

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



**Maestría en Ciencias
en Ciencias de la Vida
con orientación en Biología Ambiental**

**Conectividad entre sitios de anidación de *Sternula antillarum
browni* en San Diego, California y el Estero de Punta Banda,
Baja California**

Tesis

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

Presenta:

Cristina María Álvarez Nafarrate

Ensenada, Baja California, México
2021

Tesis defendida por
Cristina María Álvarez Nafarrate

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo
Director de tesis

Dr. Eduardo Palacios Castro

Dr. Luis Alberto Delgado Argote



Dra. Patricia Juárez Camacho
Coordinadora del Posgrado en Ciencias de la Vida

Dr. Pedro Negrete Regagnon
Director de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Cristina María Álvarez Nafarrate** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestra en Ciencias en Ciencias de la Vida con orientación en Biología Ambiental.

Conectividad entre sitios de anidación de *Sternula antillarum browni* en San Diego, California y el Estero de Punta Banda, Baja California

Resumen aprobado por:

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo
Director de tesis

Sternula antillarum browni es una subespecie de ave marina migratoria conocida hasta ahora por tener un alto grado de fidelidad al sitio de su colonia de nacimiento (filopatría natal). Se distribuye para su reproducción en la costa Oeste de Norteamérica desde la Bahía de San Francisco, California, Estados Unidos de América, hasta San José del Cabo, Baja California Sur, México. En el Estero de Punta Banda, BC en época de reproducción se han avistado individuos con anillos de identificación colocados en volantones provenientes del Sur de California, indicando que la filopatría natal no es total. A través del análisis de los movimientos de dispersión de *S. a. browni* se encontró una posible relación metapoblacional entre los diferentes sitios de anidación de San Diego a Punta Banda, enfatizando que la subespecie se debe estudiar y conservar como un conjunto de colonias de reproducción. Los movimientos de dispersión entre los sitios donde fueron marcados los individuos de *S. a. browni* y el sitio de avistamiento fueron de 98 a 177 km. Las distancias entre las colonias indican que se encuentran lo suficientemente cerca para que sea posible el intercambio de individuos entre subpoblaciones. Este conocimiento podrá utilizarse para establecer medidas de manejo y conservación del hábitat binacionales de la especie que permitan la protección de las colonias actuales considerando la conectividad entre sus poblaciones. Es necesario realizar estudios del movimiento de dispersión de la subespecie que consideren el éxito de anidación de los individuos inmigrantes para el crecimiento de sus poblaciones.

Palabras clave: conservación binacional, conectividad, filopatría, movimientos de dispersión

Abstract of the thesis presented by **Cristina María Álvarez Nafarrate** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Life Sciences with orientation in Environmental Biology.

Connectivity between nesting colonies of *Sternula antillarum browni* in San Diego, California and Punta Banda Estuary, Baja California

Abstract approved by:

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo
Thesis Director

Sternula antillarum browni is a migratory seabird subspecies known until now to have a high degree of site fidelity to its birth colony (natal philopatry). This bird reproduces on the west coast of North America from San Francisco Bay, California, USA, to San José del Cabo, Baja California Sur, Mexico. During the breeding season, individuals from Southern California with identification rings placed as fledglings have been sighted at the Estero de Punta Banda, Baja California, indicating that the natal philopatry is not total. Through the analysis of the dispersal movements of *S. a. browni* a possible metapopulation relationship was found between the different colonies from San Diego to Punta Banda. This results pinpoint that the subspecies must be studied and conserved as a set of breeding colonies. The dispersal movements between the sites where the individuals of *S. a. browni* were ringed and the sighting site ranged from 98 to 177 km. The distances between the colonies indicate that they are close enough for the exchange of individuals between subpopulations. This knowledge can be used to establish binational management measures and conservation of the habitat of the species that allow the protection of the current colonies considering the connectivity between their populations. It is necessary to carry out studies of the dispersal movement of the subspecies that consider the nesting success of immigrant individuals for the growth of their populations.

Keywords: binational conservation, connectivity, philopatry, dispersal movements

Dedicatoria

A mi mamá

*Por alentarme y creer en mí siempre, por apostar todo lo que tienes por nosotras
y lo que no también...*

A mi papá, investigador innato

*Gracias por heredarme el hambre de entender las cosas
y buscar las respuestas a mis mil y un preguntas siempre*

Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada (CICESE) y al posgrado en Ciencias de la Vida, que incluye el personal académico y administrativo, por ser parte de mi formación en el camino de la ciencia. Al Departamento de Biología de la Conservación por su aporte tanto en el desarrollo profesional como personal y por hacernos sentir parte del equipo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de posgrado (Número de becario 961970).

A mi director de tesis, el Dr. Horacio de la Cueva por la confianza y disposición, por las pláticas y por siempre tomar en cuenta mis opiniones en el proceso de este trabajo.

A mis sinodales el Dr. Eduardo Palacios y el Dr. Luis Delgado, por su tiempo y sus aportes tan acertados que ayudaron a la mejora de este trabajo.

Al equipo de Pro Esteros A. C. que me brindo el apoyo y transporte para el trabajo de campo, a Laura Martínez por recibirme.

A Liliana Ortiz y Jonathan Vargas por la paciencia y conocimiento que me brindaron en campo, así como por transmitir su entusiasmo por la conservación de aves y la importancia del trabajo en equipo.

A Tom Ryan, Hans Sin y todos los involucrados en la generación de datos de avistamientos y anillado del Charrán mínimo en San Diego, gracias por su disposición para compartir esta información esencial para mi trabajo.

A mis compañeras y compañeros del posgrado que me acompañaron en esta travesía, en especial a “Los priónicos” por el apoyo, las aventuras y amistad que formamos y conservamos aun con la distancia de por medio.

A mi familia elegida que son mis amigos y amigas por siempre estar y crecer conmigo, aun con la distancia. A mis amigas por el apoyo y por estar para recordarme mis capacidades cuando yo las olvido. Son todos un rayito de luz hasta en los días más cansados.

A Gustavo, por acompañarme en tiempos de pandemia y todo el apoyo en este trabajo. Pero sobre todo, gracias por el cariño, la paciencia, el café y las pláticas.

A mi familia, mis papás y mi hermana, por el amor incondicional y ser mi mayor apoyo, detrás de todos mis logros siempre estarán ustedes tres. A Sam y Nala por ser mis compañeros de escritura todos los días y el mejor antídoto antiestrés.

A mí y a todos los que durante este tiempo y en pandemia se hicieron presentes y aportaron de una u otra forma a la culminación de mi trayecto en el posgrado. Gracias totales.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en Español.....	ii
Resumen en Inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	ix
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Justificación.....	8
1.3 Hipótesis.....	9
1.4 Objetivos.....	9
1.4.1 Objetivo general	9
1.4.2 Objetivos específico.....	9
Capítulo 2. Metodología.....	10
2.1 Área de estudio.....	10
2.2 Colecta de datos.....	12
2.3 Dispersión y distancia.....	14
2.4 Determinación de poblaciones y subpoblaciones.....	14
2.5 Variables ambientales.....	15
2.5.1 Vegetación.....	15
2.5.2 Amenazas potenciales.....	16
Capítulo 3. Resultados.....	17
3.1 Movimientos de dispersión de <i>Sternula antillarum browni</i>	17
3.1.1 Distancia entre colonias.....	19
3.2 Delimitación de poblaciones y subpoblaciones.....	19
3.2.1 Delimitación de subpoblaciones.....	19

3.2.2 Delimitación de poblaciones.....	21
3.3 Hábitat.....	24
3.3.1 Vegetación.....	24
3.3.2 Amenazas potenciales.....	27
Capítulo 4. Discusión.....	29
4.1 Movimientos de dispersión de <i>Sternula antillarum browni</i>	29
4.1.1 Distancia entre colonias.....	30
4.2 Delimitación de poblaciones y subpoblaciones.....	31
4.3 Variables ambientales.....	32
4.3.1 Tipo de vegetación.....	32
4.3.2 Amenazas potenciales.....	33
Capítulo 5. Conclusiones.....	35
Literatura citada.....	37

Lista de figuras

Figura		Página
1	Nido de <i>Sternula antillarum browni</i>	4
2	Sitios de monitoreo y anidación de <i>Sternula antillarum browni</i> en San Diego, California.....	10
3	Estero de Punta Banda.....	11
4	Zona de anidación del año 2020 de <i>Sternula antillarum browni</i> en Estero de Punta Banda.....	12
5	Individuo de <i>Sternula antillarum browni</i> adulto con anillo de color alfanumérico avistado en Estero de Punta Banda, Ensenada, Baja California, México.....	13
6	Sitios de nacimiento de los individuos de <i>Sternula antillarum browni</i> avistados en Estero de Punta Banda, Ensenada, Baja California, México	18
7	Zonas de amortiguamiento y de la capacidad de dispersión de máximo 24 km.....	20
8	Zona de amortiguamiento de dispersión de máximo 96 km.....	22
9	Delimitación de poblaciones y subpoblaciones según la capacidad de dispersión de <i>Sternula antillarum</i>	23
10	Mapa de vegetación de la costa oeste de la península de Baja California, hasta San Quintín.....	25
11	Mapa de vegetación del Estero de Punta Banda, Baja California.....	26
12	Mapa de localidades y vialidades en el Estero de Punta Banda, Baja California.....	28

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Tipos de anillos identificados en el Estero de Punta Banda.....	13
2	Anillos identificados por color y código alfanumérico en individuos perchados de <i>Sternula antillarum browni</i> en el Estero de Punta Banda, Ensenada, Baja California, México.....	14
3	Sitio natal de individuos de <i>Sternula antillarum browni</i> avistados en el Estero de Punta Banda, Ensenada, durante el periodo 2017-2020.....	17
4	Distancias entre los sitios de nacimientos de los individuos de <i>Sternula antillarum browni</i> y el sitio de avistamiento, Estero de Punta Banda, Ensenada.....	19

Capítulo 1. Introducción

El charrán mínimo, *Sternula antillarum*, es una especie de ave marina politípica con tres subespecies reconocidas en Norteamérica: *Sternula antillarum browni*, *S. a. athalassos* y *S. a. antillarum* (Carvacho et al., 1989; Thompson et al., 2020). *S. a. browni* se reproduce en la costa Oeste de Norteamérica, desde la Bahía de San Francisco, California (CA) en los Estados Unidos de América (EUA) hasta San José del Cabo, Baja California Sur, México (Carvacho et al., 1989; Massey y Fancher, 1989; Palacios y Mellink, 1996; Thompson et al., 2020). *S. a. browni* arriba a las colonias de reproducción desde abril hasta agosto (Palacios, 1988), en colonias cerca de estuarios y lagunas costeras, en suelo de playas arenosas libre de vegetación o planicies artificiales producto de material de dragado, sin embargo, este tipo de hábitats han sufrido diversas alteraciones (Palacios y Mellink, 1996; Elliott et al., 2007).

S. a. browni se encuentra catalogada como especie en peligro de extinción en Estados Unidos desde 1970 a nivel federal y desde 1971 a nivel estatal en California (Massey, 1974; Elliott et al., 2007) debido a una notable disminución en sus poblaciones como consecuencia de la pérdida de sitios de anidación y alimentación por el desarrollo de asentamientos humanos en las zonas costeras de California (Carvacho et al., 1989). La fragmentación de grandes áreas de playa dio como resultado que ahora las aves llegan a anidar en pequeños fragmentos de hábitat, modificando el patrón histórico de grandes colonias de *S. a. browni* esparcidas a lo largo de playas prístinas (USFWS, 2006). Actualmente, aunque las poblaciones de la subespecie han experimentado una fuerte recuperación en las costas de California desde que se incluyeron en la lista de conservación, se considera que todavía dependen de un manejo de conservación durante la temporada de anidación enfocado en los factores limitantes para su reproducción como depredación, plantas invasoras y perturbación humana (USFWS, 2006).

Respecto al estado de conservación de *S. antillarum* en México, la especie se encuentra bajo protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010 por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, debido a que se encuentra amenazada por problemas de pérdida de áreas de anidación por el desarrollo de asentamientos humanos, disturbio por actividad humana, presiones naturales como depredación e inundaciones por efecto de marea (Palacios, 1992; Amador et al., 2007). Aunado a esto, el aumento del turismo que coincide con la temporada de anidación en los meses de mayo a agosto repercute negativamente en el éxito de anidación y eclosión reduciendo significativamente el tamaño de su población (Palacios, 1992).

Uno de los sitios en la península de Baja California donde *S. a. browni* llega a anidar es el Estero de Punta Banda, en el sur de la ciudad de Ensenada. El sitio alberga a una de las colonias más grandes de charranes que se ha registrado en la península, de aproximadamente setenta parejas (Pro Esteros, 2017). Desde que se sistematizó la observación en la zona de anidación de *S. a. browni* en el Estero Punta Banda (EPB) se han registrado individuos de *S. a. browni* con anillos de identificación de la población de San Diego, CA. A partir de estos avistamientos se plantea la posibilidad de que *S. a. browni* busque anidar no sólo en su sitio de nacimiento, a diferencia de lo que se esperaría de un comportamiento filopátrico natal. Este tipo de comportamiento no es único a *S. a. browni*, se presenta como una característica común en la mayoría de los mamíferos y aves de reproducción colonial (Matthiopoulos et al., 2005).

El registro de los avistamientos de individuos anillados constituye una herramienta importante y de los avances más importantes en el estudio de los movimientos migratorios, de dispersión y parámetros demográficos en aves (Coulson, 1993). El anillado con códigos alfanuméricos permite la identificación individual y el registro de las aves anilladas a distancia, que es lo más frecuente en el caso de las aves marinas. El tamaño de los anillos y códigos utilizados posibilitan la lectura de los códigos sin la necesidad de capturar a los individuos más que una vez para su marcaje (Marion y Shamis, 1977; Galvez et al., 2016).

Para entender la importancia de las diferencias entre sitios de anidación del lugar donde nació a un sitio diferente debemos utilizar el concepto de filopatría. Existen dos tipos de filopatría, la filopatría natal se refiere al regreso del individuo a su colonia de nacimiento en intentos posteriores de reproducirse. Al retorno y la reproducción en la colonia del último intento de reproducción, se llama filopatría de reproducción. Además de la filopatría, debe considerarse la forma en que se dispersan los individuos una vez que abandonan su sitio de nacimiento. Las dispersiones natal y reproductiva se definen como el movimiento desde el lugar de nacimiento (natal) o la ubicación de la reproducción posterior (reproducción) al sitio del próximo intento de reproducción (Lindberg et al., 1998).

Estamos suponiendo que los movimientos de dispersión entre colonias de la población regional San Diego-Estero de Punta Banda pudiesen estar funcionando bajo una dinámica metapoblacional, una agrupación de poblaciones locales que están conectadas entre sí por desplazamientos cortos y cuya persistencia temporal está determinada por procesos de colonización y extinción locales (Gilpin y Hanski, 1991).

Las metapoblaciones incluyen procesos a nivel paisaje de parches que se forman, dividen y fusionan en sucesiones de hábitats y eventos de disturbios (Akçakaya et al., 2007). Entre las principales consideraciones de esta teoría está que a mayor conectividad entre poblaciones o fragmentos de hábitats,

mayores serán las tasas de recepción de inmigrantes, mientras que con fragmentos muy aislados disminuye la tasa de recepción de inmigrantes (Hanski, 1999). En algunas especies las poblaciones son de tiempo de vida corta y cambian dramáticamente en cada generación. En otras especies la metapoblación se caracteriza por tener una o más poblaciones que funcionan como población núcleo o fuente, más o menos estables en el tiempo y varias poblaciones de tipo satélite o receptoras que fluctúan con la llegada de inmigrantes a la colonia (Bleich et al., 1990). Las poblaciones satélites pueden extinguirse en años desfavorables, pero también pueden ser recolonizadas por migraciones desde una población núcleo (Denis, 2001).

En un modelo clásico de metapoblación, entendida como un conjunto de poblaciones locales dentro de un área más grande, donde la migración de una población local a al menos algunos otros parches es posible (Hanski y Gilpin, 1991) por definición, todos los parches de hábitat son habitables y el entorno circundante es inhóspito (Ebenhard, 1991). Cada una de las poblaciones locales habita espacios que pueden ser definidos como sitios o parches y que en el caso de estas aves migratorias, los parches corresponden a los sitios de anidación. Sin embargo, en el caso de las aves migratorias estos sitios existen sólo durante la temporada de reproducción. El hábitat que no es adecuado para la reproducción puede ser adecuado para otras actividades como la alimentación. Además, al ser animales que se desplazan mediante el vuelo, la conectividad del parche no está determinada por factores físicos como la distancia u obstáculos, sino por el comportamiento de los animales, por lo que hay que tener en cuenta la capacidad de dispersión y fidelidad de sitio de la especie, que pueda limitar la migración entre colonias (Matthiopoulos et al., 2005; Friesen et al., 2007). La definición de parche adoptada en este trabajo considera la localización de las colonias y la capacidad de dispersión de *S. a. browni*. Si bien la teoría de la metapoblación se ha centrado casi exclusivamente en especies no migratorias, cuando se aplica a las aves migratorias se deben tomar en cuenta las interacciones entre grupos de aves de áreas de reproducción independientes. Por ello, para que la teoría de la metapoblación se aplique, las subpoblaciones deben ser lo suficientemente independientes como para que la extinción de una subpoblación pueda ocurrir sin importar la demografía de otras subpoblaciones y que la dispersión entre las subpoblaciones sea lo suficientemente frecuente como para que la recolonización de las subpoblaciones extintas pueda ocurrir (Esler, 2000).

En este trabajo se realizó un análisis de la conectividad entre poblaciones de *Sternula antillarum browni* en relación con los movimientos de dispersión de individuos entre colonias de San Diego, CA y la colonia del Estero de Punta Banda, BC, identificando el hábitat de la especie y sus variables ambientales. Se espera que a través de este análisis de movimientos de dispersión de *S. a. browni* y las distancias entre colonias se observe una relación metapoblacional entre subpoblaciones que podrá utilizarse para establecer

medidas de manejo y acciones de conservación binacionales que contribuyan a la protección de la subespecie.

1. Antecedentes

Sternula antillarum browni presenta un comportamiento gregario, se alimenta y migra en bandadas de cinco a 20 individuos, aunque durante el forrajeo con frecuencia se le puede observar sola (Thompson et al., 2020). Selecciona su sitio de anidación en zonas de playa arenosa, zonas de inundación o barras arenosas con vegetación escasa o nula (Figura 1).



Figura 1. Nido de *Sternula antillarum browni*. Barra arenosa del Estero de Punta Banda, Baja California, 2020. Fotografía de la autora.

Estos sitios deben encontrarse cerca de algún humedal o laguna del que puedan obtener su alimento que consiste principalmente en peces pequeños como la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), la anchoa (*Anchoa ischana*) y pejerreyes (Atherinidae) (Atwood y Kelly, 1984; Palacios, 1988). El hábito de reproducción de esta especie es monógamo, habita en colonias difusas que van desde unos pocos hasta más de 2,000 pares, pero en México generalmente se establecen por debajo de los 25 pares (Palacios y Mellink, 1996; Thompson et al., 2020).

Los factores que conducen a la formación de las colonias son complejos y varían entre especies. Se relacionan factores como la disponibilidad y asequibilidad de alimentos, las distancias a los sitios de forrajeo y su calidad, el grado de disturbio humano a su alrededor, la estructura de la vegetación y la presión por depredadores (Denis, 2001). En el estudio de la evaluación de selección de sitios de anidación de *S. a. browni* Swaisgood y colaboradores (2018) documentaron que la subespecie seleccionó como sitios las áreas de playa arenosa abiertas, colocando sus nidos cercanos a zonas con vegetación. Además, los nidos exitosos mostraron un porcentaje de cobertura vegetal más alto que los nidos no exitosos, sugiriendo que cierta cobertura vegetal confiere un beneficio.

La cobertura vegetal desempeña un papel importante de protección después del periodo de incubación de *S. a. browni* disminuyendo la capacidad de los depredadores para detectar huevos y siendo utilizada como refugio por los pollos contra la depredación. Los depredadores incluyen aves rapaces, cuervos, coyotes, zorros y gatos y perros tanto ferales como domésticos (SAWA, 2018). La cobertura vegetal también desempeña un papel en la termorregulación de los polluelos recién nacidos proporcionando refugio del sol (Palacios, 1992; Swaisgood et al., 2018). Por otra parte, niveles de cobertura vegetal excesiva puede obstruir la visión de la especie y comprometer la capacidad de las aves para detectar depredadores de nidos, por lo que se ha documentado que las colonias de la especie suelen estar en sitios donde la cobertura vegetal no sea muy densa (Gochfeld 1983; Palacios, 1992; Swaisgood et al., 2018).

En Baja California se localizaban ocho sitios de anidación, cinco en la costa del Pacífico y tres en el Golfo de California. Sin embargo, en la costa del Pacífico se han perdido dos de estos sitios, Tony's Camp en el Estero de Punta Banda y la salina de El pabellón, al sur de la Bahía de San Quintín, quedando únicamente Laguna Figueroa y Punta Azufre en la región de San Quintín (esta última ya se perdió, pero no se ha documentado), así como la barra arenosa del Estero de Punta Banda en Ensenada (Pro Esteros, 2020). El Estero de Punta Banda se localiza al sureste de la Bahía de Todos Santos, este es un sitio de descanso importante para las aves migratorias (Sánchez, 2020). Esta zona es un ejemplo del impacto del desarrollo turístico en un humedal en la zona costera, habiéndose perdido en 1987 las dos terceras partes de la barra

arenosa debido al desarrollo turístico (Escofet y Espejel, 1991; Sánchez, 2020). Actualmente tiene la designación de sitio Ramsar No. 1604 (Martínez-Ríos, 2005). Se considera que a pesar de las múltiples modificaciones por las que ha pasado, el sitio continúa siendo un ecosistema importante como zona de descanso, alimentación y reproducción de muchas especies de aves residentes y migratorias (Jiménez-Pérez et al., 2009).

Para considerar a una metapoblación se tienen que cumplir con los requisitos de que las poblaciones sean geográficamente discretas y de que la mezcla de individuos entre poblaciones sea menor que dentro de la que pertenece. De no cumplirse estos requisitos, el conjunto de poblaciones locales se consideraría una población panmíctica, es decir de apareamiento aleatorio (Akçakaya et al., 2007). La teoría de la metapoblación predice patrones particulares de la ocupación de parches. Un set de datos de presencia y ausencia representa el resultado de un largo periodo de extinciones y colonizaciones. Estos procesos pueden ser inferidos por la presencia o ausencia de una especie en sitios con características particulares, tamaño de parche notable y nivel de aislamiento. La probabilidad de extinción de una población local se define como una función decreciente del área del parche, la probabilidad de colonización de un parche de hábitat vacío se define como una función creciente de la conectividad, a su vez función del patrón de ocupación y de capacidad de dispersión de la especie (Moilanen, 2004). Akçakaya y colaboradores (2003) realizaron un modelo de metapoblación de *S. a. browni* con el objetivo de utilizarlo para predecir la persistencia de poblaciones a lo largo de la costa del Pacífico. En el trabajo de modelación cada colonia o grupo de colonias cercanas se definió como una población, considerando 17 poblaciones a lo largo de la costa del Pacífico, desde Pittsburg, CA, hasta Bahía Magdalena, Baja California Sur. El modelo incluyó variables para cada población, como estructura de edad, cambios en supervivencia y fecundidad de un año a otro, catástrofes regionales (eventos fuertes de El Niño/Oscilación del Sur [ENSO]) y catástrofes locales, v.g., falla reproductiva debido a la depredación). Bajo el supuesto de modelación de tasas vitales bajas, se obtuvo una predicción de un alto riesgo de declive, aunque un riesgo de extinción bajo. Los resultados indicaron que el número y la ubicación de las poblaciones seleccionadas para el manejo enfocado influyeron en la efectividad de los esfuerzos de manejo. En el estudio de Akçakaya et al. (2003) se encontró una correlación de la fecundidad de *S. a. browni* entre diferentes subpoblaciones, disminuyendo con el aumento de la distancia entre las poblaciones.

Para *Sternula antillarum* se han documentado datos de dispersión de individuos entre colonias reproductivas (Atwood y Massey, 1988; Akçakaya et al., 2003; Lott et al., 2013). Lott et al. (2013) realizaron un análisis con los datos de frecuencia de dispersión para *S. antillarum* existentes en la literatura entre los años 2002 a 2012 en función de la conectividad del hábitat y la probabilidad decreciente de dispersión

entre parches de hábitat ocupados cuanto mayor es la distancia entre ellos. Se definieron las poblaciones y subpoblaciones reproductoras de *S. a. athalassos* que anidan en los bancos de arena de los principales ríos de las Grandes Llanuras y el Valle de Mississippi en el interior de los Estados Unidos de América. El estudio menciona la importancia de definir las poblaciones y subpoblaciones reproductoras de *S. antillarum* haciendo énfasis en un enfoque ecológico que considere factores que puedan afectar la distribución de la especie como son su capacidad de dispersión y la selección de hábitat y no bajo un enfoque administrativo como se ha manejado anteriormente para su conservación.

En el caso de *Sternula antillarum browni*, Atwood y Massey (1988) han descrito a la subespecie con tendencia al comportamiento filopátrico con un alto grado de fidelidad de sitio colonial, al observar en un estudio que el 79% de las aves que habían sido recuperadas como adultos reproductores regresaban a la misma colonia durante dos temporadas de reproducción consecutivas. En ese estudio la mayoría de las aves que sí cambiaron de colonia no se desplazaron una distancia mayor de 15 km, mientras que los individuos que tuvieron un mayor desplazamiento se reubicaron en la colonia más cercana. En cambio, en el estudio de Renken y Smith (1995) los individuos de la subespecie de *S. a. athalassos* no mostraron una gran fidelidad de sitio, con un resultado del 42% de adultos que regresaron al año siguiente a la colonia en la que fueron anillados.

A diferencia de las subespecies *S. a. athalassos* y *S. a. antillarum* que se ha observado pueden cambiar de sitio de anidación cada ciertos años a hábitats recién creados en respuesta a las diferencias constantes en su hábitat, en *S. a. browni* se ha observado es poco común que ocupen hábitats recién creados (Renken y Smith, 1995; Akçakaya et al., 2003). Renken y Smith (1995) atribuyen esta diferencia a que *S. a. athalassos* al anidar en ríos al interior de EUA se enfrentan a un paisaje de canales de ríos, bancos de arena y niveles de agua del río que pueden ser distintos a la temporada de anidación anterior, por lo tanto muestra una menor fidelidad de sitio al ser un hábitat más inestable o poco predecible. Las especies que están acostumbradas a hábitats estables y predecibles, por lo general presentan mayor fidelidad de sitio y pueden no cambiar de sitio incluso si sus hábitats de reproducción son impactados por el desarrollo humano, reduciendo su capacidad para reproducirse con éxito (McNicholl, 1975; Southern y Southern, 1982; Braby et al., 2012). Sin embargo, Palacios (1992) sugiere que *S. a. browni* pudiera estar haciendo uso de hábitats alternativos en Baja California a causa del desplazamiento que el disturbio humano y el desarrollo costero ha provocado de las playas arenosas, como se ha observado en *S. a. antillarum* forzándola a ocupar otro tipo de hábitats en la costa este de EUA.

1.2 Justificación

Conocer los movimientos de dispersión para poder considerar a las poblaciones de *Sternula antillarum browni* como una metapoblación. Sin embargo, aún falta mucha información sobre los movimientos de dispersión y la conectividad entre sitios de anidación de *S. a. browni* que incluya las colonias de Baja California. Algunos estudios han reportado los movimientos de dispersión para las colonias de California hasta Baja California con distancias cortas (Atwood y Massey, 1988). Posteriormente se han realizado modelos de metapoblación para predecir la persistencia de poblaciones de *S. a. browni* a lo largo de la costa del Pacífico considerando esta alta fidelidad de sitio y movimientos de dispersión cortos a otros sitios de anidación (Akçakaya et al., 2003). Sin embargo, una limitante en el estudio de movimientos de dispersión de *S. antillarum* es que existe poca documentación de eventos de dispersión de larga distancia, ya que mayormente los estudios publicados están restringidos a distancias cortas desde el sitio de anillado y solo producen recuperaciones de anillos a larga distancia en el caso de que los individuos con anillos de identificación sean encontrados muertos fuera de las áreas de estudio o capturados por investigadores en lugares distantes (Lott et al., 2013).

La pérdida de hábitat producida por el cambio climático y por transformaciones humanas del medio natural representan los principales problemas de conservación que afectan a las especies (Morcuende, 2008). Ya que algunas aves marinas utilizan sitios aislados unos de otros para realizar sus movimientos migratorios, la desaparición de alguno de ellos no solo puede ocasionar un efecto negativo en la población (Myers et al., 1987; Bennun, 2001), sino también la de toda la metapoblación si esta es una fuente importante de individuos, por lo cual podría dejar sin hábitat a las poblaciones en momentos clave de su ciclo biológico (Sánchez et al., 2018). Sin embargo, la mayoría de los esfuerzos se han enfocado en la conservación de sitios individuales ubicados en rutas migratorias, más que en la interrelación de los sitios que las sustentan, haciéndolos más vulnerables ante el creciente desarrollo urbano (Sánchez et al., 2018). Conocer el intercambio de individuos entre colonias de *Sternula antillarum browni* y la frecuencia de los movimientos de dispersión entre subpoblaciones permitiría entender de qué manera la inmigración de individuos influye en el crecimiento de las subpoblaciones. Para proponer estrategias de conservación binacionales para los sitios de anidación de *Sternula antillarum browni* tomando en cuenta la conectividad entre las poblaciones y no gestionarlas como poblaciones individuales si esta conexión existe.

1.3 Hipótesis

La población reproductiva de *Sternula antillarum browni* en el sur de California, EUA y el noroeste de Baja California, México puede ser explicada como un conjunto de subpoblaciones interrelacionadas a través de la conectividad de los sitios de anidación determinada por las distancias de dispersión conocidas para la especie.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Describir y analizar los movimientos de dispersión y conectividad de *Sternula antillarum browni* entre las colonias de San Diego, California y la colonia del Estero de Punta Banda, Baja California para determinar si estas colonias se pueden entender y conservar como un conjunto de subpoblaciones.

1.4.2. Objetivos específicos

- Delimitar poblaciones y subpoblaciones de *Sternula antillarum browni* en relación con la capacidad de dispersión documentada para la especie y la distancia entre colonias, desde San Diego, EUA a Baja California, México, para determinar su conectividad.
- Analizar posibles estrategias para el manejo de los sitios de anidación de *Sternula antillarum browni* que permitan el cuidado y crecimiento de las colonias actuales considerando la existencia de una metapoblación.

Capítulo 2. Metodología

2.1 Área de Estudio

Según el reporte del Departamento de Pesca y Vida Silvestre de California en la temporada de anidación 2016 de *S. a. browni*, en el Sur de California se distinguen, de norte a sur las siguientes poblaciones: Camp Pendleton, Batiquitos Lagoon, San Elijo Lagoon, San Dieguito Lagoon, Mission Bay, San Diego Bay y Tijuana Estuary (Figura 2, Frost, 2017).



Figura 2. Sitios de monitoreo y anidación de *Sternula antillarum browni* en San Diego, California (Frost, 2017). Elaborado con la plataforma de Google Earth Pro.

El Estero de Punta Banda ($31^{\circ} 40' - 31^{\circ} 48' N$ y $116^{\circ} 40' - 116^{\circ} 34' O$) es una laguna costera que forma parte de la Bahía de Todos Santos, al noroeste de la península de Baja California, dentro del municipio de Ensenada (Figura 3). La cuenca superficial del Estero de Punta Banda tiene forma de “L” y está separada de las aguas de la Bahía de Todos Santos por una barra de arena de aproximadamente 7.5 km de longitud,

con un promedio de 0.35 km de ancho (Pritchard et al., 1978; Martínez-Ríos, 2005). El estero mantiene hábitats de playa arenosa, dunas costeras, áreas salinas, áreas marinas y marisma baja, media y alta, lo cual le confiere el carácter de ambiente costero-lagunar representativo de la ecorregión californiana (Martínez-Ríos, 2005).



Figura 3. Estero de Punta Banda. Ubicado en la costa del Océano Pacífico, Ensenada, Baja California, México. Elaborado con la plataforma de Google Earth Pro.

En este sitio se encuentra una colonia de *S. a. browni*, en un área de aproximadamente 0.15 km² (Figura 4) cuyo tamaño y número de individuos varía cada año. El sitio de anidación se compone principalmente de arena clara de grano medio con conchas, fragmentos de conchas y restos de macroalgas cafés (*Macrocystis pyrifera*) (Palacios, 1992). El crecimiento del desarrollo urbano en los alrededores ha provocado que se modifique la topografía original de la barra arenosa, aislando a la colonia del resto del sistema lagunar. Actualmente y desde 2006, el Estero de Punta Banda es reconocido como el sitio Ramsar No. 1604 (Martínez-Ríos, 2005), siendo un sitio de importancia ecológica y un hábitat importante para la

avifauna como área de reproducción, alimentación y de descanso (Escofet, 1989; Jiménez-Pérez et al., 2009).



Figura 4. Zona de anidación del año 2020 de *Sternula antillarum browni* en Estero de Punta Banda. Ubicado en la costa del Océano Pacífico, Ensenada, Baja California, México. Elaborado en la plataforma de Google Earth Pro.

2.2 Colecta de datos

Los datos necesarios para la elaboración de esta tesis fueron obtenidos de dos formas: a) los de las colonias de San Diego, CA a través de la base de datos de registros de anillamiento y avistamiento de individuos de *S. a. browni* 2017-2020 generados en colaboración por distintos grupos y asociaciones encargados en el estudio y conservación *S. a. browni* en San Diego, CA proporcionados por Ryan Ecological Consulting (Tabla 3); b) los del Estero de Punta Banda, se obtuvieron a través de seis sesiones de avistamientos de individuos adultos de *S. a. browni*, por un periodo de dos horas, dos días a la semana, durante los meses de julio y agosto del 2020. Para la identificación de la especie y el avistamiento de los individuos se utilizaron binoculares de 8x y 12x, y cuando fue necesario, un telescopio con apertura de 90mm y longitud focal de 1,200mm. El censo se realizó primero por conteo directo, se buscó identificar a adultos reproductivos anillados. Después se identificaron a los adultos observados con anillo metálico o anillo plástico alfanumérico (Tabla 1).

Tabla 1. Fechas y tipos de anillos identificados en el Estero de Punta Banda. Periodo de avistamientos de individuos de *Sternula antillarum browni* en julio y agosto de 2020.

Fecha	Metálico	Blanco	Amarillo
22/07/2020	8	6	1
25/07/2020	6	3	1
29/07/2020	4	4	2
01/08/2020	3	3	1
05/08/2020	3	2	0
15/08/2020	-	-	-

En el caso de los individuos observados con anillos plásticos blancos o metálicos (Figura 5), corresponden a individuos provenientes de California, dado que no se encontraban adultos reproductivos anillados, provenientes del Estero de Punta Banda en la temporada estudiada.



Figura 5. *Sternula antillarum browni* adulto con anillo de color alfanumérico avistado en Estero de Punta Banda, Ensenada, Baja California, México. Fotografía de la autora.

Se registró el color del anillo y en los individuos que se logró visualizar con mayor certidumbre, se registró el código alfanumérico de tres caracteres, con el fin de identificar el sitio de anillado y procedencia del individuo a través de la base de datos de anillamiento y recaptura de San Diego, CA (Tabla 2).

Tabla 2. Anillos identificados por color y código alfanumérico en individuos de *Sternula antillarum browni* en el Estero de Punta Banda, Ensenada, Baja California, México.

Color de anillo	Código alfanumérico	Sitio de anillado
Blanco	C59	Tijuana River Estuary, San Diego, CA
Blanco	H01	Mission Bay, San Diego, CA
Blanco	H08	Camp Pendleton, San Diego, CA
Blanco	S62	Camp Pendleton, San Diego, CA
Amarillo	P05	Laguna Figueroa, San Quintín, BC

2.3 Dispersión y distancia

Definimos la dispersión natal como el movimiento desde el nido natal a algún otro sitio de reproducción. Examinamos la dispersión natal en términos de la probabilidad de dispersión natal entre parches y las distancias de dispersión entre colonias. Para determinar si existe una conectividad como población o subpoblaciones se obtuvo la distancia entre colonias de San Diego, California y el Estero de Punta Banda, Baja California, midiendo desde el sitio donde fueron avistado los individuos de *S.a. browni* al sitio natal del individuo, utilizando la herramienta de cálculo de proximidad de distancia entre puntos del programa de sistemas de información geográfica ArcMap 10.1.

2.4 Determinación de poblaciones y subpoblaciones

Mediante la utilización del programa ArcMap 10.1 se ubicaron los sitios de nacimiento de las aves avistadas en el Estero de Punta Banda, obtenidos a partir de la lectura de los anillos de color alfanuméricos, ubicando las colonias de *S. a. browni* desde San Diego, CA, hasta el Estero de Punta Banda, Baja California.

Posteriormente se añadió una zona de amortiguamiento a cada colonia localizada, con relación a la capacidad de dispersión documentada para *Sternula antillarum*, considerando para cada colonia una zona de amortiguamiento máxima de 24 km de distancia de dispersión para subpoblaciones y distancias máxima de 96 km para definir poblaciones de *S. a. browni* (Atwood y Massey, 1988; Akçakaya et al., 2003; Lott et al., 2013).

2.5 Variables ambientales

Para determinar qué variables influyeron en la selección de hábitat de *S. a. browni* se identificaron dos tipos de variables que podrían estar influyendo la selección del sitio: tipo de vegetación y amenazas antropogénicas potenciales.

2.5.1 Vegetación

Se utilizó el sistema de información geográfica ArcMap 10.1. para crear mapas del tipo de vegetación en Baja California proyectando el conjunto de datos de vegetación de las seis capas de información obtenidas a través de INEGI a escala 1:250 000 “Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional Tijuana” (INEGI, 2013a), “Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional Mexicali” (INEGI, 2013b), “Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional Ensenada” (INEGI, 2013c)”, “Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional San Felipe” (INEGI, 2013d), “Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional Lázaro Cárdenas” (INEGI, 2013e) y “Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional” (INEGI, 2013f).

2.5.2 Amenazas potenciales

Mediante el sistema de información geográfica ArcMap 10.1. se crearon mapas de las posibles amenazas antropogénicas tales como localidades, caminos y carreteras alrededor del sitio de anidación en el Estero de Punta Banda utilizando las cuatro capas de información de datos vectoriales obtenidas a través de INEGI de escala 1: 50 000 “Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica H11B11 El Sauzal de Rodríguez escala 1:50 000” (INEGI, 2019a), “Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica H11B12 Ensenada escala 1:50 000” (INEGI, 2019b), “Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica H11B22 Rodolfo Sánchez Taboada escala 1:50 000” (INEGI, 2019c), “Conjunto de datos vectoriales de información topográfica H11B21 Rodolfo Sánchez Taboada escala 1:50 000 serie III” (INEGI, 2015).

Capítulo 3. Resultados

3.1 Movimientos de dispersión *Sternula antillarum browni*

Se registraron 25 aves anilladas en la temporada de reproducción de *S. a. browni*, durante el periodo de 2017-2020 en el Estero de Punta Banda (Tabla 3). De estos registros se reconocieron 16 individuos con anillos de identificación. El sitio natal con mayor presencia resultó ser Naval Base Coronado con siete individuos, seguido de Marine Corps Base Camp Pendleton y Tijuana River Estuary con tres individuos cada uno y Batiquitos Lagoon, Mariner's Point Mission Bay y Laguna Figueroa con un individuo identificado por sitio natal.

Seis aves fueron registradas en temporadas de reproducción de años anteriores, como es el caso de los individuos con los códigos de identificación B00, C59, H01, H07 y S62 que fueron registrados también en la temporada de reproducción del 2019. De igual forma, los individuos H01, H07 y H08 fueron registrados en la temporada de reproducción del 2018. Siendo tres individuos los que se reportaron durante tres años consecutivos del 2018 al 2020.

Tabla 3. Sitio natal de individuos de *Sternula antillarum browni* avistados en el Estero de Punta Banda, Ensenada, durante el periodo 2017-2020.

Sitio natal	Código de identificación	Años de recaptura	Año de anillación
Marine Corps Base Camp Pendleton	H08	2018, 2020	2009
	S62	2018, 2019	2009
	B05	2019	2006
Batiquitos Lagoon	P03	2018	2003
Mariner's Point Mission Bay	H01	2018, 2019, 2020	2015
	C42	2017	2002
	S51	2017	2011
Naval Base Coronado	B03	2019	2014
	B06	2019	2014
	N80	2019	2011
	N87	2019	2007
	S56	2019	2009
Tijuana River Estuary	H07	2018, 2019, 2020	2011
	B00	2019, 2020	2011
	C59	2019, 2020	2006
Laguna Figueroa	P05	2020	2018

Los individuos identificados provienen de seis sitios natales distintos, de los cuales cinco se encuentran en San Diego, CA: Marine Corps Base Camp Pendleton, Batiquitos Lagoon, Mariner's Point Mission Bay, Naval Base Coronado y Tijuana River Estuary; y uno en San Quintín, Baja California, en Laguna Figueroa (Figura 6). De las aves que se han registrado en temporadas de reproducción de años anteriores, tres provienen de Tijuana River Estuary (B00, C59 y H07), una de Mariner's Point Mission Bay (H01) y dos más al Norte de Marines Camp Pendleton (H08 y S62).



Figura 6. Sitios de nacimiento de los individuos de *Sternula antillarum browni* avistados en Estero de Punta Banda, Ensenada, Baja California, México. Desde San Diego, California, hasta Laguna Figueroa en San Quintín.

3.1.1 Distancia entre colonias

La distancia entre cada uno de los sitios de nacimiento y el sitio de avistamiento Estero de Punta Banda, se midió en km, siendo Tijuana River Estuary la localidad más cercana con una distancia de aproximadamente 98 km al Estero de Punta Banda. De los sitios natales Marine Corps Base Camp Pendleton resultó ser la localidad más alejada con una distancia de aproximadamente 177 km (Tabla 4).

Tabla 4. Distancias entre los sitios de nacimientos de los individuos de *Sternula antillarum browni* y el sitio de avistamiento, Estero de Punta Banda, Ensenada.

Sitio de Nacimiento	Distancia a Estero Punta Banda (km)
Marine Corps Base Camp Pendleton	177.0
Batiquitos Lagoon	159.4
Laguna Figueroa	137.0
Mariner's Point Mission Bay	124.1
Naval Base Coronado	111.4
Tijuana River Estuary	98.2

3.2 Delimitación de poblaciones y subpoblaciones

Se determinaron tres subpoblaciones conformando una población, de Norte a Sur, de Marine Corps Base Camp Pendleton, California, hasta Laguna Figueroa, Baja California, según las distancias de dispersión documentadas para *Sternula antillarum* (Lott et al., 2013).

3.2.1 Delimitación de subpoblaciones

Las zonas de amortiguamiento que se crearon para los sitios natales y el sitio de estudio consideran una capacidad de dispersión promedio máxima de 24 km para las subpoblaciones. Se muestran cinco zonas de amortiguamiento en la bahía de San Diego, CA que mostraron un traslape entre las colonias con mayor cercanía desde Camp Pendleton hasta Tijuana River Estuary (Figura 7).

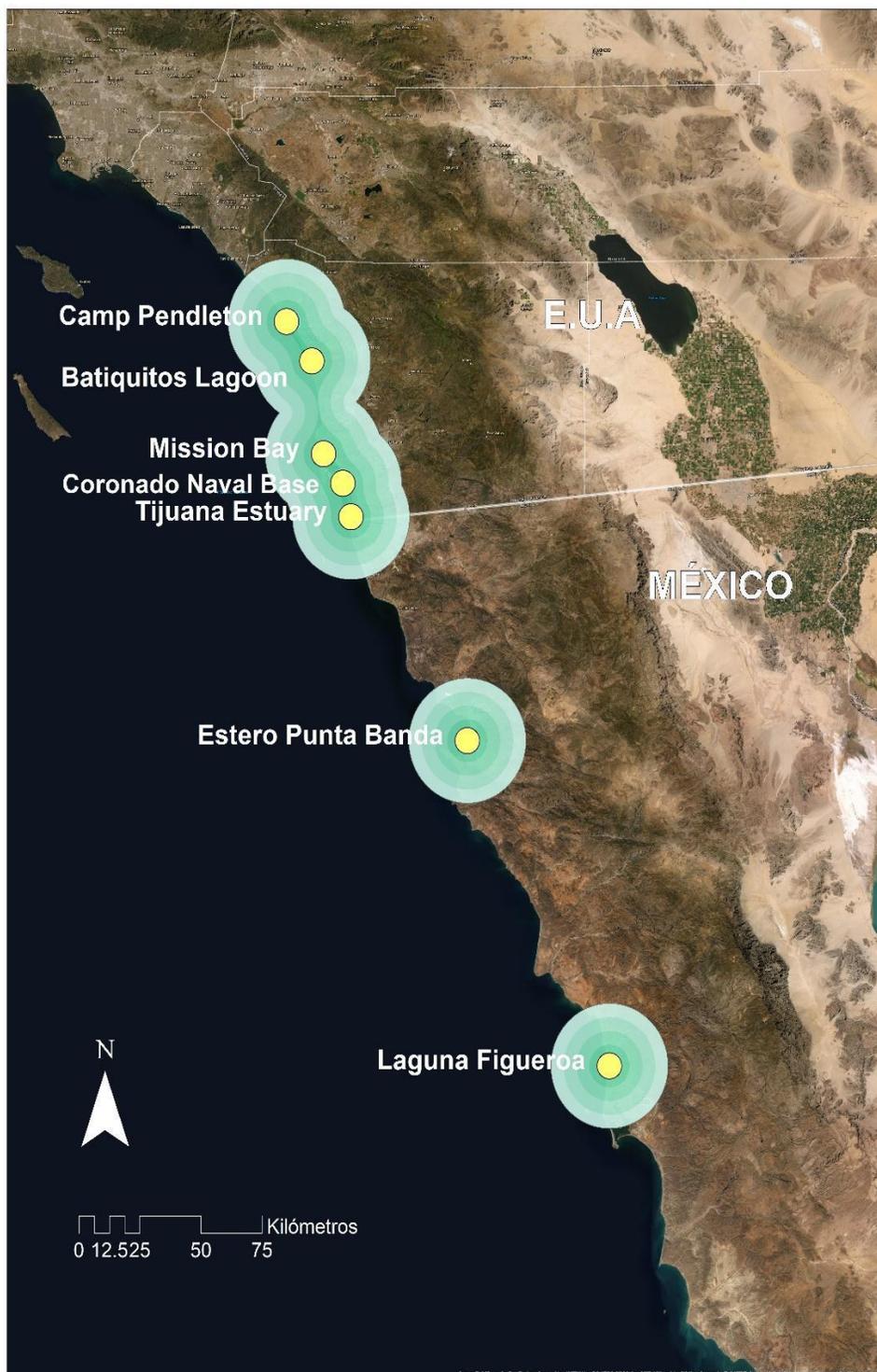


Figura 7. Zonas de amortiguamiento y de la capacidad de dispersión máxima de 24 km. Ilustrado en color azul la distancia de dispersión para los sitios de nacimiento y sitio de avistamiento. La zona de amortiguamiento muestra intervalos de distancia de 4 km, en un gradiente que va de azul oscuro a azul claro. El intervalo azul oscuro indica la distancia más cercana al sitio y el intervalo azul claro el intervalo de distancia más lejano. Los círculos amarillos indican los sitios natales y de recaptura.

En el mapa se puede observar que convergen en lo que se delimita como una subpoblación de acuerdo únicamente a la ubicación de las locaciones y la información de capacidad de dispersión reportada para *S. antillarum*. El Estero de Punta Banda se encuentra a una distancia mayor de 24 km de los sitios de nacimiento en San Diego, delimitándose como una segunda subpoblación. Al Sur de Estero Punta Banda, la zona de amortiguamiento realizada para el sitio de Laguna Figueroa en Bahía de San Quintín no mostró un traslape con ninguna de las otras zonas de amortiguamiento, por lo que se determina como una tercera subpoblación en relación a la distancia de dispersión.

3.2.2 Delimitación de poblaciones

Las poblaciones fueron determinadas mediante la elaboración de zonas de amortiguamiento con base en una capacidad de dispersión máxima promedio de 96 km (Figura 8). En el mapa se muestra un traslape entre las zonas de amortiguamiento de cada sitio desde el sitio natal ubicado más al Norte en Camp Pendleton, San Diego, hasta Laguna Figueroa en San Quintín en el Sur. Este traslape se puede observar principalmente dentro de los intervalos cercanos al centro de la zona de amortiguamiento, ilustrado en color azul. Al obtenerse un traslape de la zona de amortiguamiento de cada colonia dentro de una distancia de 96 km o menos, se determina como una población el conjunto de colonias, desde Camp Pendleton, San Diego, hasta Laguna Figueroa, San Quintín.

Tomando en cuenta la información de capacidad de dispersión potencial y observada de *Sternula antillarum* con los que se definieron las poblaciones y subpoblaciones, se buscaron los traslapes en las zonas de amortiguamiento entre colonias. En cuanto a la distancia de dispersión promedio de 96 km (Lott et al., 2013), se observa que las siete localidades forman una sola población con zonas de amortiguamiento convergentes desde Camp Pendleton, San Diego, hasta Laguna Figueroa en San Quintín, con las tres subpoblaciones ilustradas en azul, de Norte a Sur, considerándose de Camp Pendleton a Tijuana River Estuary una subpoblación, el Estero de Punta Banda como segunda subpoblación y Laguna Figueroa una tercera subpoblación (Figura 9).

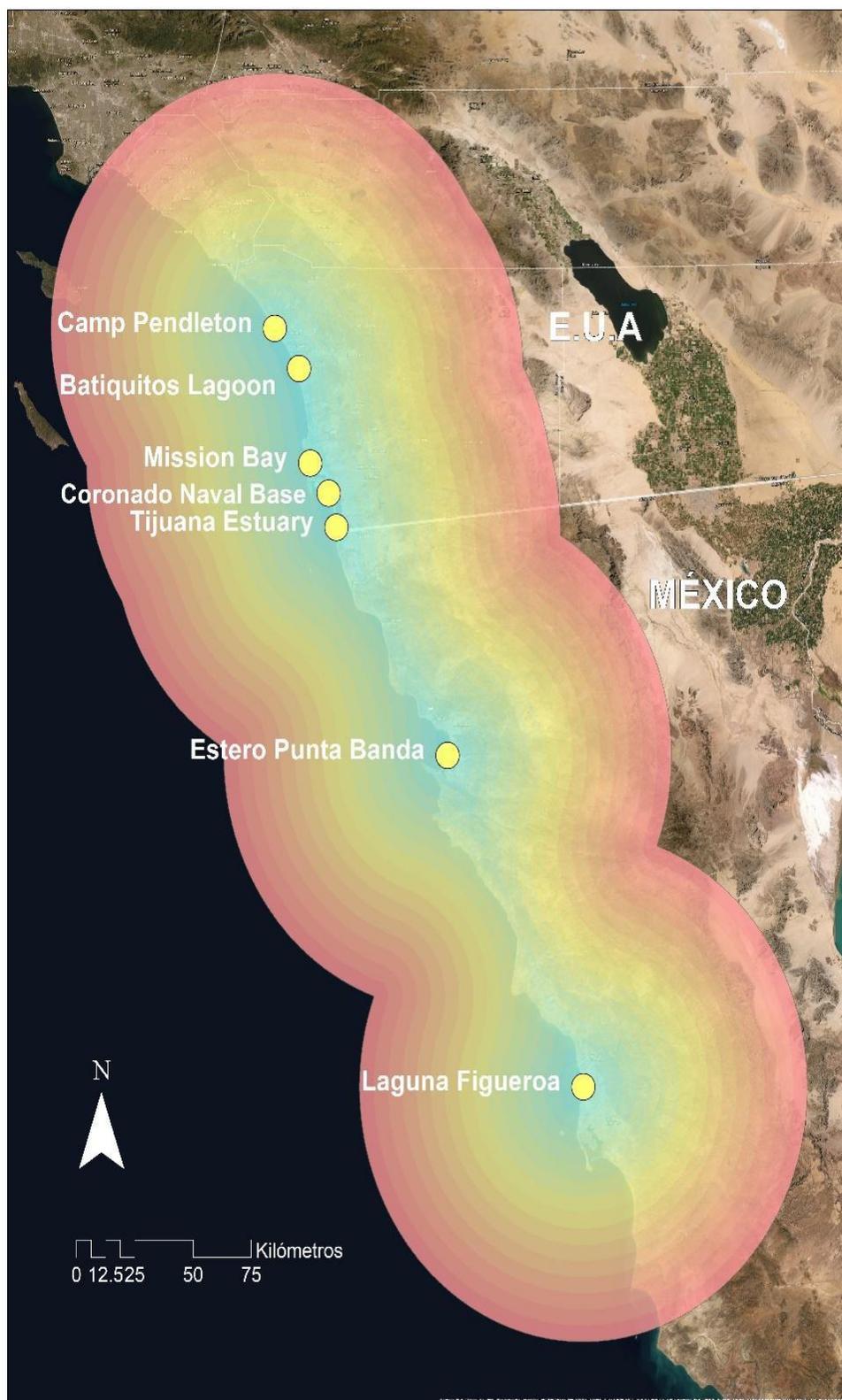


Figura 8. Zona de amortiguamiento de dispersión máxima de 96 km. Ilustrado en gradiente de color azul a rosa para cada sitio de nacimiento y de avistamiento la distancia de dispersión. La zona de amortiguamiento muestra un gradiente en intervalos de distancia de 4 km. El intervalo azul indica la distancia más cercana y el intervalo rosa la distancia más lejana con el último intervalo de 96 km. Los círculos amarillos indican los sitios natales y de recaptura.

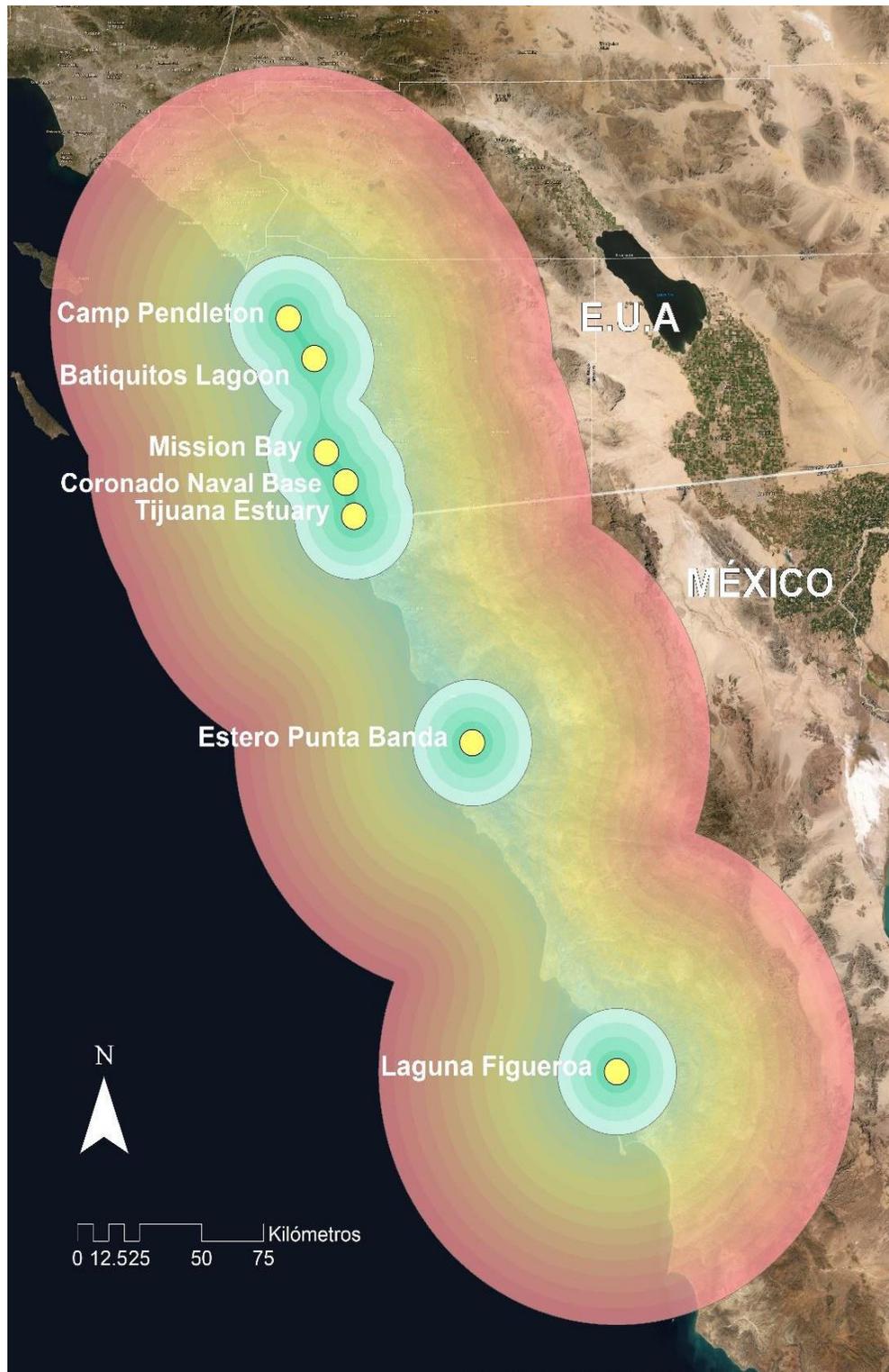


Figura 9. Delimitación de poblaciones y subpoblaciones de acuerdo con la capacidad de dispersión máxima de *Sternula antillarum*. Las zonas de amortiguamiento en el gradiente de azul a rosa indican el alcance de dispersión de una población. Las zonas de amortiguamiento en azul muestran el alcance de dispersión de la especie en subpoblaciones desde Camp Pendleton, California hasta Laguna Figueroa, Baja California.

3.3 Hábitat

Para identificar el tipo de vegetación asociado a la anidación de *S. a. browni* a lo largo de la costa oeste de Baja California hasta la bahía de San Quintín, se identificaron los sitios con vegetación de dunas costeras, matorral costero y chaparral. Así mismo, para determinar amenazas antropogénicas se localizaron las localidades, caminos y carreteras cercanos al sitio de anidación de la zona de estudio el Estero de Punta Banda.

3.3.1 Vegetación

De Norte a Sur se localizaron cuatro sitios con vegetación de dunas costeras, ilustradas en color amarillo (Figura 10), a lo largo de la costa en el Estero de Punta Banda, Ejido Eréndira, Punta Colonet y la Bahía de San Quintín.

De los sitios observados con vegetación de dunas costeras coinciden con la Bahía de San Quintín siendo uno de los sitios natales de los individuos avistados Laguna Figueroa en San Quintín, y con el Estero de Punta Banda, siendo el sitio de avistamiento de las aves. Se realizó un segundo mapa de acercamiento en la zona de estudio del Estero de Punta Banda para obtener una mejor visualización del tipo de vegetación de la zona de anidación, proyectando en amarillo la zona de la barra arenosa (Figura 11).

Para el resto de la costa no se encontraron registros de vegetación de dunas costeras con los datos de información geográfica del INEGI (2013a, b, c, d, e, f).

Para el resto de la costa se observa mayormente en color rojo vegetación de matorral costero y hacia el interior de la península vegetación de chaparral.

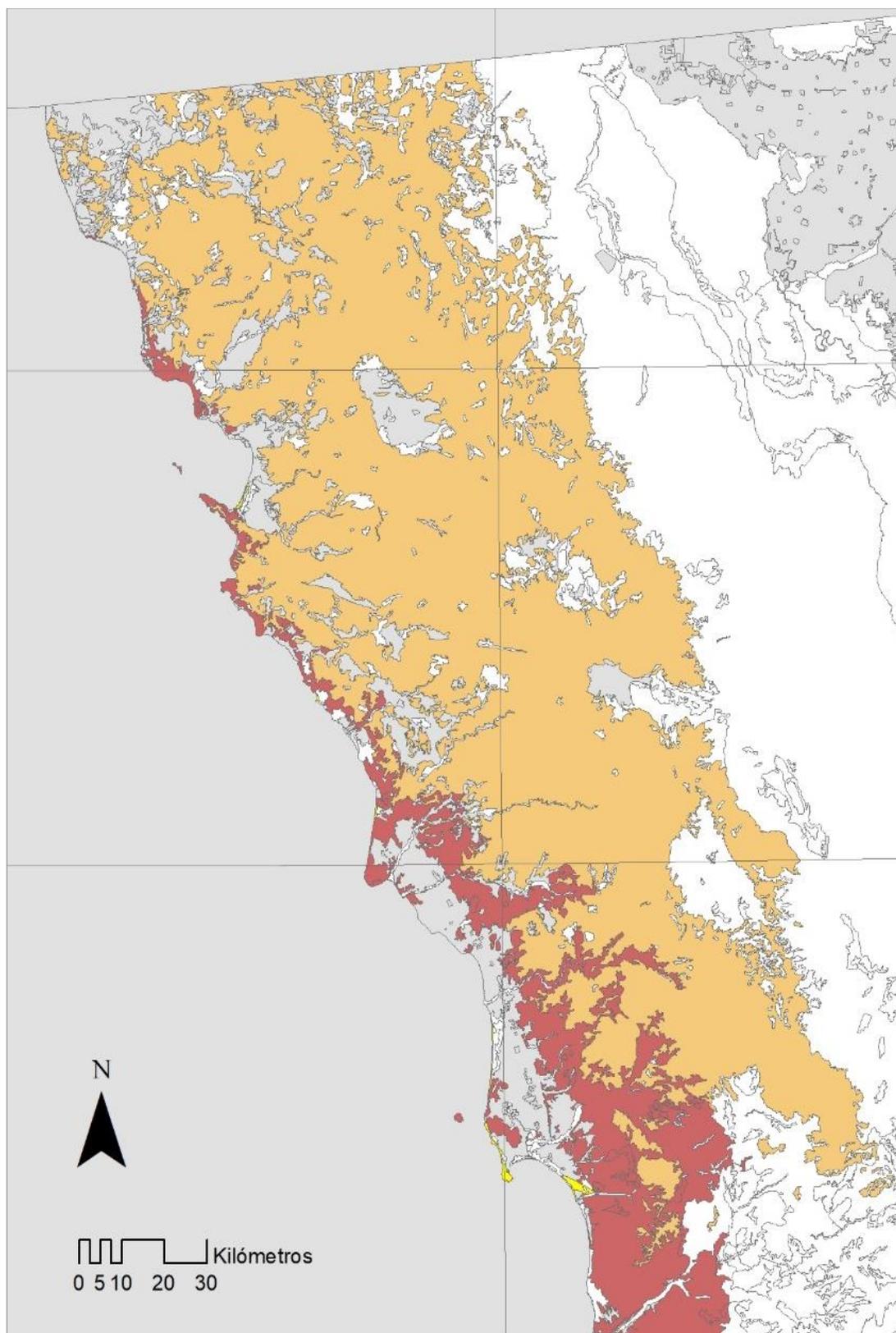


Figura 10. Mapa de vegetación de la costa oeste de la península de Baja California, hasta San Quintín. Indicando en color amarillo vegetación de dunas costeras, rojo vegetación de matorral rosetófilo costero, naranja vegetación de chaparral y blanco otro tipo de vegetación.

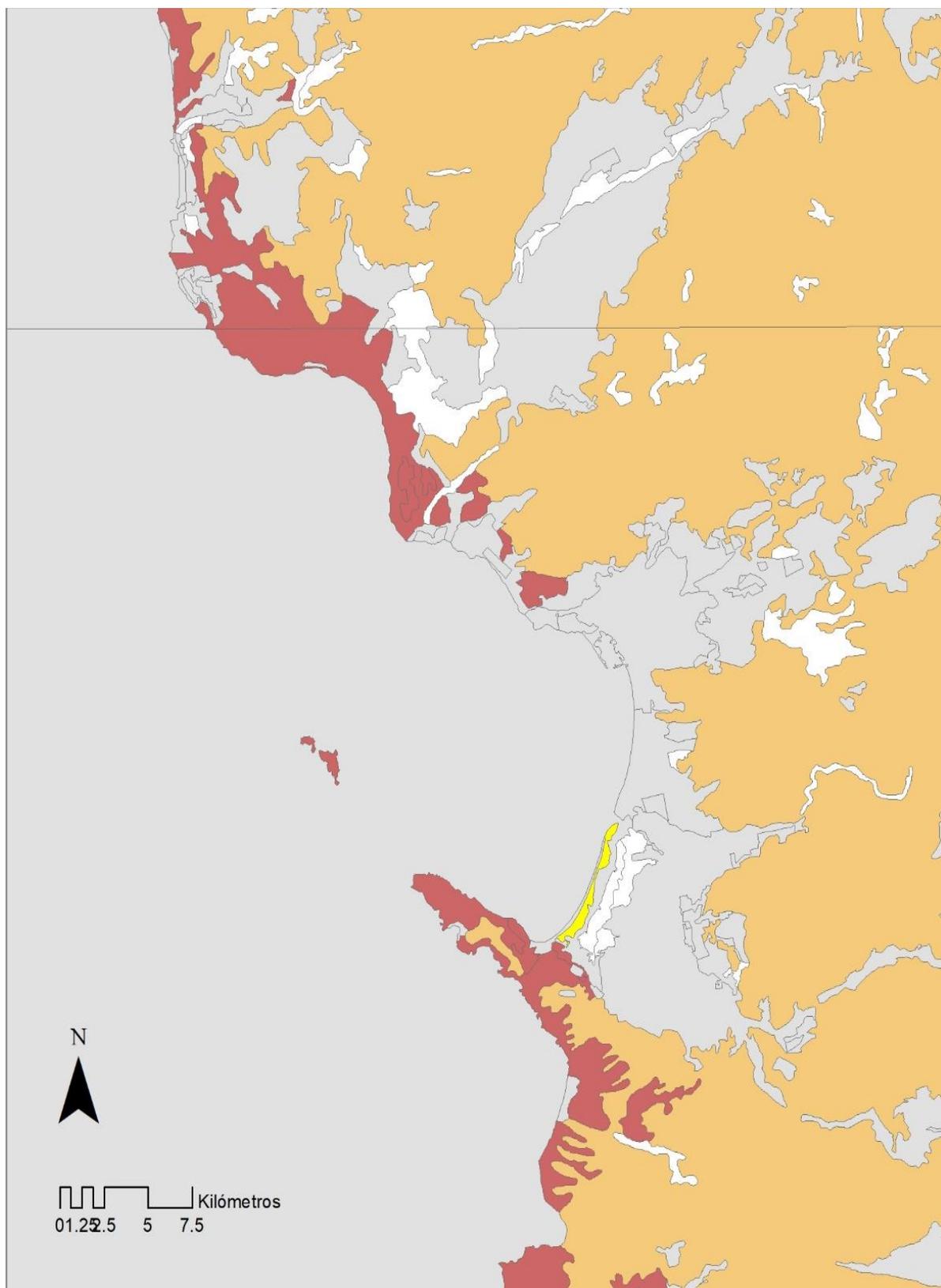


Figura 11. Mapa de vegetación del Estero de Punta Banda, Baja California. Indicando en color amarillo vegetación de dunas costeras, rojo vegetación de matorral rosetófilo costero, naranja vegetación de chaparral y blanco otro tipo de vegetación.

3.3.2 Amenazas potenciales

En el mapa de la Figura 12 se pueden observar las carreteras y caminos en Ensenada como líneas de color negro. La carretera más cercana al Estero de Punta Banda se localizó a aproximadamente 2.5 km al Sur del sitio de anidación. En la misma dirección a aproximadamente 1 km de distancia se encuentra un sendero sobre la barra arenosa del estero de uso turístico (Figura 12). De acuerdo con las observaciones en campo, aunque no hay un camino principal asfaltado que dirija directamente al sitio de anidación el tránsito de personas no está limitado al sitio y es de fácil acceso por la playa.

En cuanto a localidades cercanas al sitio de anidación, éstas se ilustraron en color morado, siendo la localidad más cercana al sitio de anidación a una distancia aproximada de 0.73 km al norte, como parte del complejo turístico Hotel Estero Beach, esta localidad se encuentra separada del sitio de anidación por el cuerpo de agua en la boca del estero, por lo que no se identifica un tránsito directo del complejo turístico al sitio de anidación.

Al sur del sitio de anidación se encuentra una localidad de zona residencial a una distancia aproximada de 2.5 km sobre la barra arenosa del estero (Figura 12).

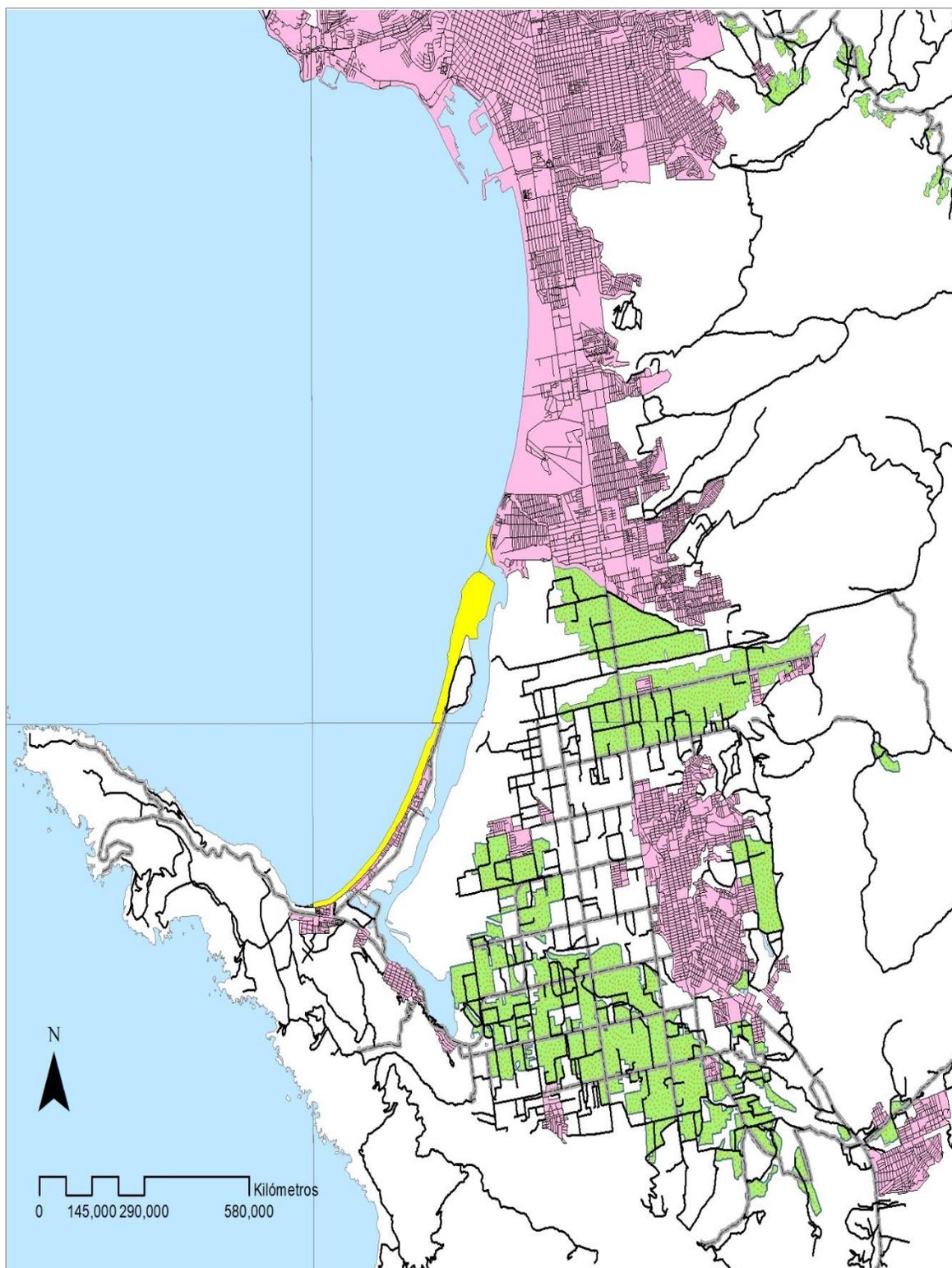


Figura 12. Mapa de localidades y vialidades en el Estero de Punta Banda, Baja California. Los polígonos en color amarillo indican la vegetación de dunas costeras, los polígonos rosas las localidades, y los polígonos en color verde las áreas de cultivo. Las carreteras y caminos están indicadas con líneas. Las líneas grises con negro indican las carreteras, mientras que las líneas negras indican los caminos y calles principales.

Capítulo 4. Discusión

4.1 Movimientos de dispersión de *Sternula antillarum browni*

Los registros de los individuos marcados de *Sternula antillarum browni* avistados en el Estero de Punta Banda revelaron que las aves identificadas provienen de seis sitios natales distintos. Cinco provienen de San Diego, CA y uno de San Quintín, Baja California. De las 16 aves anilladas identificadas durante la temporada de reproducción del año 2020, seis habían sido reportadas en el Estero de Punta Banda en temporadas anteriores. De estas seis, tres de ellas se registraron de manera consecutiva en las temporadas de reproducción de 2018 a 2020.

De los individuos de *S. a. browni* marcados y avistados en el Estero de Punta Banda durante las temporadas de reproducción de 2017 a 2020 se observó una mayor presencia de individuos provenientes de Coronado Naval Base. Sin embargo, ninguno de estos individuos fue registrado en una siguiente temporada. Esto puede deberse a que aunque los individuos visiten la colonia en el Estero de Punta Banda no necesariamente se reproduzcan y no regresen al sitio, ya que los sitios con pérdidas frecuentes pueden ser abandonados por causas conocidas como inundaciones, depredación o perturbación humana (SAWA, 2018; Sánchez, 2020) o que de acuerdo a lo que se ha documentado para este tipo de aves que aunque encuentren el hábitat como un sitio estable regresen a los sitios donde han tenido éxito en el pasado, en lugar de colonizar sitios cercanos (Palestis, 2014). El muestreo que se realizó no considera el éxito reproductivo de los individuos avistados en campo, por lo que las observaciones de los movimientos entre colonias discutidos en este trabajo no implica que los individuos provenientes de otros sitios se estén reproduciendo en el Estero de Punta Banda. Se sugiere realizar una investigación con un mayor número de muestra que incluya el éxito reproductivo de individuos provenientes de otros sitios natales por un mayor periodo de tiempo.

En cuanto a los sitios natales de los individuos de *S. a. browni* registrados en más de una temporada de reproducción provienen de norte a sur, de Marine Corps Base Camp Pendleton, Mariner's Point Mission Bay y Tijuana River Estuary, CA. Los resultados obtenidos de la presencia de los individuos reportados de 2018 a 2020 indican que estas aves han estado regresando de manera consecutiva al Estero de Punta Banda para la temporada de reproducción. Con los datos disponibles no se puede determinar una tendencia a largo plazo de la presencia de individuos de *S. a. browni* provenientes de las colonias de San Diego, CA, pero esto no significa que los individuos en el sitio de estudio estuvieron ausentes ya que la colonia del Estero de Punta Banda se comenzó a monitorear anualmente a partir del 2016 (Pro Esteros,

2020). En el año 1991 en el estudio de Palacios (1992) se documentó en el Estero de Punta Banda, la presencia de individuos de *S. a. browni* provenientes del sur de California; Venice Beach, Camp Pendleton y Tijuana River Estuary. Por lo tanto, no es posible confirmar el que las aves identificadas visitaran el sitio en temporadas de reproducción de años previos, pero no hay razones que permitan descartar esta posibilidad.

En los datos de campo se consideró pertinente el registro de individuos que llevaran anillo metálico únicamente (Tabla 1), debido a que en el sitio de estudio el anillamiento de pollos nacidos en el Estero de Punta Banda se inició en la temporada de anidación del 2019, aunque se conoce que no sobrevivieron los pollos anillados en dicha temporada. Se deduce que los individuos adultos observados con anillo metálico avistados en la temporada de anidación del 2020 son individuos que nacieron en un sitio distinto al Estero de Punta Banda (Pro Esteros, 2020). El que sea la naturaleza de la especie volar fácilmente en respuesta a la amenaza de intrusos en la colonia (Thompson et al., 2020) representó una limitante para tener un mayor acercamiento que permitiera identificar mediante los materiales de observación el código de identificación en el anillo metálico y por lo tanto no se incluyeron en los datos de identificación. Sin embargo, los esfuerzos realizados de los agentes involucrados en el estudio y monitoreo de *S. a. browni* representan un punto de partida para conocer los movimientos de dispersión entre poblaciones de entre California y Baja California para así desarrollar estrategias de manejo adecuadas.

4.1.1 Distancia entre colonias

Los resultados obtenidos de distancia entre los sitios natales y el Estero de Punta Banda mostraron que la distancia máxima resultó ser a Camp Pendleton, San Diego, CA a una distancia aproximada de 177 km, mientras que la menor distancia es a Tijuana River Estuary, San Diego, CA a 98 km aproximadamente (Tabla 4). Atwood y Massey (1988) obtuvieron resultados de un desplazamiento promedio de 15 km. Dada la capacidad de vuelo de las aves marinas, su limitante principal de dispersión entre colonias no suelen ser barreras físicas, sin embargo las barreras no físicas y procesos de comportamiento, como la filopatría desempeñan un papel importante en el flujo de individuos entre parches (Matthiopoulos et al., 2005; Friesen et al., 2007). *Sternula antillarum browni* ha sido descrita como una subespecie con alta fidelidad de sitio (Atwood y Massey, 1988), por lo que, aunque tiene la capacidad de volar largas distancias, la subespecie tiene una tendencia de no desplazarse a otras colonias para su reproducción o desplazarse a las colonias más cercanas. La subespecie *S. a. browni* se ha comparado en otros estudios con *S. a.*

athalassos, la cual anida en ríos en el interior de Estados Unidos de América y que se ha documentado con un menor grado de fidelidad de sitio (Renken y Smith, 1995; Akçakaya et al., 2003). Aunque se han realizado modelos de desplazamiento (Akçakaya et al., 2003) la información publicada del movimiento y dispersión de la subespecie *S. a. browni* entre San Diego CA y Baja California es escasa. Lott y colaboradores (2013) han discutido sobre las limitantes de los modelos de población realizados anteriormente que tienen alto grado de incertidumbre debido a factores de observación que son difíciles de superar con *Sternula antillarum*, como el que los pollos sean difíciles de observar, que la mayoría de las poblaciones no cumplan con los mismos supuestos de tiempos para el cierre de la temporada de reproducción y que las estimaciones de supervivencia son inciertas debido al problema de distinguir una muerte de una emigración permanente (Renken y Smith, 1995; Akçakaya et al., 2003). Por lo que es necesario realizar trabajos de anillamiento de pollos en el Estero de Punta Banda por un mayor periodo de tiempo y la recapturar de individuos anillados cuando esta sea necesaria, en los sitios de anidación para una mayor certidumbre del intercambio de individuos entre colonias.

4.2 Delimitación de poblaciones y subpoblaciones

El promedio de potencial de dispersión utilizado por Lott y colaboradores (2013) para determinar una subpoblación es de un máximo de 24 km. Bajo este supuesto, el límite de zonas de amortiguamiento para los sitios natales identificados y el Estero de Punta Banda que se realizaron en relación con el potencial de dispersión de *Sternula antillarum* mostraron como resultados tres subpoblaciones desde San Diego, CA hasta San Quintín, Baja California (Figura 6). El traslape entre las zonas de amortiguamiento de las colonias en San Diego desde Camp Pendleton, hasta Tijuana River Estuary delimita una subpoblación por la cercanía entre sus colonias dado que la probabilidad de dispersión es mayor entre parches ocupados cuanto menor es la distancia (Akçakaya et al., 2003; Lott et al., 2013). En cambio, el Estero de Punta Banda y Laguna Figueroa se determinarían como subpoblaciones individuales al estar a mayor distancia de 24 km de otras colonias. Los resultados sugieren que los movimientos de los individuos identificados estarían indicando un movimiento entre subpoblaciones.

En la literatura publicada, la capacidad de dispersión promedio para la especie está dentro de los 96 km según los datos reportados debido a la frecuencia moderada de distancias de dispersión entre 25 y 96 km y baja frecuencia de distancias observadas mayores a 96 km (Lott et al., 2013). Basándonos en los datos compilados por Lott y colaboradores (2013) el promedio para delimitar una población sería de máximo 96

km. Los resultados del presente estudio sugieren la delimitación de una sola población como el conjunto de colonias desde Camp Pendleton, CA hasta Laguna Figueroa, San Quintín al converger las zonas de amortiguamiento de 96 km. A pesar de estas distancias reportadas, en los resultados se observaron movimientos de dispersión entre colonias mayores a 98 km y con un máximo de 177 km. Estos datos se encuentran por encima del rango de distancias promedio de movimientos de dispersión entre poblaciones documentadas para *S. a. athalassos* de máximo 96 km. Esta diferencia puede deberse a que los estudios de distancias de dispersión publicados para la especie tienen áreas de estudio de un tamaño restringido a menos de 96 km desde el sitio de anillamiento, ya que los movimientos de larga distancia son difíciles de detectar fuera de las áreas de estudio espacialmente restringidas (Lott et al., 2013).

Basándonos en la definición subpoblaciones por distancia (Akçakaya et al., 2003), los resultados indican conectividad entre las subpoblaciones por dispersión de individuos de *S. a. browni* de San Diego, CA, a la subpoblación del Estero de Punta Banda. Así mismo, debido a la dispersión de individuos observada entre la subpoblación de Laguna Figueroa al Estero de Punta Banda, se sugiere que hay conectividad entre estas dos subpoblaciones. Sería necesario realizar más marcajes de individuos de *S. a. browni* en la colonia de Laguna Figueroa y monitorear este intercambio por un mayor periodo de tiempo anualmente, para un mayor número de muestra que incluya el movimiento de individuos nacidos en este sitio.

4.3 Variables ambientales

La preferencia de hábitat de las aves y las amenazas antropogénicas que representen un disturbio para su hábitat, tales como localidades y vialidades cercanas, tienen un efecto importante en los patrones de distribución de diferentes grupos de aves (Hernández, 2005; Morcuende, 2008). Factores como la vegetación y la protección que ofrece, así como las amenazas potenciales para *S. a. browni*, se consideran pertinentes para el manejo y conservación de la especie y su hábitat.

4.3.1 Tipo de vegetación

Estudios previos en subespecies de *S. antillarum* sugieren que la composición del suelo y la estructura de la vegetación se encuentran entre las variables más importantes para predecir la ubicación del sitio de

anidación de la especie (Swaigood et al., 2018). Dentro la distribución de vegetación desde el Estero de Punta Banda, hasta la Bahía de San Quintín, se encontró como cobertura vegetal predominante de matorral costero a lo largo de la costa este de la península de Baja California, con cuatro pequeños parches de vegetación de dunas costeras y hacia el interior de la península vegetación de tipo chaparral. En nuestro estudio uno de estos parches de vegetación de dunas costeras coincide con el sitio de anidación del Estero de Punta Banda. En el Estero de Punta Banda la vegetación de dunas costeras se localiza a lo largo de la barra arenosa, donde se encuentra la colonia de *S. a. browni*. De acuerdo con las observaciones en campo, la colonia localizada en el Estero de Punta Banda se encuentra al extremo de la barra arenosa en los límites de la vegetación de dunas costeras, coincidiendo con la literatura. Incluso, se localizaron nidos entre las dunas embrionarias con poca cobertura vegetal cercanas a la colonia. En el sitio natal identificado en Laguna Figueroa, San Quintín, la vegetación coincide con la barra arenosa de Laguna Figueroa. Sin embargo, sabemos que la colonia de *S. a. browni* se localiza en la zona de salitral. Laguna Figueroa, se ha descrito como una laguna hipersalina separada del océano por una barrera de dunas, el humedal incluye una estrecha franja de marisma y una gran zona de salitral detrás de la barrera de dunas (Palacios y Alfaro, 1991).

Las aves que anidan en playa durante la temporada de reproducción son vulnerables a los depredadores, haciendo que los individuos cambien sus prioridades de comportamiento o gasten energía en protegerse y que de otra manera invertirían en su reproducción, por lo que se considera que la vegetación es importante para su protección (Powell y Collier, 2000; Swaigood et al., 2018). La información reportada en los sistemas de información geográfica de cobertura vegetal de dunas costeras en la zona tiene poca resolución, por lo que implica una limitación para el estudio de ubicar zonas como hábitat potencial. Es de importancia realizar un manejo del hábitat en los sitios de anidación conocidos que brinden protección a las aves de los depredadores, siendo esta una de las principales amenazas de la subespecie (USFWS, 2006).

4.3.2 Amenazas potenciales

El desarrollo turístico y la proliferación de asentamientos humanos en los alrededores del Estero de Punta Banda han ocasionado pérdidas de hábitats importantes, principalmente en la barra arenosa con una gran pérdida del hábitat de dunas-matorral bajo semidesértico, quedando confinado este hábitat al tercio norte de la barra arenosa, sitio de anidación de *S. a. browni* (Palacios et al., 1991; Jiménez-Pérez et al., 2009).

De acuerdo con los resultados y observaciones en campo no se localizaron asentamientos humanos o vialidades que rodeen el sitio de anidación a menos de 500 metros de distancia que influirían de forma directa la colonia de anidación (Figura 12). El asentamiento humano más cercano al sitio de anidación es el complejo turístico Hotel Estero Beach, sin embargo, este se encuentra separado del sitio de anidación por el cuerpo de agua de la boca del estero, por lo que no se observa un tránsito terrestre directo al sitio de anidación.

En el Estero de Punta Banda la carretera más cercana al sitio de anidación se localizó a más de 2 km y se identificó un sendero a menos de un kilómetro de distancia del sitio de anidación sobre la barra arenosa del estero, por lo tanto, no se encuentra ninguna vialidad sobre el sitio de anidación o cercano a él. Sin embargo, durante el trabajo de campo se observó que el acceso al sitio de anidación permite el flujo de tránsito de personas, vehículos y mascotas. Se considera que debido al desarrollo urbano, las presiones de depredación sobre los charranes pueden aumentar ya que las especies depredadoras que prosperan entre los humanos colonizan más cerca de las colonias de la especie. Tanto en las observaciones de campo del presente estudio como en la literatura publicada (Carvacho et al, 1989; Palacios, 1992) se ha documentado que los adultos de *S. a. browni* al detectar una amenaza cercana al sitio de anidación reaccionan levantando el vuelo e intentando ahuyentar al intruso de la colonia. Así, el disturbio humano y de animales domésticos resulta en el descuido temporal de huevos y crías por parte de los padres durante el tiempo de permanencia de los intrusos. También se identificaron huellas de vehículos motorizados en el sitio de anidación a pesar de los señalamientos de restricción de vehículos en la zona. Este tipo de disturbio humano se ha documentado anteriormente como una amenaza para las poblaciones de *S. a. browni*, que además del impacto directo que causa en la destrucción de huevos y pollos, provoca el desvío de atención de los padres a las crías dejándolas vulnerables a otro tipo de amenazas (Carvacho et al., 1989).

Capítulo 5. Conclusiones

Las distancias entre las colonias natales localizadas en San Diego, CA de *Sternula antillarum browni* determinan el conjunto de colonias de San Diego CA como una subpoblación, e individualmente como dos subpoblaciones el Estero de Punta Banda y Laguna Figueroa en Baja California. Consideramos que los movimientos de individuos de *S. a. browni* de su sitio natal a otro sitio de anidación indica conectividad por dispersión entre las subpoblaciones.

Suponiendo una mayor probabilidad de dispersión entre parches ocupados cuanto menor es la distancia, consideramos que las distancias entre las subpoblaciones se encuentran lo suficientemente cerca para que sea posible el intercambio de individuos entre ellas como una misma población. Las distancias de los movimientos de dispersión entre los sitios natales de *S. a. browni* y el sitio de avistamiento fueron de 98 a 177 km. Estos datos se encuentran por encima del rango de distancias de dispersión promedio reportados en la literatura para la especie como movimientos entre sitios de anidación. Se requieren más estudios que documenten los movimientos de dispersión a larga distancia entre colonias para *S. a. browni*, para esto se sugiere dedicar esfuerzos significativos al anillamiento y posterior recaptura/avistamiento de individuos en las colonias conocidas en la costa oeste en Baja California.

De los Individuos de *S. a. browni* provenientes de otras colonias y avistados en el Estero de Punta Banda, se reportaron algunos de ellos regresando de manera consecutiva al Estero de Punta Banda para la temporada de reproducción (Tabla 3). Se requiere realizar estudios adicionales que consideren el éxito de anidación de los individuos provenientes de otros sitios natales con un mayor número de muestra para establecer si los individuos encuentran el nuevo sitio adecuado para su reproducción.

Los parches de vegetación de dunas costeras coincidieron con el sitio de anidación del Estero de Punta Banda y cercano el sitio de la colonia en Laguna Figueroa. Sin embargo, aún faltan más estudios de los sitios con potencial de hábitat en Baja California. Para garantizar la viabilidad de la colonia, es importante realizar un manejo del hábitat enfocado en la vegetación y suelo de los sitios de anidación conocidos que brinden protección a *S. a. browni* de los depredadores del Estero de Punta Banda. La depredación es una de las principales amenazas sobre esta subespecie. Se sugiere hacer una evaluación y manejo de hábitat en los sitios de anidación históricamente utilizados en Baja California considerando que sean sitios con potencial a ser colonizados por *S. a. browni*, considerando que los individuos se estén dispersando.

Entre las amenazas potenciales conocidas, no se localizaron asentamientos humanos o vialidades cercanas al sitio de anidación en el Estero de Punta Banda. Sin embargo, el libre acceso al sitio de anidación permite el de paso de personas y animales domésticos, así como el tránsito de vehículos. Entre las estrategias de manejo que se sugiere aplicar para la protección de *S. a. browni* en el sitio del Estero de Punta Banda es considerar una margen de distancia alrededor de la colonia que limite el tránsito de personas cercano a la colonia con la intención de que ésta no sea perturbada durante la temporada de anidación, así como la vigilancia en el sitio del uso obligatorio de correas para los animales domésticos.

Los resultados obtenidos nos dan un indicio de los patrones de dispersión que *S. a. browni* está realizando entre los sitios de anidación. Es necesario realizar estudios en los años siguientes que documenten los movimientos de dispersión que se están observando en la subespecie como un conjunto de subpoblaciones. La protección *S. a. browni* y su hábitat bajo un manejo binacional es de importancia para la conservación y crecimiento de las subpoblaciones en ambos países al estar experimentando cambios en la distribución de sus individuos, considerando que la conservación o disminución de una subpoblación influye en la conservación y permanencia de otra subpoblación.

Literatura citada

- Akçakaya, H. R., Atwood, J. L., Breininger, D., Collins, C. T., Duncan, B. 2003. Metapopulation dynamics of the California Least Tern. *The Journal of Wildlife Management*, 67(4), 829–842.
- Akçakaya, H. R., Mills, G., Doncaster, P. 2007. The role of metapopulations in conservation. En Macdonald, D. W., Service, K. (Eds.), *Key Topics in Conservation Biology* (pp. 64–84). Malden: Blackwell Publishing Ltd.
- Amador, E., Mendoza-Salgado, R., Palacios, E. 2008. Manejo de un sitio de anidación para la conservación de *Sternula antillarum* (Charadriiformes: Laridae) en Baja California Sur, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 79(1), 271-274.
- Atwood, J. L., Kelly, P. R. 1984. Fish dropped on breeding colonies as indicators of Least Tern food habits. *The Wilson Bulletin*, 96(1), 34-47.
- Atwood, J. L., Massey, B. W. 1988. Site fidelity of Least Terns in California. *Condor*, 90(2), 389–394.
- Bennun, L. A. 2001. Long-term monitoring and the conservation of tropical wetlands: high ideals and harsh realities. *Hydrobiología*, 458, 9–19. doi:10.1023/A:1013159406391
- Bleich, V. C., Wehausen, J. D., Holl, S. A. 1990. Desert-dwelling Mountain Sheep: conservation implications of a naturally fragmented distribution. *Conservation Biology*, 4(4) 383-390. doi:10.2307/2385931
- Braby, J., Braby, S. J., Braby, R. J., Altwegg, R. 2012. Annual survival and breeding dispersal of a seabird adapted to a stable environment: implications for conservation. *Journal of Ornithology*, 153(3), 809-816.
- Carvacho, A., Rios, R., Leon, C., Escofet, A. 1989. *Sterna antillarum browni* en el Golfo de California: Observaciones sobre una colonia reproductora en una zona vulnerable al impacto turístico. *Southwestern Association of Naturalists*, 34(1), 124. doi:10.2307/3671817
- Coulson, J. 1993. Bird ringing: the greatest advance in the study of birds in the 20th century. *Alauda*, 61, 5–8.
- Denis, D. 2001. Dinámica metapoblacional en las colonias de garzas (Aves: Ardeidae) de la ciénaga de Biramas, Cuba. *Journal of Caribbean Ornithology*, 16(1), 35–44.
- Ebenhard, T. 1991. Colonization in metapopulations: a review of theory and observations. *Biological Journal of the Linnean Society*, 42(1–1), 105–121.
- Elliott, M. L., Hurt, R., Sydeman, W. J. 2007. Breeding biology and status of the California least tern *Sterna antillarum browni* at Alameda Point, San Francisco Bay, California. *Waterbirds*, 30(3), 317–325. doi:10.1675/1524-4695(2007)030[0317:BBASOT]2.0.CO;2
- Escofet, A. 1989. Ecología aplicada en Baja California. En J. de la Rosa-Vélez , F. González-Farías (Eds.), *Temas de oceanografía biológica en México*. Universidad Autónoma de Baja California: México.
- Escofet, A., Espejel, I. 1991. La belleza de lo pequeño II. *ConCiencia* 6. México: Universidad Autónoma de Baja California.

- Esler, D. 2000. Applying metapopulation theory to conservation of migratory birds. *Conservation Biology*, 14(2), 366–372. doi:10.1046/j.1523-1739.2000.98147.x
- Friesen, V. L., Burg, T. M., McCoy, K. D. 2007. Mechanisms of population differentiation in seabirds. *Molecular Ecology*, 16(9), 1765-1785.
- Frost, N. 2017. Final Report California Least Tern breeding survey: 2016 season. California Department of Fish and Wildlife. San Diego, CA.
- Galvez, X., Guerrero, L., Crías, N. 2016. Evidencias físicas de la estructura metapoblacional en el Flamenco Caribeño (*Phoenicopterus ruber ruber*) a partir de avistamientos de individuos anillados. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 4, 93-98.
- Gilpin, M., Hanski, I. 1991. *Metapopulation dynamics: Empirical and theoretical investigations*. Academic Press: London.
- Gochfeld, M. 1983. Colony site selection by least terns: physical attributes of sites. *Colonial Waterbirds*. 6, 205-213.
- Hanski, I. 1999. *Metapopulation ecology*. Oxford University Press: Oxford
- Hanski, I., Gilpin, M. 1991. Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain. *Biological journal of the Linnean Society*, 42(1-2), 3-16.
- Hernández, S. 2005. Aves estuarinas de la costa de Jalisco, México: análisis de la comunidad, reproducción e identificación de áreas de importancia para la conservación de las aves. Tesis de doctorado en Ciencias Marinas. Instituto Politecnico Nacional. 149 pp.
- INEGI. 2013a. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000 serie V, Conjunto Nacional. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. Consultado el 15 de junio de 2021 en: <https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825572372>
- INEGI. 2013b. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000 serie V, Conjunto Nacional Ensenada. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. Consultado el 15 de junio de 2021 en: <https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825572242>
- INEGI. 2013c. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000 serie V, Conjunto Nacional Lázaro Cárdenas. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. Consultado el 15 junio de 2021 en: <https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825572365>
- INEGI. 2013d. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000 serie V, Conjunto Nacional Mexicali. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. Consultado el 15 de junio de 2021 en: <https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825573966>
- INEGI. 2013e. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000 serie V, Conjunto Nacional San Felipe. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. Consultado el 15 junio de 2021 en: <https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825572358>

- INEGI. 2013f. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000 serie V, Conjunto Nacional Tijuana. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. Consultado el 15 junio de 2021 en: <https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825573867>
- INEGI. 2015. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica H11B21 Rodolfo Sánchez Taboada, escala 1:50 000 serie III. Aguascalientes, México. Consultado el 24 julio de 2021 en: <https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825002783>
- INEGI. 2019a. Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica H11B11 El Sauzal de Rodríguez, escala 1:50 000. Aguascalientes, México. Consultado el 24 julio de 2021 en: <https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463831624>
- INEGI. 2019b. Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica H11B12 Ensenada, escala 1:50 000. Aguascalientes, México. Consultado el 24 julio de 2021 en: <https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463833345>
- INEGI. 2019c. Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica H11B22 Rodolfo Sánchez Taboada, escala 1:50 000. Aguascalientes, México. Consultado el 24 de julio de 2021 en: <https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463831631>
- Jiménez-Pérez, L. C., de la Cueva, H., Estrada-Ramírez, R. F., A., M.-P. y. 2009. Avifauna del Estero de Punta Banda, Baja California, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 25(3), 589–608. <https://doi.org/10.21829/azm.2009.253663>
- Lindberg, M. S., Sedinger, J. S., Derksen, D. V., Rockwell, R. F. 1998. Natal and breeding philopatry in a black brant, *Branta bernicla nigricans*, metapopulation. *Ecology*, 79(6), 1893–1904.
- Lott, C. A., Wiley, R. L., Fischer, R. A., Hartfield, P. D., Scott, J. M. 2013. Interior Least Tern (*Sternula antillarum*) breeding distribution and ecology: Implications for population-level studies and the evaluation of alternative management strategies on large, regulated rivers. *Ecology and Evolution*, 3(10), 3613–3627. doi:10.1002/ece3.726
- Marion, W. R., Shamis, J. D. 1977. An annotated bibliography of bird marking techniques. *Bird-Banding*, 48, 42–61.
- Martínez-Ríos, L.M. 2005. Ramsar Sites Information Services. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (fir). Consultado el 15 de septiembre de 2020 en: <https://rsis.ramsar.org/ris/1604>
- Massey, B. W. 1974. Breeding biology of the California Least Tern. *Proceedings of the Linnaean Society of New York*, 72, 1–24.
- Massey, B. W., Fancher, J. M. 1989. Renesting by California least terns. *Journal of Field Ornithology*, 60(3), 350–357.
- Matthiopoulos, J., Harwood, J., Thomas, L. 2005. Metapopulation consequences of site fidelity for colonially breeding mammals and birds. *Journal of Animal Ecology*, 74(4), 716–727. doi:10.1111/j.1365-2656.2005.00970.x
- McNicholl, M. K. 1975. Larid site tenacity and group adherence in relation to habitat. *The Auk*, 92(1), 98–104.

- Moilanen, A. 2004. SPOMSIM: Software for stochastic patch occupancy models of metapopulation dynamics. *Ecological Modelling*, 179(4), 533–550. doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.04.019
- Morcuende, B. M. 2008. Dinámica de población y viabilidad de la Avutarda común en la Comunidad de Madrid. Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de Madrid. Consultado el 9 de agosto de 2020 en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/8614/>
- Myers, J. P., Morrison, Morrison, R. I. G., Antas, P. Z., Harrington, B. A., Lovejoy, T. E., Sallaberry, M., Senner, S. E., Tarak, A. 1987. Conservation strategy for migratory species. *American Scientist*, 75, 19-26.
- Palacios, E. 1988. Requerimientos y hábitos reproductivos de la Golondrina Marina de California (*Sterna antillarum browni* Mearns, 1916) en la Ensenada de La Paz. Tesis de Licenciatura en Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 73 pp.
- Palacios, E. 1992. Anidación del Gallito Marino Californiano (*Sterna antillarum*) en Baja California: su relación con gradientes ambientales y de disturbio, e implicaciones para el manejo. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 90 pp.
- Palacios, E., Alfaro, L. 1991. Breeding birds of Laguna Figueroa and La Pinta Pond, Baja California, México. *Western Birds* 22, 27-32.
- Palacios, E., Mellink, E. 1996. Status of the Least Tern in the Gulf of California (Estado de *Sterna antillarum* en el Golfo de California). *Journal of Field Ornithology*, 67(1), 48–58. doi:10.2307/4514082
- Palacios, E., Escofet, A., Loya-Salinas, D. H. 1991. The Estero de Punta Banda, BC, Mexico as a link In the Pacific Flyway: Abundance of shorebirds. *Ciencias Marinas*, 17(3), 109-131.
- Palestis, B. G. 2014. The role of behavior in tern conservation. *Current Zoology*, 60(4), 500-514.
- Powell, A. N., Collier, C. L. 2000. Habitat use and reproductive success of western snowy plovers at new nesting areas created for California least terns. *Journal of Wildlife Management* 64, 24–33.
- Pritchard, D. W., De-La-Paz-Vela, R., Cabrera-Muro, H., Farreras-Sanz, S., Morales, E. 1978. Hidrografía física del estero de Punta Banda Parte 1: análisis de datos. *Ciencias Marinas*, 5(2), 1–23. Consultado el 22 de junio de 2020 de: <http://www.cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarinas/article/view/325/280>
- Pro Esteros A.C. 2017. El Charrán mínimo (*Sternula antillarum*). Consultado el 12 de junio de 2020 de: <https://proesteros.org/charran-minimo-sternula-antillarum/>
- Pro Esteros A.C. 2020. Programa de Monitoreo y Conservación del Gallito marino (*Sternula antillarum browni*). Consultado el 14 de junio de 2021 de: <https://proesteros.org/portfolio-items/monitoreo-gallito-marino/>
- Renken, R. B., Smith, J. W. 1995. Interior Least Tern site fidelity and dispersal. *Colonial Waterbirds*, 18 (2), 193-198.
- Rubio-Polania, J. C., Solana-Arellano, E., Díaz-Castañeda, V., Flores-Uzeta, O. 2016. Effect of sieve mesh size in the density and biomass values of the estuarine benthic community from Estero Punta Banda, Baja California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(3), 599-608. doi:10.4067/s0718-19572016000300011

- Sánchez, A. 2020. Aves del Estero de Punta Banda. Consultado el 23 de junio de 2020: The Scripps Institution of Oceanography en the University of California, San Diego de: <https://storymaps.arcgis.com/stories/7207266925ee4190905a96eb89f8468a>
- Sánchez, G., Rafael, E., Gosálvez, U. 2018. Análisis de metapoblaciones de aves acuáticas en La Mancha Húmeda: importancia de la disponibilidad de humedales. Cuadernos Geográficos, 57, 92-112.
- SAWA (The Santa Ana Watershed Association). 2018. Activity of the California Least Tern (*Sternula antillarum browni*) at Huntington State Beach, Orange County, CA. Consultado el 3 septiembre de 2021 de: https://seaandsageaudubon.org/Conservation/LeastTerns/2020/GenInfo/2018_SAWA_CLTE_Report.pdf
- Southern, L. K., Southern, W. E. 1982. Effect of habitat decimation on Ring-billed Gull colony-and nest-site tenacity. The Auk, 99(2), 328-331.
- Swaisgood, R. R., Nordstrom, L. A., Schuetz, J. G., Boylan, J. T., Fournier, J. J., Shemai, B. 2018. A management experiment evaluating nest-site selection by beach-nesting birds. The Journal of Wildlife Management, 82(1), 192-201.
- Thompson, B. C., Jackson, J. A., Burger, J., Hill, L. A., Kirsch, E. M., Atwood, J. L. 2020. Least Tern (*Sternula antillarum*), version 1.0. Birds of the World (A. F. Poole and F. B. Gill, Editors). Consultado el 16 de junio de 2020 de: <https://doi.org/10.2173/bow.leater1.01>
- USFWS (U.S. Fish and Wildlife Service). 2006. California least tern (*Sternula antillarum browni*) 5-year review and summary evaluation. Carlsbad Fish and Wildlife Office. Carlsbad, California, USA.