 0.04 de la devianza respectivamente. Con los datos del índice de abundancia el modelo final incluyó la precipitación, los años y temperatura mínima. Este modelo explicó un 0.86% de la devianza. De estas variables, la precipitación fue la que tuvo un mayor aporte a la devianza total con 0.63%, seguido de la temperatura mínima con 0.13% y los años con 0.1% (tabla 6 y 10).

Para *T. semipalmata*, con los datos de abundancia total, el procedimiento de selección de variables resultó en un modelo que incluyó únicamente los años y explicó el 0.32% de la devianza. Con los datos del índice de abundancia el modelo final incluyó los años y la región. Este modelo explicó un 1.45% de la devianza. La variable que tuvo un mayor aporte a la devianza fueron los años con un total de 1.32%, mientras que la región aportó 0.13% (tabla 6 y 11).

Por último, para *N. americanus*, con los datos de abundancia total el procedimiento de selección de variables por pasos resultó en un modelo que incluyó únicamente la temperatura mínima, variable que explicó el 0.40% de la devianza. Con los datos del índice de abundancia el modelo final incluyó únicamente la región y explicó un 0.58% de la devianza (tabla 6 y 12).

Tabla 6. Modelos finales para cada una de las tres especies, con los datos del Censo Navideño de Aves (CBC).

Especie	Abundancia total	Índice de abundancia
<i>L. fedoa</i>	Total ~ Año + tmn (1 Sitio)	Total ~ pre + Año + tmn + (1 Sitio)
<i>T. semipalmata</i>	Total ~ Año + (1 Sitio)	Total ~ Año + Región + (1 Sitio)
<i>N. americanus</i>	Total ~ Año + (1 Sitio)	Total ~ Región + (1 Sitio)

3.2.3 Distribución de la población invernante de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus* en la costa oeste de Norteamérica

Proyecto de Aves Playeras Migratorias

Hubo diferencias en la proporción de la abundancia invernal de cada una de las especies en la costa oeste de Norteamérica. Para las tres especies, proporcionalmente, el número total de aves en cada unidad de muestreo fue mayor en la PBC que en el resto de las regiones. En la región de SSN fue mayor que en California, pero menor que en la PBC. California fue la región que presentó el menor número de aves por unidad de muestreo de acuerdo con los modelos finales de cada una de las especies.

En el modelo final para *L. fedoa*, la región de California presentó una asociación negativa y significativa con la abundancia de esta especie ($\beta = -2.2$; $p < 0.001$, -1.0). Es decir que en esta región la abundancia de la especie en cada unidad de muestreo fue 2.2 veces menor con respecto a las otras regiones (en lo sucesivo se menciona solo la magnitud del coeficiente estimado). En la PBC la abundancia de *L. fedoa* presentó una asociación positiva y significativa ($\beta = 3.35$; $p = 0.001$), lo que sugiere que en cada unidad fue 3.3 veces

mayor que con respecto a las otras regiones. En SSN su abundancia presentó una asociación positiva y significativa ($\beta = 2.58$; $p=0.008$), es decir que fue 2.5 veces mayor en cada unidad (figura 8).

Para *T. semipalmata*, el modelo final para la región de California también tuvo una asociación negativa y significativa ($\beta = -3.39$; $p<0.001$), es decir que en esta región la abundancia de esta especie en cada unidad de muestreo fue 3.4 veces menor con respecto al resto de las regiones. La región de la PBC tuvo una asociación positiva y significativa ($\beta = 1.93$; $p=0.03$), lo que sugiere su abundancia fue 1.9 veces mayor en cada unidad con respecto a las otras regiones. En SSN, la abundancia de esta especie también presentó una asociación positiva significativa ($\beta = 1.91$; $p=0.02$), es decir que fue 1.9 veces mayor. De acuerdo con la magnitud del coeficiente estimado para la PBC y SSN, la abundancia por unidad de muestreo de esta especie es similar en estas dos regiones (figura 9).

Por último, de acuerdo con el modelo final ajustado para *N. americanus*, la región de California presentó una asociación negativa y significativa ($\beta = -8.2$; $p<0.001$) con la PBC y SSN, es decir que la abundancia de aves en cada unidad de muestreo en esta región fue 8.3 veces menor en esta región. Por su parte la PBC presentó una asociación positiva y significativa ($\beta = 2.43$; $p=0.005$), lo que sugiere que su abundancia fue 2.5 veces mayor por unidad de muestreo que en el resto de las regiones. En SSN, proporcionalmente su abundancia fue mayor que California, pero menor que la PBC ($\beta = 0.55$; $p=0.4$), aunque la asociación no fue significativa (figura 10).

Conteo Navideño de Aves

Para *L. fedoa* los modelos finales calculados a partir de la abundancia total y del índice de abundancia no incluyeron la región como variable fija, mientras que para *T. semipalmata*, únicamente el modelo calculado a partir del índice de abundancia incluyó la región. En este modelo la región de California tuvo una asociación positiva, pero no significativa con respecto al noroeste de México ($\beta = 0.36$; $p=0.06$), y a su vez esta región tuvo una asociación positiva, pero no significativa con respecto a California ($\beta = 1.06$; $p=0.1$; figura 12).

El modelo final para los datos del CBC calculado a partir de los datos de abundancia total para *N. americanus* no incluyó la región como variable fija, pero si el modelo calculado a partir del índice de abundancia de esta especie. En este modelo, en los sitios de California su abundancia tuvo una asociación negativa y significativa ($\beta = -1.84$; $p<0.001$) en relación con el noroeste de México, es decir que fue 1.8 veces menor con respecto al noroeste de México. En esta última región, su abundancia tuvo una asociación

positiva y significativa ($\beta = 1.90$; $p < 0.01$) con respecto a California, lo que sugiere que la abundancia de *N. americanus* en esta región es 2.2 veces mayor en cada sitio (figura 13).

3.2.4 Asociación entre la abundancia de *N. americanus*, *L. fedoa* y *T. semipalmata* y las variables ambientales en la costa oeste de Norteamérica

Proyecto de Aves Playeras Migratorias

Con los datos del MSP el modelo final de *L. fedoa* seleccionado incluyó a la precipitación. Esta variable tuvo una asociación negativa y significativa con su abundancia ($\beta = -0.01$; $p < 0.001$). Es decir que por cada milímetro de lluvia que aumente la precipitación en la costa oeste de Norteamérica, su abundancia disminuirá un 1% en cada unidad de muestreo (figura 8).

Para *T. semipalmata*, el modelo final incluyó la temperatura mínima y tuvo una asociación positiva y significativa con su abundancia ($\beta = 0.20$; $p = 0.02$; figura 6). Es decir que por cada grado centígrado que aumente la temperatura mínima, su abundancia aumentara un 22% en la región de estudio (figura 9).

El modelo final de *N. americanus* incluyó la temperatura máxima y tuvo una asociación positiva y significativa ($\beta = 0.16$; $p = 0.004$; figura 6) con su abundancia. Es decir que, en la región de estudio, su abundancia aumenta en un 17 % por cada grado centígrado que aumente la temperatura máxima (figura 10).

Conteo Navideño de Aves

Para *L. fedoa*, en el modelo final calculado a partir de la abundancia total, la temperatura mínima tuvo una asociación positiva pero no significativa ($\beta = 0.02$; $p = 0.2$). En el modelo calculado a partir del índice de abundancia la precipitación tuvo una asociación positiva, pero no significativa con la abundancia de esta especie ($\beta = 0.0004$; $p = 0.3$), al igual que la temperatura mínima ($\beta = 0.05$; $p = 0.08$; figura 11).

Para *T. semipalmata*, los modelos finales calculados a partir de los datos de abundancia total y del índice de abundancia no incluyeron ninguna de las variables ambientales (figura 12).

Finalmente, con lo que respecta a *N. americanus*, en el modelo final calculado a partir de la abundancia total, la temperatura mínima tuvo una asociación positiva pero no significativa con la abundancia de esta

especie ($\beta = 0.04$; $p=0.1$). El modelo final calculado a partir del índice de abundancia no incluyó ninguna de las variables ambientales (figura 13).

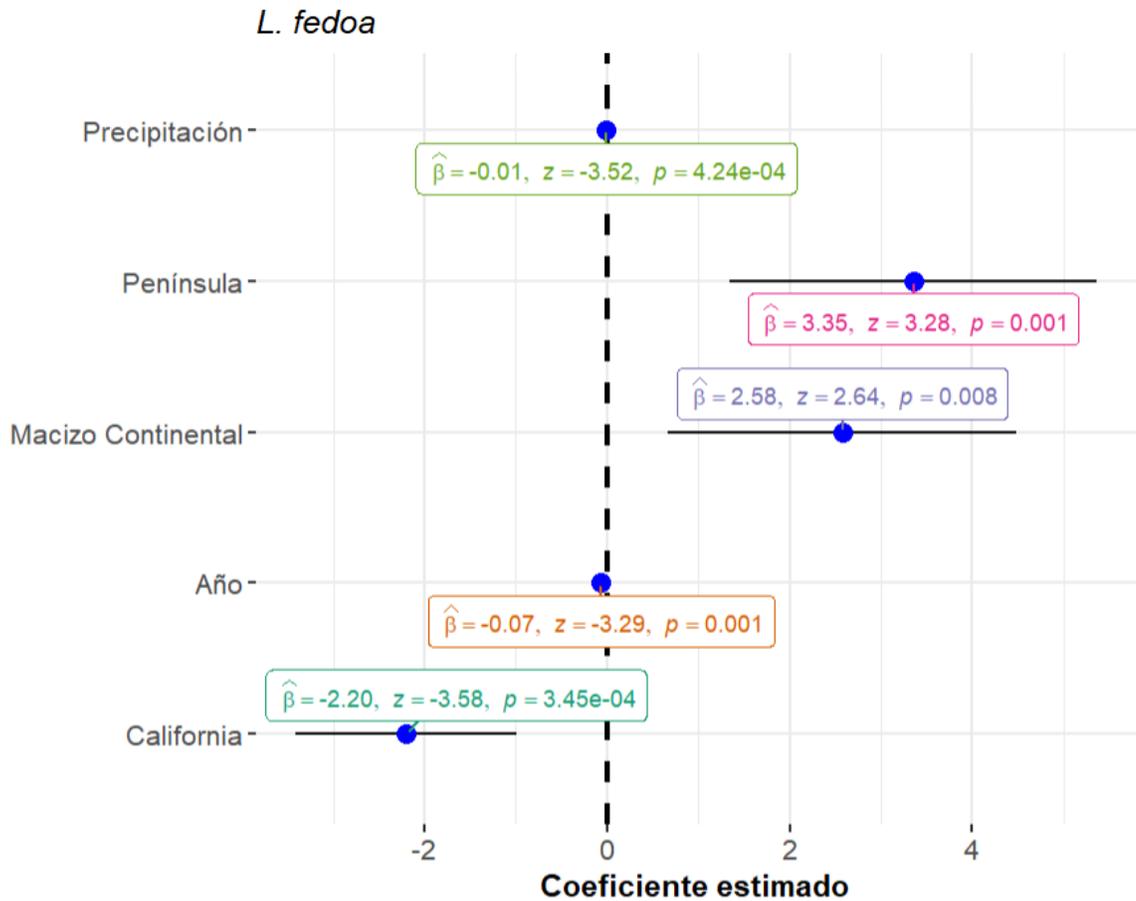


Figura 8. Coeficiente de variabilidad estimado por el GLMM final para la abundancia de *L. fedoa* respecto a los distintos predictores en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).

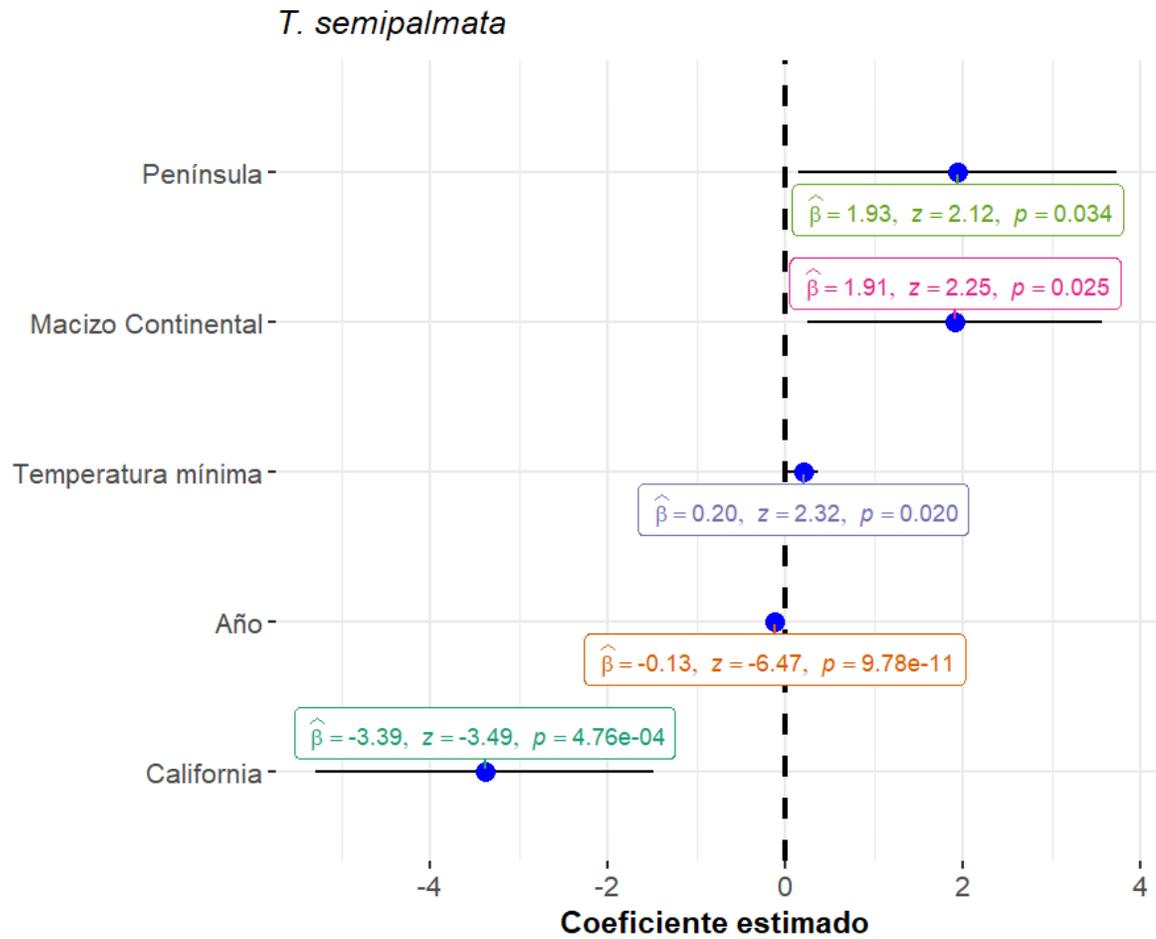


Figura 9. Coeficiente de variabilidad estimado por el GLMM final para la abundancia de *T. semipalmata* respecto a los distintos predictores en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).

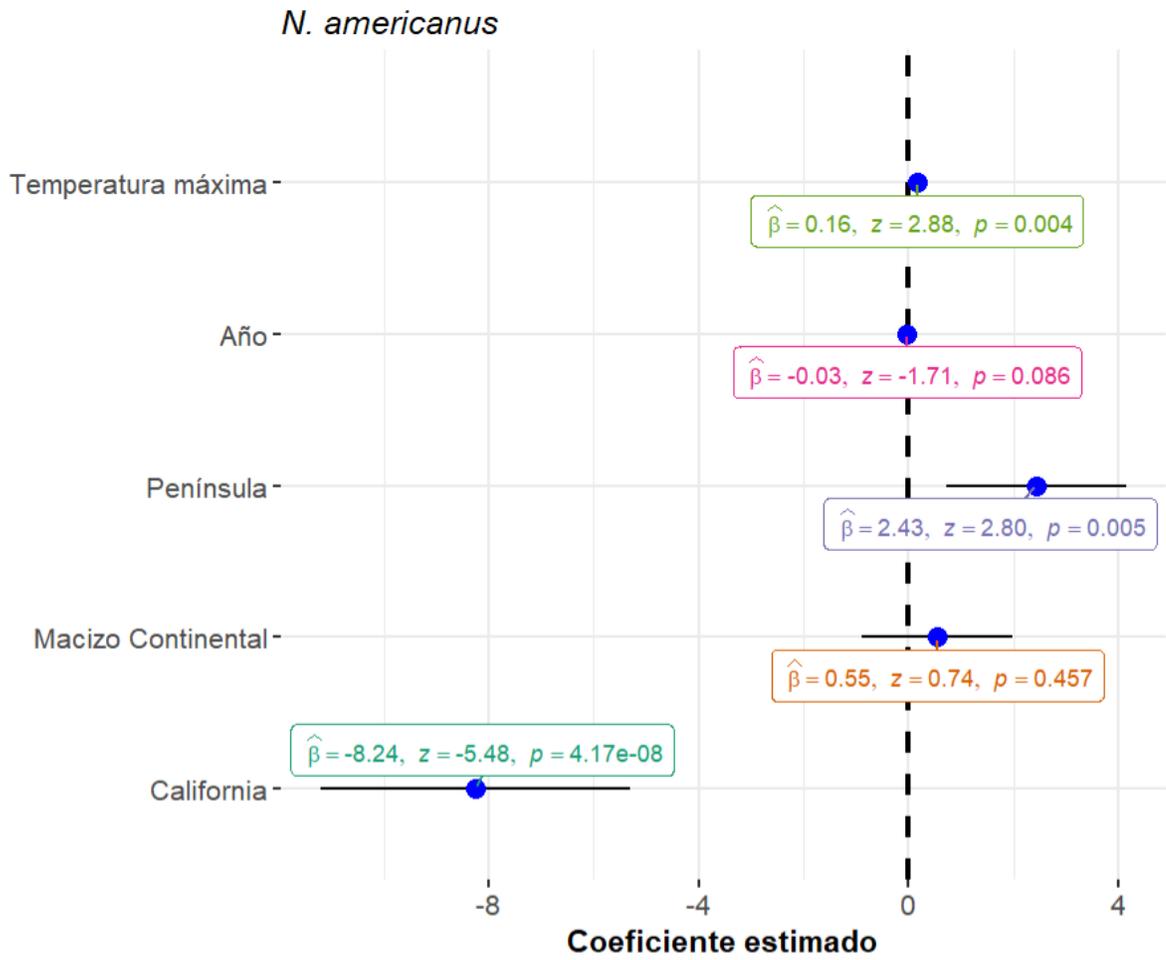


Figura 10. Coeficiente de variabilidad estimado por el modelo final para la abundancia de *N. americanus* respecto a los distintos predictores en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).

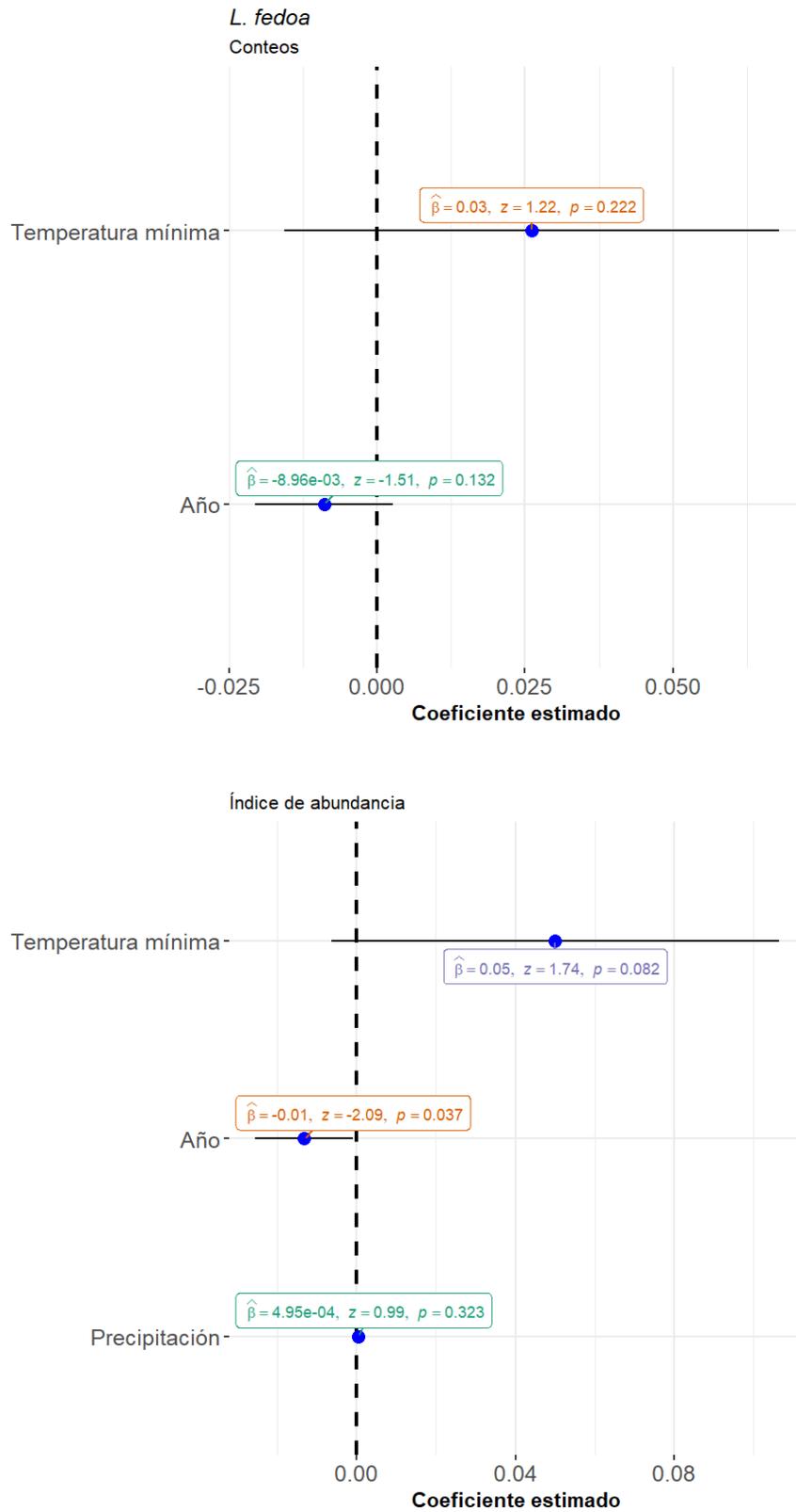


Figura 11. Coeficientes de variabilidad estimados por los modelos finales de los conteos y el índice de abundancia de *L. fedoa* respecto a los distintos predictores incluidos en cada modelo en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Cuento Navideño de Aves (CBC).

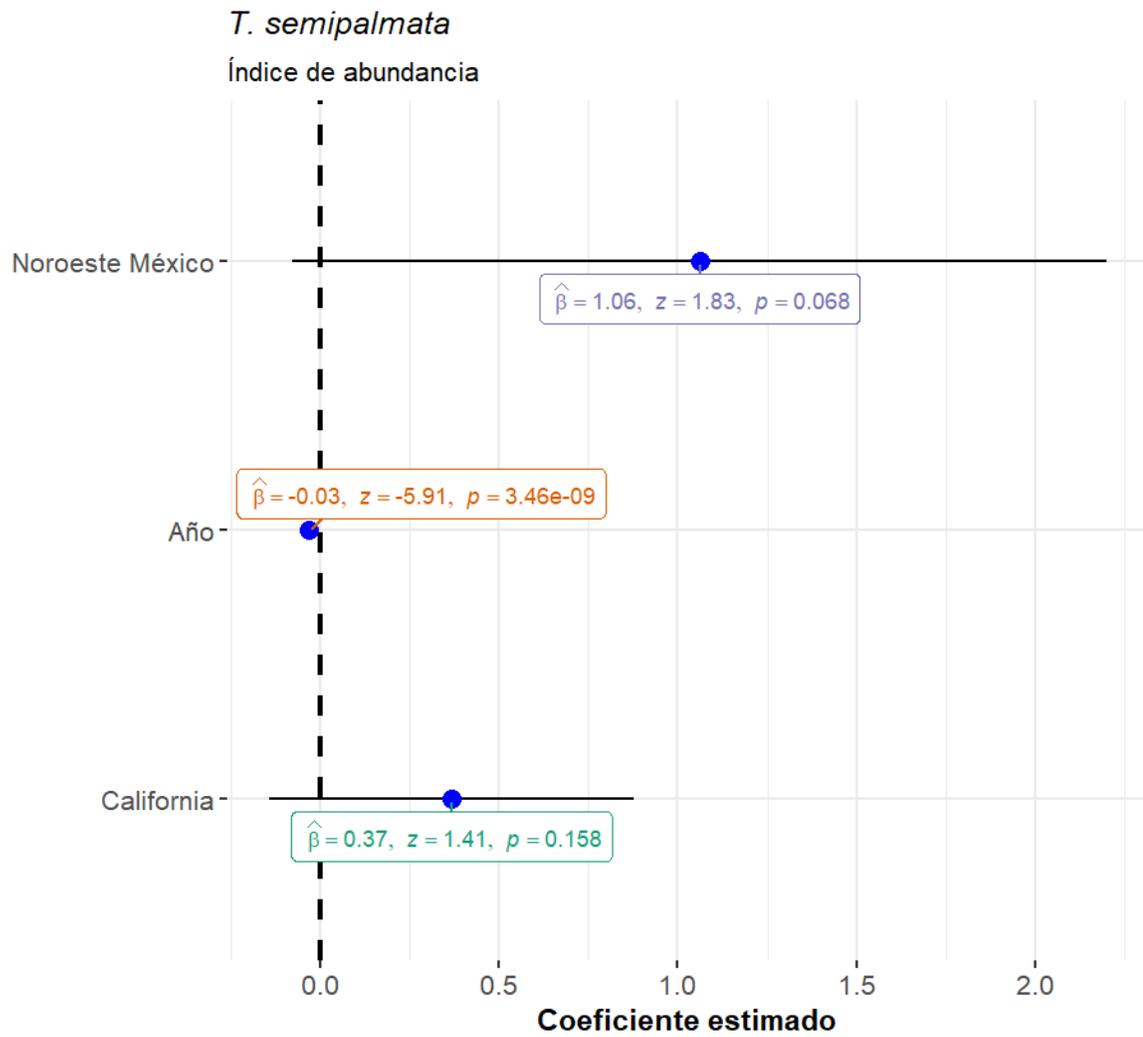


Figura 12. Coeficiente de variabilidad estimado por el GLMM final para la abundancia de *T. semipalmata* respecto a los distintos predictores en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Conteo Navideño de Aves (CBC).

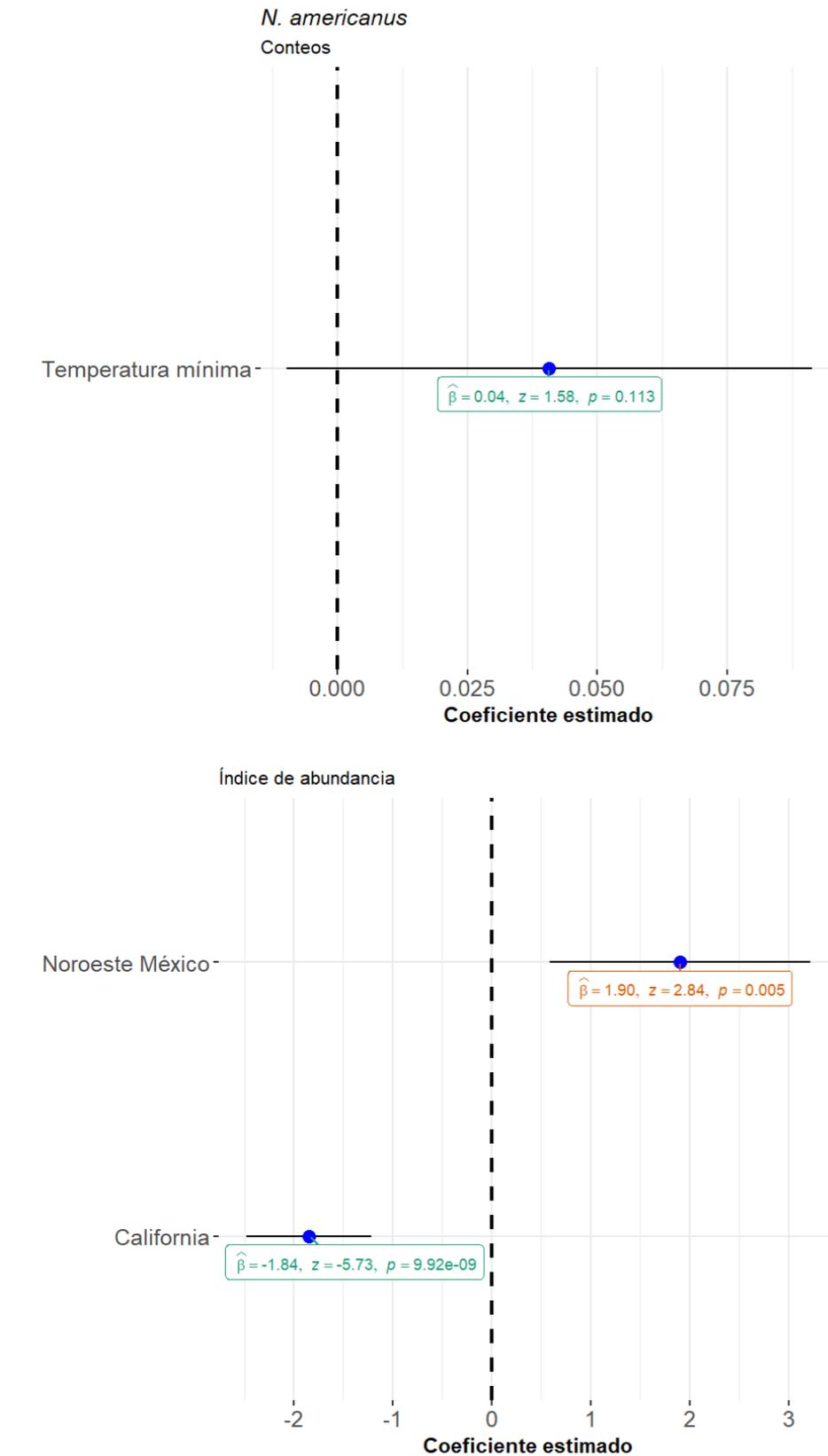


Figura 13. Coeficientes de variabilidad estimados por los modelos finales de los conteos y el índice de abundancia de *N. americanus* respecto a los distintos predictores incluidos en cada modelo en la costa oeste de Norteamérica. Datos del Cuento Navideño de Aves (CBC).

3.3 Discusión

Evaluamos la utilidad de dos protocolos de monitoreo a largo plazo, para determinar el estado de la población de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus* en su principal zona de invernada en la costa oeste de Norteamérica. Se estimó la tendencia poblacional de estas tres especies durante el invierno con datos obtenidos de estos dos protocolos de monitoreo de aves a largo plazo.

Nuestros resultados apoyaron la hipótesis alternativa de la existencia de tendencias poblacionales significativas en la zona de estudio para estas especies. Con datos de ambos protocolos de monitoreo encontramos que existe una tendencia negativa y significativa en la población de *L. fedoa* y *T. semipalmata* en su principal zona de invernada en Norteamérica, a mediano y largo plazo.

En toda la costa oeste de Norteamérica, California y el noroeste de México, con datos del CBC, la tendencia poblacional de *T. semipalmata* fue negativa y significativa a mediano y largo plazo. Encontramos que la magnitud de la disminución fue más pronunciada para esta especie, así como generalizada en las diferentes regiones y periodos. Con los datos de abundancia total del CBC, únicamente las tendencias estimadas para *T. semipalmata* resultaron negativas y significativas. Además, de acuerdo con el visor de tendencias del CBC, en California la tendencia de esta especie también es negativa y significativa. La semejanza de las tendencias estimadas para esta especie con ambos protocolos de monitoreo y en los diferentes periodos, pone en evidencia que la población invernante de *T. semipalmata* en su principal zona de invernada en Norteamérica ha disminuido. Es prioritario evaluar su categoría en la Norma Oficial Mexicana 059 en México e incluirla bajo la categoría de especie amenazada.

En el caso de *L. fedoa*, con datos del MSP y del índice de abundancia del CBC encontramos que, en la costa oeste de Norteamérica, en California y el noroeste de México su tendencia es negativa y significativa. En California, de acuerdo con el visor de tendencias del CBC, la tendencia de esta especie fue negativa, pero no significativa. Esta especie presentó una tendencia negativa y significativa en la PBC, lo que es relevante, puesto que en la PBC se encuentra el Complejo lagunar Ojo de Liebre- Guerrero Negro, donde inverte el 50% de la población de esta especie (Ayala-Pérez, 2010). Disminuciones en la población invernante de esta especie en la PBC, y particularmente en este complejo lagunar, podrían tener repercusiones a nivel poblacional. Es importante que se analice la información a una escala de la PBC, así como en el Complejo lagunar Ojo de Liebre-Guerrero Negro, con el fin de evaluar los cambios poblacionales en el sitio.

Para *N. americanus*, encontramos que su población invernante, presentaba una tendencia positiva y significativa en California y el noroeste de México a mediano plazo únicamente con datos del CBC, mientras que con las estimaciones obtenidas con el visor de tendencias en California su tendencia es negativa pero no significativa. Esta especie fue la única en presentar una tendencia positiva y significativa. Con datos del MSP no hubo evidencia de una disminución poblacional en ninguna de las regiones, lo que sugiere que la tendencia de la población de esta especie en el área de estudio es estable.

Los datos del CBC representan una oportunidad para estimar tendencias a largo plazo durante el invierno como se ha expresado, al tener un gran alcance, tanto espacial como temporal. Los conteos del CBC cuentan con círculos de conteo en la mayor parte del rango de distribución de las especies. Aunque en México y Latinoamérica su alcance aún es limitado, proporcionan información que permite tener un primer acercamiento al estado de las poblaciones de aves a largo plazo y complementa la información generada a partir de otros estudios en sus principales zonas de invernada.

En México, la información generada por el CBC ha sido poco utilizada para estimar tendencias de aves playeras (Fernández et al., 2010; Carmona et al., 2013). El presente trabajo, es el primer análisis que se realiza a una escala que incluyera la principal zona de invernada de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus*, englobando sitios tanto en EE. UU. como en el noroeste de México. Representa un marco general de análisis que puede ser utilizado para analizar las tendencias de otras especies de aves playeras, aunque existen algunas consideraciones que deben tomarse en cuenta y se discuten a continuación.

De acuerdo con Butcher (1990), al hacer uso de datos generados por medio del CBC: 1) existen problemas de identificación de las especies, ya que en muchas ocasiones los participantes no cuentan con la experiencia necesaria para la correcta identificación. No obstante, la identificación de las tres especies objeto de estudio no presentan mayor problema, al ser de las especies de mayor tamaño y ser comunes en los sitios del área de estudio; 2) existe un sesgo en la cobertura del hábitat de preferencia de las especies de interés. Para contrarrestar esto, se seleccionaron los círculos de conteo activos a lo largo de la costa, con la finalidad de que los hábitats preferidos en zonas costeras por estas tres especies (planicies intermareales, marismas mareales y playas arenosas) estuvieran representados en las áreas de conteo dentro de cada círculo; 3) existe un sesgo relacionado con el esfuerzo de búsqueda de aves que se invierte en los recuentos (número de observadores, tiempo y distancia recorrida), que varía sustancialmente año con año entre los lugares de conteo, así como dentro de los lugares de conteo. En este punto identificamos ciertas limitaciones con relación al sesgo por el esfuerzo invertido que se discuten a continuación.

Al utilizar los datos de abundancia total del CBC, solo para *T. semipalmata* se encontró una tendencia significativa. Sin embargo, cuando se utilizaron los datos del índice de abundancia se encontraron tendencias significativas para las tres especies. Lo anterior sugiere que para los datos del CBC, el hacer uso de la abundancia total, tiene sus limitantes porque no se estandariza el esfuerzo que se invierte en los conteos año con año. Butcher y colaboradores (2005) sostienen que el índice de abundancia aumenta las probabilidades de que los cambios en la población indicados por los datos de la CBC se deban a cambios reales en la población y no a cambios en el esfuerzo invertido. Dado esto, es recomendable que en futuros análisis se consideré únicamente el índice de abundancia.

Los GLMM son una de las herramientas estadísticas más ampliamente usadas para estimar tendencias poblacionales de aves a largo plazo (Cunningham, 2019; Barbaree et al., 2020; Warnock et al., 2021), y en el caso de los datos del CBC su uso permite precisar cómo la abundancia de cada una de las especies varía aleatoriamente entre círculos de conteo y años. Esto contrarresta las limitaciones antes discutidas, por lo que consideramos que las estimaciones de las tendencias de las tres especies, obtenidas a partir de los datos del índice de abundancia del CBC son válidas.

Dentro de las ventajas que se tiene al hacer uso de los GLMM, es que no es ignorada la variación intrínseca que presenta la abundancia de aves en cada uno de los sitios, y en cada una de las unidades de muestreo o círculos de conteo durante los censos. Además, proporciona coeficientes estimados que permite entender la magnitud y dirección de las asociaciones sobre la variable de respuesta.

Probablemente una de las limitaciones del uso de GLMM son el tener datos suficientes para la implementación de los mismos, ya que precisamente son utilizados para modelar datos anidados con estructuras de correlación espacial y temporal (Zuur et al., 2009). También es necesario tener réplicas suficientes en cada uno de los niveles (Reese y Skagen, 2017). En este sentido, los datos del MSP presentan una ventaja ante los datos del CBC, puesto que el diseño de muestreo es de tipo transversal con repeticiones, esto es, unidades de muestreo anidadas en varios sitios a lo largo de la costa.

Asimismo, en el protocolo de monitoreo del MSP, en cada uno de los sitios se establecen unidades de muestreo con distintos tamaños y hábitats diferentes, lo que también representa una ventaja, ya que proporciona otra fuente de variación que puede explicar los cambios en la abundancia de aves. En los GLMM ajustados a partir de los datos del MSP la variabilidad atribuida al tamaño de la unidad de muestreo fue la variable que explicó el mayor porcentaje de devianza y debe ser tomada en cuenta cuando se quieran hacer estimaciones de la abundancia de cualquier especie con estos datos. Esto es otra ventaja

de usar GLMM, que se puede controlar la variación en la abundancia por las diferencias en el tamaño de las unidades de muestreo en los sitios y entre ellos, ya que la complejidad de los parches de hábitats son diferentes en cada uno de los sitios (Reiter et al., 2020).

Se reconoce que existen mejores técnicas de análisis que los GLMM, como los modelos jerárquicos Bayesianos (Weiser et al., 2018; Meehan et al., 2021), puesto que tratan los parámetros de interés (por ejemplo, la tendencia) como efectos aleatorios e incluyen hiperparámetros para describir la probabilidad de distribución de los parámetros; la estructura jerárquica de este tipo de modelos refleja la estructura jerárquica de los datos y permite modelar los efectos a una escala adecuada, así como la variación del muestreo (Soykan et al., 2016). Es deseable que en futuros análisis se considere el hacer uso de este tipo de modelos.

Respecto a la distribución de la población invernante de cada una de las especies en la costa oeste de Norteamérica, con ambos protocolos de monitoreo encontramos que proporcionalmente la región de California presenta la menor abundancia de las tres especies por unidad de muestreo, con respecto al noroeste de México. Con datos del MSP, la PBC presenta una abundancia mayor con respecto a SSN.

El hecho de que California presente menores abundancias por unidad de muestreo que el resto de las regiones, puede estar relacionado con la pérdida de humedales que existe en la costa de California y los patrones de migración de estas especies. Por medio de transmisores satelitales, se determinó que las dos subpoblaciones de *L. fedoa* que migran por el centro de Norteamérica y el este de Canadá presentan una conectividad migratoria entre sus sitios de reproducción, de parada y de invernada (Olson et al., 2014). Se estableció que la subpoblación que se reproduce hacia el este, cruza el continente para invernar en SSN. La otra subpoblación, que se reproduce en el centro del continente, hace escala en el complejo de humedales del Gran Lago Salado en EE. UU. y utilizan una ruta terrestre a través del suroeste de este país para llegar a sus sitios de invernada en México en lugar de migrar por la costa de California, EE. UU.

Históricamente, California ha sido una región importante durante el invierno para distintas especies de aves playeras, especialmente hacia los complejos de humedales del centro-sur. En años recientes, la presencia de zonas urbanas e industriales se ha incrementado en esta región, puesto que concentra la mayor parte de la población humana de California (Griggs et al., 2005). Los cambios en el uso del suelo incluyen zonas habitacionales, de ocio, turismo, agricultura y pastoreo, los cuales han provocado una reducción y pérdida de hábitat para las aves playeras (Wiken et al., 2011). El hábitat de invernada en los humedales de California ha disminuido en un 90%, especialmente en la Bahía de San Francisco (Griffith et

al., 2016). Las afectaciones en sitios como la Bahía de San Francisco, pueden representar consecuencias que se ven reflejadas en la distribución y abundancia de las aves playeras en la región, como las reportadas en el presente estudio. Especialmente para *T. semipalmata*, dada la importancia de la Bahía de San Francisco para esta especie.

Durante 1998 y 1999, Haig y colaboradores (2002) anillaron y marcaron con radiotransmisores individuos y polluelos de *T. semipalmata* en tres complejos de humedales del oeste de la Gran Cuenca en Nevada, EE. UU. Se determinó que, tras 12 semanas de permanecer en sus sitios de reproducción, los adultos marcados abandonaron la Gran Cuenca hacia sitios costeros o estuarinos de la Bahía de San Francisco. En este sitio permanecían en una parte localizada (1000 m o menos) de siete a nueve meses del año, moviéndose poco entre sitios costeros de California.

Aunado a los factores antropogénicos ya mencionados que afectan la costa de California, los problemas de erosión en esta región han provocado la pérdida de playas arenosas, que podría reducir el número de áreas de forrajeo para las aves playeras (Griggs et al., 2005; Baker et al., 2004). Esto también podría estar relacionado con las menores abundancias por unidad de muestreo encontradas en esta región en relación con el noroeste de México.

La proporción en la abundancia de las tres especies por unidad de muestreo fue mayor en la PBC, lo que sugiere que la congregación de individuos en esta región es mayor. Esta región se caracteriza por contar con zonas con una batimetría somera, que son de suma relevancia para las aves playeras cuando se alimentan (Ortiz Pérez et al., 2006). Humedales como el complejo Lagunar Ojo de Liebre – Guerrero Negro, la laguna San Ignacio y la Bahía de San Quintín son sitios cruciales para *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus*.

Estos humedales se caracterizan por presentar una alta productividad secundaria, debido al constante aporte de nutrientes por la alta actividad de surgencias que provoca la Corriente de California. No obstante, esta corriente está influenciada por eventos como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) asociados a incrementos de temperatura superficial del mar (SST) y a decrementos de clorofila (Chl). Por su parte, eventos con SST anómalamente bajas (La Niña) pueden tener el efecto opuesto, con valores relativamente altos de Chl (Ortiz-Ahumada et al., 2019). Los eventos de El Niño también se han relacionado con elevadas condiciones de inundaciones y alta energía de las olas a lo largo de la costa del Pacífico, especialmente en el invierno, que afectan la hidrología estuarina (Goodman et al., 2018) y con ello el alimento de las aves

playeras, ya que el aporte de nutrientes y la abundancia y biomasa del macrobentos en las zonas costeras está relacionado (Josefson et al., 1993).

En 2015 se presentó un evento del El Niño que fue clasificado como uno de los tres principales desde 1950 (Hoell et al., 2016), y que sucedió a la par de un incremento sin precedentes en la temperatura del mar en el noreste del Océano Pacífico de 2013 a 2016 (Jiménez-Quiroz et al., 2019). Lo anterior fue el resultado de la sucesión de una gran masa de agua relativamente cálida que se originó durante el invierno frente a la costa de Norteamérica, y que modificó la temperatura atmosférica y marina desde Alaska hasta Baja California, denominada “The Blob”, y que resurgió en el verano de 2019 como “The Blob 2.0” (Bond et al., 2015; Tseng et al., 2017; Gonzales et al., 2019).

Las aguas calientes del “blob” fueron pobres en nutrientes y afectaron la vida marina de una forma adversa. Aunque el evento se presentó desde 2014, las anomalías positivas en la SST mostraron su presencia mucho más claramente en 2015 con valores de hasta 3 °C. En 2014 no se presentó un El Niño, pero la SST fue alta y la Chl satelital fue baja por efecto del “warm blob” (Ortiz-Ahumada et al., 2019).

Lo antes discutido sugiere que la región de SSN podría ser un refugio ante condiciones adversas que se presenten en la costa oeste de la península. Esta región también es importante para *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus*, gracias a la presencia de humedales como el Estero de Santa Cruz, la Bahía de Agiabampo en Sonora y Ensenada Pabellones en Sinaloa.

Es trascendental que se identifiquen los humedales claves para estas especies en SSN, con el fin de enfocar los esfuerzos de conservación en estos sitios, ya que los humedales a lo largo de las costas de esta región se ven afectados por diferentes actividades antropogénicas como la camaronicultura, la agricultura, la ganadería, la creación de embalses y regulación de ríos, las explotaciones forestales y las actividades pesqueras (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2000). En Sonora, la apertura de los distritos de riego para la agricultura, aceleró el crecimiento demográfico y han conducido a un incremento en las actividades ganaderas, la explotación de los acuíferos subterráneos y la salinización de la tierra que han afectado los humedales de la región (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2000). Aunado a esto, en las últimas décadas, la camaronicultura ha incrementado el desarrollo de granjas de camarón, contribuyendo con la degradación y desaparición de humedales en la región (Landgrave y Moreno-Casasola, 2012).

Referente a las regiones analizadas en el presente estudio, se sugiere que en futuros trabajos se agrupen los datos por Regiones de Conservación de Aves (BCR), que son regiones ecológicamente distintas en

Norteamérica, con comunidades de aves, hábitats y problemas de gestión de recursos similares (NABCI, 2021). Las BCR se basan en un marco jerárquico con unidades ecológicas anidadas, que permite realizar análisis a diferentes resoluciones espaciales y facilitan la cooperación nacional e internacional en la conservación de aves porque estas áreas de hábitats relativamente homogéneos y comunidades de aves atraviesan fronteras estatales, provinciales y nacionales (NABCI, 2021).

Nuestros resultados también apoyan la hipótesis referente a la existencia de asociaciones entre la abundancia de cada una de las especies y variables ambientales. Encontramos que existen diferentes mecanismos que pueden explicar las asociaciones encontradas, como la variación en los niveles de inundación en los humedales, provocados por incrementos en la precipitación, que se asocian con la dinámica de sedimentación de los humedales y la disponibilidad de presas para las aves playeras.

Se identificó que, en la costa oeste de Norteamérica, la abundancia de *L. fedoa* se asocia de manera negativa y significativa con la precipitación. Conforme la precipitación aumente, la abundancia de esta especie disminuirá. Las aves playeras dependen de hábitat expuesto para su alimentación, y su abundancia está relacionada con la abundancia y disponibilidad de presas de invertebrados, que a su vez están inversamente asociadas con las precipitaciones y la dinámica de sedimentos (Page y Stenzel, 1975; Goss-Custard, 1985; Nordby y Zedler, 1991).

La sedimentación es una fuerza estructurante importante en los conjuntos macrobentónicos estuarinos intermareales, alteraciones físicas de los sedimentos son una característica común de los entornos costeros debido a su relativa poca profundidad y a los aportes de energía física asociados a las mareas, las olas, las tormentas y las corrientes (Anderson et al., 2004). Estas alteraciones provocan que los organismos residentes se enfrenten a eventos de erosión, transporte y depósito de sedimentos en diferentes escalas de tiempo, lo que afecta la actividad y disponibilidad de las presas de las aves playeras (Grant, 1984; Hinchey et al., 2006; Albanese et al., 2012).

Además, fuertes precipitaciones podrían influir o diluir las condiciones de los nutrientes e inducir a algunos invertebrados a migrar hacia el borde de la marisma, y reducir la disponibilidad de presas infaunales como parte de cambios en la dinámica de sedimentación (Maltby y Barker, 2009). Cambios en la disponibilidad y calidad del alimento de las aves playeras influye en el uso de los sitios, que en última instancia, podría contribuir a cambios a nivel poblacional (Canham et al., 2021).

Para *T. semipalmata*, encontramos que la temperatura mínima presentó una asociación positiva y significativa con su abundancia, y sugiere que las aves de esta especie prefieren sitios más cálidos en el invierno. Esta asociación podría estar relacionada también con la abundancia de presas para las aves playeras. La temperatura afecta la tasa de procesos metabólicos, que afectan la productividad (Calver et al., 2009). La producción de las comunidades de invertebrados en estuarios y lagunas costeras en latitudes templadas y subtropicales se correlaciona positivamente con la temperatura media anual del ambiente; condiciones climáticas templadas y la ausencia de temperaturas extremas, especialmente temperaturas frías, podrían permitir la reproducción prolongada de invertebrados y un suministro continuo de alimento para su mantenimiento (Kalejta y Hockey, 1991).

Otra explicación a esta asociación, podría estar relacionada con la capacidad de las aves playeras de regular su masa corporal de una manera que equilibre los riesgos de depredación y hambre para minimizar la mortalidad (Kelly y Weathers, 2002), y el ahorro energético de la regulación térmica de las aves en temperaturas cálidas. El no tener la necesidad de contrarrestar la pérdida de calor a través de la termorregulación, representa un ahorro energético para las aves (François Vézina et al., 2007). Incrementar su masa corporal de manera excesiva conlleva costos adicionales; requiere un mayor tiempo de alimentación, lo que incrementa la exposición a los depredadores y aumenta la carga e inercia de las alas, que reduce la capacidad del ave para evadir amenazas ágilmente (Kelly y Weathers, 2002).

De acuerdo con diversos autores, las aves playeras prefieren sitios con temperaturas mínimas más altas. Vézina y colaboradores (2011) realizaron un experimento con individuos de *Calidris canutus* en cautiverio, en los cuales mantuvieron a las aves bajo tres regímenes térmicos: frío constante (5 ° C), termo-neutralidad constante (25 ° C) y variación estacional natural entre ambos extremos (9–22 ° C). Cada mes midieron distintas variables relacionadas con la resistencia de las aves al frío y el mantenimiento fisiológico. Determinaron que las aves que enfrentaron condiciones frías se alimentaron hasta un 25% más que las aves en condiciones termo-neutrales, lo que se relaciona a un aumento en la masa corporal de los individuos, para mejorar la resistencia al frío. Mascher (1966) también encontró una tendencia hacia la pérdida de masa en el *Calidris alpina* asociada con una temperatura diaria más baja.

Para la abundancia de *N. americanus* se determinó que existe una asociación positiva con la temperatura máxima. De acuerdo con Canham y colaboradores (2021), las temperaturas del aire más cálidas se correlacionan con una alta abundancia de aves playeras, que también podría estar relacionada con lo antes discutido.

A escalas temporales más amplias, incrementos en la temperatura en zonas de transición tropical-templada como el noroeste de México podrían relacionarse con procesos de tropicalización. En escenarios futuros, de acuerdo con Osland y colaboradores (2021), en América del Norte se espera que la disminución de la frecuencia e intensidad de los fríos invernales extremos permita la expansión hacia los polos de muchos organismos. En el hemisferio norte se espera que los rangos geográficos de las aves y otros organismos se muevan hacia el norte a medida que el clima se vuelve más cálido (Erickson et al., 2018). Pero un escenario de calentamiento climático rápido también implicaría grandes contracciones del rango de distribución y un mayor riesgo de extinción en casos extremos (Spooner et al., 2018).

Capítulo 4. Conclusiones

- Existe una tendencia negativa en la población invernante de *L. fedoa* y *T. semipalmata* en la costa oeste de Norteamérica, y de manera regional tanto en California como en la PBC, lo que sugiere disminuciones poblacionales a lo largo de sus principales sitios de invernada en la costa oeste de Norteamérica. Es necesario impulsar medidas de conservación y manejo para revertir estas tendencias y asegurar la permanencia de las especies a largo plazo.
- El presente estudio corrobora que, en la PBC la proporción de individuos de *L. fedoa*, *T. semipalmata* y *N. americanus* por unidad de muestreo es mayor que en California y SSN. No obstante, el disturbio humano que existe en los humedales de la PBC puede tener un impacto en la calidad de las zonas de alimentación y descanso de las aves, que en consecuencia puede afectar la abundancia invernal de estas especies en la región.
- El incremento en la precipitación está relacionado con una disminución en la abundancia de *L. fedoa* en la costa oeste de Norteamérica. Mientras que el incremento en la temperatura mínima y máxima está relacionado con un incremento en la abundancia de *T. semipalmata* y *N. americanus* respectivamente. Los cambios en las condiciones ambientales durante el invierno provocados por eventos anómalos extremos, son comparables con los que se esperan en la mitad de este siglo como consecuencia del cambio climático, podrían tener repercusiones en la disponibilidad de alimento de las aves playeras.
- Los datos de ambos protocolos de monitoreo permiten examinar tendencias poblacionales de aves playeras. Resulta útil hacer uso de ambos para contrastar la similitud o discrepancia de resultados e identificar aquellas especies con problemas poblacionales en escalas temporales y espaciales más amplias. Estos datos proporcionan información base para futuros análisis sobre el estado de las poblaciones de aves playeras en la costa oeste de Norteamérica, además de que respaldan la toma de decisiones para asegurar su conservación.
- El protocolo de monitoreo del MSP permite modelar múltiples fuentes de variación relacionadas con los muestreos, como el tamaño de las unidades de muestreo. Consideramos que los datos recopilados en el MSP proporcionan resultados más confiables, al contar con un mayor número de réplicas sujetas a la misma fuente de variabilidad, lo que permite detectar efectos más pequeños, como las asociaciones entre la abundancia de aves playeras y variables ambientales.

- Nuestro estudio resalta la importancia y utilidad de los estudios de aves playeras a largo plazo, ya que genera información del estado de las poblaciones de aves playeras y su respuesta ante cambios de origen natural y antropogénico.

4.1 Recomendaciones

- Se recomienda complementar los resultados de las tendencias de la población invernante de *T. semipalmata* y *L. fedoa* con estudios como el Conteo de Aves en Reproducción, para evaluar el estado de sus poblaciones durante la temporada reproductora.
- Se recomienda evaluar las categorías de riesgo de la NOM-059, particularmente para *T. semipalmata* en México. Implementar alguna herramienta de conservación, como el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres en México (MER), con el fin de incluir a esta especie en alguna de las categorías de riesgo, dadas las evidencias de la tendencia negativa de su población invernante.
- Es recomendable hacer un análisis específico para la PBC, con el fin de determinar los sitios donde se presentan las mayores abundancias de cada una de las especies, y estudiar las posibles amenazas y acciones de conservación que pudieran llevarse a cabo en ellos.
- Se sugiere que en futuros trabajos los datos a analizar se agrupen por Regiones de Conservación de Aves (BCR).
- Se recomienda ampliar el uso de variables ambientales, como las anomalías de cada una de las variables utilizadas, para identificar si las posibles disminuciones están asociadas con anomalías positivas o negativas. Se sugiere el incluir también la temperatura superficial del mar dadas las anomalías térmicas que se han presentado en la costa oeste de Norteamérica en los últimos años, y que están relacionadas con la temperatura ambiental y precipitaciones. Respecto a los censos del MSP, se recomienda ampliar la toma de datos ambientales y considerar el registro de la temperatura *in situ* en los monitoreos que se llevan a cabo cada año.
- Es recomendable que, para los CBC en México, se sigan realizando los censos en los círculos existentes y se promueva la aplicación del protocolo con el fin de ampliar la información generada.

Literatura citada

- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), pp. 716–723.
- Anderson, M. J., Ford, R. B., Feary, D. A. y Honeywill, C. 2004. Quantitative measures of sedimentation in an estuarine system and its relationship with intertidal soft-sediment infauna. *Marine Ecology Progress Series, Inter-Research*, 272, pp. 33–48. doi:10.3354/MEPS272033
- Arizmendi, M. y Márquez-Valdemar, L. 2000. Áreas de importancia para la conservación de las aves en México (AICAS). Sección Mexicana del consejo Internacional para la preservación de las Aves A. C. (CIPAMEX)/ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)/ Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), pp. 157 .
- AVIBASE. 2021. Avibase - The world bird database. Consultado el 12 de agosto de 2021, de <https://avibase.bsc-eoc.org/citations.jsp>
- Ayala-Pérez, V. O. 2010. Patrones de uso durante la época no reproductiva de *Limosa fedoa* (Aves: scolopacidae), en Guerrero Negro, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas 96 pp.
- Baker, A. J., Gonzalez, P. M., Piersma, T., Niles, L. J., de Lima Serrano do Nascimento, I., Atkinson, P. W., Clark, N. A., Minton, C. D. T., Peck, M. K. y Aarts, G. 2004. Rapid population decline in red knots: fitness consequences of decreased refuelling rates and late arrival in Delaware Bay. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, The Royal Society, 271(1541), pp. 875–882.
- BirdLife International. 2021. Country profile: México. Consultado el 7 de julio de 2021, de <http://datazone.birdlife.org/site/mapsearch>
- Bock, C. E. y Root, T. L. 1981. The Christmas Bird Count and Avian Ecology. *Studies in Avian Biology*, 6, pp. 17–23.
- Bolker, B. M., Brooks, M. E., Clark, C. J., Geange, S. W., Poulsen, J. R., Stevens, M. H. H. y White, J. S. S. 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(3), pp. 127–135. doi:10.1016/j.tree.2008.10.008
- Bond, N. A., Cronin, M. F., Freeland, H. y Mantua, N. 2015. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific. *Geophysical Research Letters*, John Wiley & Sons, Ltd, 42(9), pp. 3414–3420. doi:10.1002/2015GL063306
- Brabata-Domínguez, G. 2011. Estructura y función de las asociaciones de aves en ambientes costeros e insulares de Bahía de La Paz. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 193 pp.
- Bradley, C. M. y Colodner, D. 2020. The Sonoran Desert. *Encyclopedia of the World's Biomes*. Elsevier, Vols. 2–5. pp. 110–125 . doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.11939-6

- Búrquez, A. y Martínez-Yrizar, A. 2000. El desarrollo económico y la conservación de los recursos naturales. *Sonora Agenda*, pp. 267–333.
- Butcher, G. S. 1990. Audubon Christmas bird counts. en J. R. Sauer y S. Droege, eds. *Survey designs and statistical methods for the estimation of avian population trends*. U.S. Fish and Wildlife Serv., Biol. Rep. 90(1), pp. 5–13 .
- Butcher, G. S. y McCulloch, C. E. 1990. Influence of observer effort on the number of individual birds recorded on Christmas bird counts. en *Survey designs and statistical methods for the estimation of avian population trends*. (eds Sauer J. R. y Droege S.), U. S. Fish Wildl. Serv., Biol. Rep. 90(1).
- Butcher, G. S., Niven, D. K. y Sauer, J. R. 2005. Using Christmas Bird Count data to assess population dynamics and trends of waterbirds. *American Birds*, 59(105th Christmas Bird), pp. 23–25.
- California Coastal Commission. 2012. Procedural Guidance For Evaluating Wetland Mitigation Projects In California's Coastal Zone: General Procedures for Evaluating the Performance of Wetland Mitigation Projects (Número 08/09/2000). <https://www.coastal.ca.gov/wetrev/wetch4.html>
- Calver, M., Lymbery, A., McComb, J., Bamford, M. y Cale, B. 2009. *Environmental biology*. Cambridge University Press.
- Canham, R., Flemming, S. A., Hope, D. D. y Drever, M. C. 2021. Sandpipers go with the flow: Correlations between estuarine conditions and shorebird abundance at an important stopover on the Pacific Flyway. *Ecology and Evolution*, John Wiley & Sons, Ltd, 11(6), pp. 2828–2841. doi:10.1002/ECE3.7240
- Carmona, R. 1995. Distribución temporal de aves acuáticas en la playa El Conchalito, Ensenada de La Paz, B.C.S. *Investigaciones marinas CICIMAR*, 10, pp. 1–21.
- Carmona, R., Álvarez, C. A., Cuéllar-Brito, A. y Zamora-Orozco, M. 2003. Uso estacional de dos áreas, marina y dulceacuícola, por aves playeras en función al nivel de marea, en Baja California Sur, México. *Ornitología Neotropical*, 14, pp. 201–214.
- Carmona, R., Arce, N., Ayala-Perez, V., Hernández-Alvarez, A., Buchanan, J. B., Salzer, L. J., Tomkovich, P. S., Johnson, J. A., Gill Jr, R. E. y McCaffery, B. J. 2013. Red Knot *Calidris canutus roselaari* migration connectivity, abundance and non-breeding distribution along the Pacific coast of the Americas. *Wader Study Group Bulletin*, 120(3), pp. 168–180.
- Cayuela, L. 2010. Modelos lineales generalizados (GLM). *EcoLab*. Centro Andaluz de Medio Ambiente. Universidad de Granada, Junta de Andalucía. Granada. 58 p.
- CCA. 1997. *Regiones ecológicas de América del Norte: hacia una perspectiva común*. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, Montreal.
- CEC. 1997. *Ecological regions of North America: toward a common perspective*. Commission for Environmental Cooperation. <http://www3.cec.org/islandora/en/item/1701-ecological-regions-north-america-toward-common-perspective/>

- Cornell Lab of Ornithology. 2019. All About Birds. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. Consultado el 9 de agosto de 2021, de <https://www.allaboutbirds.org>
- Dark-Smiley, D. N. y Keinath, D. A. 2004. Species assessment for long-billed curlew (*Numenius americanus*) in Wyoming.
- Dugger, B. D. y Dugger, K. M. 2020. Long-billed Curlew (*Numenius americanus*), version 1.0. Birds of the World, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. doi:10.2173/BOW.LOBCUR.01
- Dunn, E. H., Francis, C. M., Blanche, P. J., Drennan, S. R., Howe, M. A., Lepage, D., Robbins, C. S., Rosenberg, K. V., Sauer, J. R. y Smith, K. G. 2005. Enhancing the scientific value of the Christmas Bird Count. *Auk*. American Ornithological Society, Vol. 122. Número 1. pp. 338–346 . doi:10.1642/0004-8038(2005)122[0338:ETSVOT]2.0.CO;2
- Erickson, R. A., Garrett, K. L., Palacios, E., Rottenbord, S. C. y Unitt, P. 2018. Joseph Grinnell meets eBird: Climate change and 100 years of latitudinal movement in the avifauna of the Californias. *Trends and Traditions: Avifaunal Change in Western North America*. Western Field Ornithologists, pp. 12–49 . doi:10.21199/swb3.1
- Fenn, M., Allen, E. y Geiser, L. 1997. Mediterranean California. *Nrs.Fs.Fed.Us*, pp. 143–169. <http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr-nrs-80chapters/13-fenn.pdf>
- Fernández, G., Buchanan, J. B., Gill Jr, R. E., Lanctot, R. y Warnock, N. 2010. Conservation plan for Dunlin with breeding populations in North America. *Calidris alpina arctica*, C. a. *pacifica*.
- Ferren, W. R., Fiedler, P. L. y Leidy, R. A. 1996. Wetlands of California, Part I: History of Wetland Habitat Classification. Source: Madroño, 43(1), pp. 105–124. <http://www.jstor.org/stable/41425128>
<http://www.jstor.org/stable/41425128>
- Gibson, D. D. y Kessel, B. 1989. Geographic Variation in the Marbled Godwit and Description of an Alaska Subspecies. *The Condor*, Oxford Academic, 91(2), pp. 436–443. doi:10.2307/1368322
- Gonzales, K. R., Swain, D. L., Nardi, K. M., Barnes, E. A. y Duffenbaugh, N. S. 2019. Recent Warming of Landfalling Atmospheric Rivers Along the West Coast of the United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, John Wiley & Sons, Ltd, 124(13), pp. 6810–6826. doi:10.1029/2018JD029860
- González-Abraham, C. E., Garcillán, P. P., Ezcurra, E. y Trabajo de Ecorregiones, G. de T. de E. 2010. Ecorregiones de la península de Baja California: Una síntesis. *Botanical Sciences*, 87, p. 69. doi:10.17129/botsci.302
- Goss-Custard, J. D. 1985. Foraging behaviour of wading birds and the carrying capacity of estuaries. *Behavioural Ecology: Ecological Consequences of Adaptive Behaviour*. Sibly RM & Smith RH, pp. 169–188.

- Grant, J. 1984. Sediment microtopography and shorebird foraging. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 19(3), pp. 293–296.
- Gratto-Trevor, C. L. 2020. Marbled Godwit (*Limosa fedoa*), version 1.0. In *Birds of the World* (A. F. Poole and F. B. Gill, Editors). <https://birdsoftheworld.org/bow/species/margod/cur/introduction>
- Griffith, G. E., Omernik, J. M., Smith, D. W., Cook, T. D., Tallyn, E. D., Moseley, K. y Johnson, C. B. 2016. Ecoregions of California. US Geological Survey Open-File Report, 1021.
- Griggs, G., Patsch, K. y Savoy, L. 2005. Living with the changing California Coast. *Living with the Changing California Coast*. University of California Press. doi:10.5860/choice.43-4678
- Haig, S. M., Oring, L. W., Sanzenbacher, P. M. y Taft, O. W. 2002. Space Use, Migratory Connectivity, and Population Segregation Among Willets Breeding in The western Great Basin. *The Condor*, Oxford University Press, 104(3), pp. 620–630.
- Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P. y Lister, D. 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, Nature Research, 7(1). doi:10.1038/s41597-020-0453-3
- Hinchey, E. K., Schaffner, L. C., Hoar, C. C., Vogt, B. W. y Batte, L. P. 2006. Responses of Estuarine Benthic Invertebrates to Sediment Burial: The Importance of Mobility and Adaptation. *Hydrobiologia* 2006 556:1, Springer, 556(1), pp. 85–98. doi:10.1007/S10750-005-1029-0
- Hoell, A., Hoerling, M., Eischeid, J., Wolter, K., Dole, R., Perlwitz, J., Xu, T. y Cheng, L. 2016. Does El Niño intensity matter for California precipitation? *Geophysical Research Letters*, John Wiley & Sons, Ltd, 43(2), pp. 819–825. doi:10.1002/2015GL067102
- Howes, J. y Bakewell, D. 1989. *Shorebird Studies Manual*. Shorebirds Studies Manual. Asian Wetland Bureau Publication No. 55, Kuala Lumpur, 362 p.
- IUCN. 2021. Red List of Threatened Species. Consultado el 13 de agosto de 2021, de <https://www.iucnredlist.org/about/citationinfo>
- Jiménez-Quiroz, M. del C., Cervantes-Duarte, R., Funes-Rodríguez, R., Barón-Campis, S. A., García-Romero, F. de J., Hernández-Trujillo, S., Hernández-Becerril, D. U., González-Armas, R., Martell-Dubois, R., Cerdeira-Estrada, S., Fernández-Méndez, J. I., González-Ania, L. V., Vásquez-Ortiz, M. y Barrón-Barraza, F. J. 2019. Impact of “The Blob” and “El Niño” in the SW Baja California Peninsula: Plankton and environmental variability of Bahía Magdalena. *Frontiers in Marine Science*, Frontiers Media S.A., 6(FEB), p. 25. doi:10.3389/fmars.2019.00025
- Josefson, A. B., Jensen, J. N. y Ærtebjerg, G. 1993. The benthos community structure anomaly in the late 1970s and early 1980s - a result of a major food pulse? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Elsevier, 172(1–2), 31–45. doi:10.1016/0022-0981(93)90087-5
- Kalejta, B. y Hockey, P. A. R. 1991. Distribution, abundance and productivity of benthic invertebrates at the Berg River estuary, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Academic Press, 33(2),

175–191. doi:10.1016/0272-7714(91)90005-V

- Kelly, J. P. y Weathers, W. W. 2002. Effects of feeding time constraints on body mass regulation and energy expenditure in wintering dunlin (*Calidris alpina*). *Behavioral Ecology*, 13(6), 766–775. doi:10.1093/beheco/13.6.766
- Koleček, J., Reif, J., Šálek, M., Hanzelka, J., Sottas, C. y Kubelka, V. 2021. Global population trends in shorebirds: migratory behaviour makes species at risk. *Science of Nature*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 108(2), pp. 1–8. doi:10.1007/s00114-021-01717-1
- Landgrave, R. y Moreno-Casasola, P. 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 4(1).
- Link, W. A., Sauer, J. R. y Niven, D. K. 2006. A hierarchical model for regional analysis of population change using Christmas Bird Count data, with application to the American Black Duck. *Condor*, 108(1), pp. 13–24. doi:10.1650/0010-5422(2006)108[0013:AHMFRA]2.0.CO;2
- Magnusson, A., Skaug, H., Nielsen, A., Berg, C., Kristensen, K., Maechler, M., van Bentham, K., Bolker, B., Brooks, M. y Brooks, M. M. 2017. Package 'glmmTMB'. R Package Version 0.2. 0.
- Maltby, E. y Barker, T. 2009. *The Wetlands Handbook*, 2 Volume Set. John Wiley & Sons.
- Mascher, J. W. 1966. Weight Variations in Resting Dunlins (*Calidris A. Alpina*) on Autumn Migration in Sweden (Ledsjär Bird Station Report No. 5). *Bird-Banding*, 37(1), p. 1. doi:10.2307/4511230
- Massey, B. W. y Palacios, E. 1994. Avifauna of the wetlands of Baja California, Mexico: current status. *Studies in Avian Biology*, 15, pp. 45–57.
- Meehan, T. D., LeBaron, G. S., Dale, K., Michel, N. L., Verutes, G. M. y Langham, G. M. 2018. Abundance trends of birds wintering in the USA and Canada, from Audubon Christmas Bird Counts, 1966-2017, version 2.1. Consultado el 27 de junio de 2021, de https://www.mendeley.com/catalogue/49b88a3c-ce05-32a4-bbc1-c88fe58cd3bc/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B8d675dec-7edd-300c-ad37-7b0ca36a1554%7D
- Mehtätalo, L. y Lappi, J. 2020. *Biometry for forestry and environmental data: With examples in R*. Chapman and Hall/CRC.
- Morrone, J. J. 2001. *Biogeografía de América Latina y el Caribe. Manuales y Tesis SEA 3*, Zaragoza (España). 148 pp. <https://books.google.com.mx/books?id=jRIFAQAIAAJ>
- Muñoz-Salas, E. I. 2019. *Patrones de distribución y abundancia de tres especies de escolopácidos en la península de Baja California, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 66 pp.
- NABCI. 2016. *The State of North America's Birds 2016*. North American Bird Conservation Initiative. pp. 8

. <http://www.stateofthebirds.org/2016/>

- NABCI. 2021. Regiones de Conservación de Aves (BCR). Consultado el 25 de febrero de 2022, de <https://nabci-us.org/resources/bird-conservation-regions/>
- National Audubon Society. 2020. The Christmas Bird Count Historical Results. Consultado el 17 de enero de 2022, de <https://www.audubon.org/christmas-bird-count-bibliography>
- Nordby, C. S. y Zedler, J. B. 1991. Responses of fish and macrobenthic assemblages to hydrologic disturbances in Tijuana Estuary and Los Peñasquitos Lagoon, California. *Estuaries*, 14(1), pp. 80–93. doi:10.2307/1351985
- O’Hara, R. B. y Kotze, D. J. 2010. Do not log-transform count data. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(2), pp. 118–122. doi:10.1111/j.2041-210x.2010.00021.x
- Olalla Kerstupp, A. 2014. Aspectos ecológicos del zarapito pico largo *numenius americanus* (Bechstein, 1812) en dos sitios de invernación del desierto chihuahuense. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León 152 pp.
- Olson, B. E., Sullivan, K. A. y Farmer, A. H. 2014. Marbled godwit migration characterized with satellite telemetry. *Condor, Oxford Academic*, 116(2), pp. 185–194. doi:10.1650/CONDOR-13-024.1
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D’amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E. y Morrison, J. C. 2001. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience, Oxford University Press*, 51(11), pp. 933–938.
- Ortiz-Ahumada, J. C., Mirabal-Gómez, U. y Álvarez-Borrego, Saúl Lara-Lara, J. R. 2019. Impact of “The Blob” and “El Niño” in the SW Baja California Peninsula: Plankton and Environmental Variability of Bahía Magdalena. *Frontiers in Marine Science. Frontiers Media SA AVENUE DU TRIBUNAL FEDERAL 34, LAUSANNE, CH-1015, SWITZERLAND*, Vol. 6 .
- Ortiz Pérez, M. A., Lanza Espino, G. D. L. coaut. y Salazar Enciso, M. P. 2006. Diferenciación del espacio costero de México. Un inventario regional. *Geografía para el siglo XXI*. <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/espaciocostero/cap1.pdf>.
- Osland, M. J., Stevens, P. W., Lamont, M. M., Brusca, R. C., Hart, K. M., Waddle, J. H., Langtimm, C. A., Williams, C. M., Keim, B. D., Terando, A. J., Reyier, E. A., Marshall, K. E., Loik, M. E., Boucek, R. E., Lewis, A. B. y Seminoff, J. A. 2021. Tropicalization of temperate ecosystems in North America: The northward range expansion of tropical organisms in response to warming winter temperatures. *Global Change Biology, John Wiley & Sons, Ltd*, 27(13), pp. 3009–3034. doi:10.1111/GCB.15563
- Oswald, J. A., Harvey, M. G., Remsen, R. C., Foxworth, D. U., Cardiff, S. W., Dittmann, D. L., Megna, L. C., Carling, M. D. y Brumfield, R. T. 2016. Willet be one species or two? A genomic view of the evolutionary history of *Tringa semipalmata*. *Auk, American Ornithological Society*, 133(4), pp. 593–614. doi:10.1642/AUK-15-232.1

- Page, G. W., Palacios, E., Alfaro, L., Gonzalez, S., Stenzel, L. E. y Jungers, M. 1997. Numbers of wintering shorebirds in coastal wetlands of Baja California, Mexico. *Journal of Field Ornithology*, 68(4), pp. 562–574.
- Page, G. W. y Stenzel, L. E. 1975. Aspects of the Ecology of Shorebirds on Bolinas Lagoon: A Report for the Department of Parks and Recreation, County of Marin, California. Point Reyes Bird Observatory.
- Palacios, E., Escofet, A. y Loya-Salinas, D. 1991. The Estero De Punta Banda, BC, Mexico As A Link In The? Pacific Flyway": Abundance Of Shorebirds. *cienciasmarinas.com.mx*, 17, pp. 109–131. <http://cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarinas/article/view/814>
- Puan, C. L., Yeong, K. L., Ong, K. W., Ahmad Fauzi, M. I., Yahya, M. S. y Khoo, S. S. 2019. Influence of landscape matrix on urban bird abundance: evidence from Malaysian citizen science data. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, Elsevier, 12(3), pp. 369–375. doi:10.1016/J.JAPB.2019.03.008
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.
- Ramsar, C. 2021. The list of wetlands of international importance. RAMSAR Secretariat: Gland, Switzerland.
- Reese, G. C. y Skagen, S. K. 2017. Modeling nonbreeding distributions of shorebirds and waterfowl in response to climate change. *Ecology and Evolution*, John Wiley and Sons Ltd, 7(5), pp. 1497–1513. doi:10.1002/ece3.2755
- Reiter, M. E., Palacios, E., Eusse-Gonzalez, D., Gonzalez, R. J., Davidson, P., Bradley, D. W., Clay, R., Strum, K. M., Chu, J., Barbaree, B. A., Hickey, C. M., Lank, D. B., Drever, M., Ydenberg, R. C. y Butler, R. 2020. A monitoring framework for assessing threats to nonbreeding shorebirds on the pacific coast of the Americas. *Avian Conservation and Ecology*, The Resilience Alliance, 15(2), pp. 1–23. doi:10.5751/ACE-01620-150207
- Rosenberg, K. V., Dokter, A. M., Blancher, P. J., Sauer, J. R., Smith, A. C., Smith, P. A., Stanton, J. C., Panjabi, A., Helft, L., Parr, M. y Marra, P. P. 2019. Decline of the North American avifauna. *Science*, 366(6461), pp. 120–124. doi:10.1126/science.aaw1313
- Sauer, J. R., Link, W. A. y Hines, J. . 2020. The North American Breeding Bird Survey, Analysis Results 1966 - 2019: U.S. Geological Survey. doi:<https://doi.org/10.5066/P96A7675>
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. Vol. 30. pp. 1–78 .
- Serrano, D., Tella, J. L., Forero, M. G. y Donazar, J. A. 2001. Factors affecting breeding dispersal in the facultatively colonial lesser kestrel: individual experience vs. conspecific cues. *Journal of Animal Ecology*, John Wiley & Sons, Ltd, 70(4), pp. 568–578. doi:10.1046/J.1365-2656.2001.00512.X
- Spooner, F. E. B., Pearson, R. G. y Freeman, R. 2018. Rapid warming is associated with population decline among terrestrial birds and mammals globally. *Global Change Biology*, John Wiley & Sons, Ltd, 24(10),

pp. 4521–4531. doi:10.1111/GCB.14361

- Stenzel, L. E., Huber, H. R. y Page, G. W. 1976. Feeding behavior and diet of the Long-billed Curlew and Willet. *The Wilson Bulletin*, JSTOR, pp. 314–332.
- Tryjanowski, P., Sparks, T. H., Biaduń, W., Brauze, T., Hetmański, T., Martyka, R., Skórka, P., Indykiewicz, P., Myczko, Ł., Kunysz, P., Kawa, P., Czyz, S., Czechowski, P., Polakowski, M., Zduniak, P., Jerzak, L., Janiszewski, T., Goławski, A., Dudu, L., ... Wysocki, D. 2015. Winter Bird Assemblages in Rural and Urban Environments: A National Survey. *PLOS ONE*, Public Library of Science, 10(6), p. e0130299. doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0130299
- Tseng, Y. H., Ding, R. y Huang, X. M. 2017. The warm Blob in the northeast Pacific - The bridge leading to the 2015/16 El Niño. *Environmental Research Letters*, 12(5). doi:10.1088/1748-9326/aa67c3
- Udvardy, M. D. F. y Farrand, J. 1994. *National Audubon Society Field Guide to North American Birds* (p. 822). Western Region. Alfred A. Knopf Incorporated.
- UNEP-WCMC. 2020. Protected areas map of the world. Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación. Consultado el 6 de julio de 2021, de www.protectedplanet.net
- Vézina, François, Jalvingh, K. M., Dekinga, A. y Piersma, T. 2007. Thermogenic side effects to migratory predisposition in shorebirds. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, American Physiological Society, 292(3), pp. 1287–1297. doi:10.1152/AJPREGU.00683.2006/ASSET/IMAGES/LARGE/ZH60030757040007.JPEG
- Vézina, François, Dekinga, A. y Piersma, T. 2011. Shorebirds' Seasonal Adjustments in Thermogenic Capacity Are Reflected by Changes in Body Mass: How Preprogrammed and Instantaneous Acclimation Work Together. *Integrative and Comparative Biology*, Oxford Academic, 51(3), pp. 394–408. doi:10.1093/ICB/ICR044
- Warnock, N., Jennings, S., Kelly, J. P., Emiko Condeso, T. y Lumpkin, D. 2021. Declining wintering shorebird populations at a temperate estuary in California: A 30-year perspective. *Condor*, Oxford Academic, 123(1). doi:10.1093/ornithapp/duaa060
- Weston, M. A., Dodge, F., Bunce, A., Nimmo, D. G. y Miller, K. K. 2012. Do temporary beach closures assist in the conservation of breeding shorebirds on recreational beaches? *Pacific Conservation Biology*, Csiro Publishing, 18(1), pp. 47–55. doi:10.1071/PC120047
- WHSRN. 2021. WHSRN. Western Hemisphere Shorebird Reserve Network. Consultado el 6 de julio de 2021, de <https://whsrn.org/es/sitios-whsrn/mapa-de-sitios/>
- Wickham, H. 2009. *Elegant graphics for data analysis*. Media, Springer, 35(211), pp. 10–1007.
- Wiken, E., Nava, F. J. y Griffith, G. 2011. *North American Terrestrial Ecoregions—Level III*. Commission for Environmental Cooperation, Montreal, Canada. April, pp. 1–149.

Xiu, P., Chai, F., Curchitser, E. N. y Castruccio, F. S. 2018. Future changes in coastal upwelling ecosystems with global warming: The case of the California Current System. *Scientific Reports*, 8(1). doi:10.1038/s41598-018-21247-7

Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A. y Smith, G. M. 2009. *GLMM and GAMM*. Springer, New York, NY, pp. 323–341. doi:10.1007/978-0-387-87458-6_13

Anexos

Tabla 7. Resumen de los mejores GLMM que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para *L. fedoa*. Se muestran los modelos que presentaron el menor AIC en cada uno de los pasos, así como el porcentaje de varianza explicada por cada variable y su significancia. Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).

Modelo	Factor (en negritas)	g. l.	AIC	Devianza	% Devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
	Modelo nulo	4841	22183.3	22175.3			
	Total ~ offset(logha) + (1 Sitio/Unidad)	4840	22043.7	22033.7	0.63		0.01
Una variable							
	Total ~ offset(logha) + Año + (1 Sitio/Unidad)	4840	22025.1	22013.1	0.67	0.04	< 0.001
Dos variables							
	Total ~ offset(logha) + Año + Región + (1 Sitio/Unidad)	4837	22018	22002	0.78	0.11	California: < 0.001 ; Macizo: 0.005 ; PBC: 0.001
Tres variables							
	Total ~ offset(logha) + Región + Año + pre + (1 Sitio/Unidad)	4836	22015.6	21997.6	0.80	0.02	0.03
	Total ~ offset(logha) + Región + Año + tmn + (1 Sitio/Unidad)	4836	22015.2	21997.2	0.80	0.02	0.02
Interacción con las variables de efectos aleatorios							
	Total ~ offset(logha) + Región + Año + tmn + (tmn Sitio/Unidad)	4832	22014.8	21988.8	0.84	0.04	0.008
					Devianza total		
	Total ~ offset(logha) + Región + Año + pre + (pre Sitio/Unidad)	4832	21957.3	21931.3	1.04	0.20	0.0004
					Devianza total		1.04

Tabla 8. Resumen de los mejores GLMM que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para *T. semipalmata*. Se muestran los modelos que presentaron el menor AIC en cada uno de los pasos, así como el porcentaje de varianza explicada por cada variable y su significancia. Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).

Modelo	Factor (en negritas)	g. l.	AIC	Devianza	% Devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
	Modelo nulo	4841	23608.7	23600.7			
	Total ~ offset(logha) + (1 Sitio/Unidad)	4840	23506.1	23496.1	0.44		
Una variable							
	Total ~ offset(logha) + Año + (1 Sitio/Unidad)	4839	23470.5	23458.5	0.60	0.16	<0.001
Dos variables							
	Total ~ offset(logha) + Año + tmn + (1 Sitio/Unidad)	4838	23468.8	23454.8	0.61	0.01	0.002
	Total ~ offset(logha) + Año + tmn + (tmn Sitio/Unidad)	4834	23441.9	23419.9	0.76	0.15	0.01
Tres variables							
	Total ~ offset(logha) + Año + tmn + Región + (tmn Sitio/Unidad)	4832	23439.8	23413.8	0.79	0.03	California: <0.001; Macizo: 0.02 ; PBC: 0.03
						Devianza total	0.79

Tabla 9. Resumen de los mejores modelos que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para *N. americanus*. Se muestran los modelos que presentaron el menor AIC en cada uno de los pasos, así como el porcentaje de varianza explicada por cada variable y su significancia. Datos del Proyecto de Aves Playeras Migratorias (MSP).

Modelo	Factor (en negritas)	g. l.	AIC	Devianza residual	% Devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
	Modelo nulo	4841	13298	13290			
	Total ~ offset(logha) + (1 Sitio/Unidad)	4840	13246.1	13236.1	0.40		
Una variable							
	Total ~ offset(logha) + Región + (1 Sitio/Unidad)	4838	13241.8	13227.8	0.47	0.07	California: <0.0001; Macizo: 0.05; PBC: 0.003
Dos variables							
	Total ~ offset(logha) + Región + Año + (1 Sitio/Unidad)	4837	13248.6	13225.4	0.49	0.02	0.11
Tres variables							
Primer selección	Total ~ offset(logha) + Región + Año + pre + (1 Sitio/Unidad)	4836	13240.1	13222.1	0.51	0.02	0.07
Interacción con las variables de efectos aleatorios							
	Total ~ offset(logha) + Región + Año + pre + (pre Sitio/Unidad)	4832	13216.8	13190.8	0.75	0.24	0.15
						Devianza total	0.75
Segunda selección	Total ~ offset(logha) + Región + Año + tmn + (1 Sitio/Unidad)	4836	13243.2	13225.2	0.49	-	0.69
Interacción con las variables de efectos aleatorios							
	Total ~ offset(logha) + Región + Año + tmn + (tmn Sitio/Unidad)	4832	13234.9	13208.9	0.61	0.12	0.01
						Devianza total	0.61
	Total ~ offset(logha) + Región + Año + tmx + (1 Sitio/Unidad)	4836	13243.4	13225.4	0.49	-	0.86
Interacción con las variables de efectos aleatorios							
	Total ~ offset(logha) + Región + Año + tmx + (tmx Sitio/Unidad)	4832	13209	13183	0.80	0.31	0.003
						Devianza total	0.80

Tabla 10. Resumen de los mejores GLMM que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para *L. fedoa*. Se muestran los modelos que presentaron el menor AIC en cada uno de los pasos, así como el porcentaje de varianza explicada por cada variable y su significancia. Datos del Censo Navideño de Aves (CBC).

Modelo	Factor (en negritas)	g. l.	AIC	Devianza residual	% Devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
Abundancia total							
	Modelo nulo	747	8644.4	8636.4			
Una variable							
	Total ~ Año + (1 Sitio)	746	8644.1	8634.1	0.02	0.02	0.06
Dos variables							
	Total ~ Año + tmn + (1 Sitio)	745	8644.8	8632.8	0.04	0.02	0.22
						Devianza total	0.04
Índice de abundancia							
	Modelo nulo	748	2372.9	2366.9			
Una variable							
	Total ~ pre + (1 Sitio)	747	2359.8	2351.8	0.63	0.63	< 0.001
Dos variables							
	Total ~ pre + Año + (1 Sitio)	746	2359.4	2349.4	0.73	0.1	0.12
Tres variables							
	Total ~ pre + Año + tmn (1 Sitio)	745	2358.4	2346.4	0.86	0.13	0.08
						Devianza total	0.86

Tabla 11. Resumen de los mejores GLMM que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para *T. semipalmata*. Se muestran los modelos que presentaron el menor AIC en cada uno de los pasos, así como el porcentaje de varianza explicada por cada variable y su significancia. Datos de Censo Navideño de Aves (CBC).

Modelo	Factor (en negritas)	g. l.	AIC	Devianza residual	% total de devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
Abundancia total							
	Modelo nulo	747	9116.7	9108.7			
Una variable							
	Total ~ Año + (1 Sitio)	746	9089.3	9079.3	0.32	0.32	<0.001
						Devianza total	0.32
Índice de abundancia							
	Modelo nulo	748	2552.4	2546.4			
Una variable							
	Total ~ Año + (1 Sitio)	747	2520.7	2512.7	1.32	1.32	<0.001
Dos variables							
	Total ~ Año + Región + (1 Sitio)	746	2519.4	2509.4	1.45	0.13	California: 0.15; Noroeste. México: 0.06
						Devianza total	1.45

Tabla 12. Resumen de los mejores GLMM que se obtuvieron mediante el procedimiento de selección de variables hacia adelante para *N. americanus*. Se muestran los modelos que presentaron el menor AIC en cada uno de los pasos, así como el porcentaje de varianza explicada por cada variable y su significancia. Datos del Censo Navideño de Aves (CBC).

Modelo	Factor (en negritas)	g. l.	AIC	Devianza residual	% Devianza	% aporte a la devianza total	<i>p</i>
Abundancia total							
	Modelo nulo	747	6211.9	6203.9			
Una variable							
	Total ~ tmn + (1 Sitio)	746	6211.4	6201.4	0.40		0.11
						Devianza total	0.40
Índice de abundancia							
	Modelo nulo	748	1284.4	1278.4			
Una variable							
	Total ~ Región + (1 Sitio)	747	1278.9	1270.9	0.58		California: <0.001; Noroeste México: <0.01
						Devianza total	0.58