

**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**

**Abundancia poblacional y uso de hábitat del lobo fino de
Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*) en Isla
Guadalupe, México**

Tesis

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

Presenta:

Edgar Octavio Flores Hernández

Ensenada, Baja California, México
2018

Tesis defendida por

Edgar Octavio Flores Hernández

y aprobada por el siguiente Comité

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski
Directora de tesis

Dr. Mario Andrés Pardo Rueda

Dr. Jaime Luévano Esparza

M. en C. Julio César Hernández Montoya



Dra. Clara Elizabeth Galindo Sánchez
Coordinadora del Posgrado en Ciencias de la Vida

Dra. Rufina Hernández Martínez
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Edgar Octavio Flores Hernández** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Vida con orientación en Biología Ambiental.

Abundancia poblacional y uso de hábitat del lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*) en Isla Guadalupe, México

Resumen aprobado por:

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski
Directora de tesis

Isla Guadalupe posee la colonia más grande de lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*), localizada a 240 km de la costa occidental de la Península de Baja California, en el Océano Pacífico noroeste. Durante el siglo XIX, el lobo fino de Guadalupe fue cazado intensivamente, causando un grave decremento poblacional. Actualmente se encuentra protegido en México. Las poblaciones han sido monitoreadas ocasionalmente desde la década de los setenta y sus números han incrementado. Todos los conteos realizados han sido desde embarcación o a pie, y no se ha reportado ningún conteo aéreo para este taxón. En este trabajo se estimó la abundancia poblacional de la colonia de lobo fino en Isla Guadalupe a través de una función de corrección para las estimaciones poblacionales, mediante la comparación entre conteos desde embarcación y la toma simultánea de imágenes desde un VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) de tipo cuadricóptero VTOL (Vertical Take Off and Landing System). Se contó un total de 29,972 individuos en fotografías tomadas desde el VANT, mientras que el conteo directo de observadores desde la embarcación arrojó un 11.4% menos. El monitoreo aéreo fue significativamente más eficiente que el de embarcación para el conteo total de organismos ($p < 0.05$); sin embargo, la detectabilidad por categorías no se ve afectada con el aumento en el número de organismos ($p > 0.05$). Además, se hicieron observaciones desde tierra en tres playas al sur de la isla para determinar las preferencias de hábitat terrestre durante el día, tanto por categoría de edad/sexo, como por sustratos. Se infirió la respuesta de la densidad poblacional (individuos km^{-2}) a la temperatura ambiental diurna, por categorías y sustrato. El modelo sugiere que la tolerancia al aumento de la temperatura atmosférica, y por ende la necesidad de entrar al agua para termorregular, varía en función de la categoría de edad/sexo. La densidad de crías, hembras y machos subadultos en tierra disminuye más rápido con el aumento de temperatura, mientras que la de los machos adultos se mantiene a temperaturas un poco más altas. No se encontraron preferencias por algún tipo de sustrato en relación al aumento de temperatura.

Palabras Clave: Abundancia de lobo fino, Isla Guadalupe, VANT, preferencias de hábitat, temperatura, sustrato.

Abstract of the thesis presented by **Edgar Octavio Flores Hernández** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Life Sciences with orientation in Environmental Biology.

Abundance and habitat preferences of the Guadalupe fur seal (*Arctocephalus philippii townsendi*) at Isla Guadalupe, México

Abstract approved by:

Gisela Heckel Dziendzielewski, Ph.D.
Thesis director

Guadalupe Island has the largest colony of Guadalupe fur seals (*Arctocephalus philippii townsendi*), located 240 km off the western coast of the Baja California Peninsula, in the northeastern Pacific Ocean. During the 19th century, the Guadalupe fur seal was hunted intensely, causing a severe population decline. It is currently protected in Mexico. Populations have been monitored occasionally since the 1970s and their numbers have increased. All counts have been performed from boat or on land, and no aerial count for this taxon has been reported. In this work, the population abundance of the fur seal colony on Guadalupe Island was estimated through a correction function for the population estimates, by comparing boat counts and the simultaneous taking of images from an UAV (Unmanned Aerial Vehicle) quadcopter type VTOL (Vertical Take Off and Landing System). A total of 29,972 organisms were counted in photographs taken from the UAV, while observers from the boat counted 11.4% less. Aerial monitoring was significantly more efficient than boat monitoring for the total count of organisms ($p < 0.05$); however, detectability by categories is not affected by the increase in the number of organisms ($p > 0.05$). In addition, observations were made from land on three beaches south of the island to determine terrestrial habitat preferences during the day, both by categories and by substrates. The response of the population density (individuals km^{-2}) to the daytime environmental temperature was inferred by categories and substrate. The model suggests that tolerance to the increase in atmospheric temperature, and therefore the need to enter water for thermoregulation, varies according to the age / sex category. The density of pups, females and subadult males on land decreases faster with the increase in temperature, while that of adult males is maintained at slightly higher temperatures. No preferences were found for any type of substrate in relation to the increase in temperature.

Key words: Fur seal abundance, Isla Guadalupe, VANT, habitat preferences, temperature, substrate.

Dedicatoria

A mis padres (3) y hermanos (3),

por estar siempre de alguna u otra forma...

Son todo para mí.

Agradecimientos

A CONACYT por la beca con número de registro 589147 durante el periodo 2015-2017; a CICESE por aceptarme en el posgrado de Ciencias de la Vida y por el apoyo económico brindado.

SEMARNAT por otorgar la licencia de colecta: SGPA/DGVS/00050/16.

SEMAR, 2da Región Naval Ensenada, B. C. por las facilidades en el traslado y amabilidad en la estancia en la base naval de Isla Guadalupe.

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski, toda mi gratitud por todo su apoyo y respaldo incondicional, así como la disposición para coordinar este proyecto. Gracias también por aquella primera entrevista sin cita previa, y por aceptar guiarme durante todo el viaje académico. Pero sobre todo, por tanta paciencia en mi primera experiencia como tesista.

Dr. Mario Andrés Pardo Rueda, gracias por los valiosos aportes y las minuciosas observaciones para mejorar este trabajo. Además de todas tus enseñanzas en el mundo de la estadística y de la programación.

Al Dr. Jaime Luévano Esparza, por aceptar participar en este proyecto, y aportar su particular punto de vista. Gracias también por recordarme que en la biología, el aspecto histórico de las especies es fundamental.

M. en C. Julio César Hernández Montoya, te agradezco los buenos consejos y todo el conocimiento aportado. Tu vasta experiencia en el tema es invaluable.

Dr. Horacio de la Cueva, agradezco su disposición para discutir y aclarar dudas del proyecto. Gracias por mostrarme lo valioso que es pedir otro punto de vista, y hacerme ver que explicando también se aprende.

Dr. Fernando Elorriaga Verplancken y M.V.Z Casandra Gutiérrez, gracias por permitir que me integrara a su expedición a Isla Guadalupe en el verano del 2016; fueron mi pasaporte a la isla y a los lobos.

Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C.: Agradezco su buena disposición para integrarme al censo anual de pinnípedos en Isla Guadalupe, y permitirme usar los conteos de 2013 a 2015 para incluirlos en el análisis de la abundancia histórica.

Al equipo del censo de pinnípedos 2016 en Isla Guadalupe: Ángeles, Ariana, Gerardo, Salvador, Christian, "Gori" y Padilla. Gracias por adaptarse a un nuevo ritmo de trabajo; también gracias por los lonches compartidos y los cantos apasionados durante las navegaciones.

Karen Adame, te agradezco por enseñarme a volar el drone, y ayudarme con los inicios de mi proyecto durante mi primera estancia en La Paz, B.C.S. Además, tu trabajo sirvió como base para una parte de este estudio.

A la pandilla Guadalupana del verano de 2016. Gracias, Isabel, Dania y Josué por hacer mi estancia más divertida y llevadera. Por la pizza, bailes y las películas. No sé qué hubiera hecho sin su presencia en esa expedición.

Amigos y conocidos de La Paz, B.C.S., gracias por hacer mis estancias más llevaderas con su amabilidad y hospitalidad. Estoy en deuda con ustedes.

A mis “contadores” Mónica, Jannet y Diego, por ser mis segundos ojos en los interminables conteos fotográficos.

Al grupo “Focas”, muchas gracias por integrarme de tan buena manera a su círculo y compartir experiencias inolvidables, sin importar el lugar o la hora. Gracias Denise, Claudia, Lupita, Maricela, Eli, Eva y Alex por esas grandes aventuras, propias del mundo de los mamíferos marinos.

Al primordio, gracias por compartir tanto conmigo. Mucho de esto es gracias a ti.

Agradezco a mis compañeros de CICESE, de diversos posgrados y generaciones, por formar parte de esta historia de alguna u otra manera; ya sea en lo académico, social o deportivo, tengan por seguro que aportan algo a este proyecto.

Amigos de Salamanca, les estoy eternamente agradecido por brindarme su incondicional amistad y estar siempre, aunque sea a la distancia. Gracias por ser mi desconexión del mundo académico y, en ocasiones, mi desahogo emocional.

Arlette, te agradezco todo el apoyo que me has dado de manera incondicional. Gracias por alentarme a contactar a Gisela y por estar siempre al pendiente de mí. De no ser por ti, esto ni siquiera hubiera empezado.

Por último agradezco a mi familia, quienes sin importar la situación siempre me muestran su cariño y apoyo incondicional. Sepan que es recíproco y que esto es por y para ustedes en mayor medida. Los llevo siempre conmigo.

Tabla de contenido

Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	ix
Lista de tablas.....	xi
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	2
1.1.1. Biología del lobo fino de Guadalupe	2
1.1.1.1. Descripción	2
1.1.1.2. Distribución	3
1.1.1.3. Ecología Reproductiva	3
1.1.1.4. Hábitos alimentarios	4
1.1.2. Abundancia poblacional	4
1.1.3. Métodos de conteo	5
1.1.3.1. Conteos desde aeronaves tripuladas	6
1.1.3.2. Conteo fotográfico con aeronaves no tripuladas.....	7
1.1.4. Preferencias De Hábitat	7
1.1.4.1. Sustrato	7
1.1.4.2. Temperatura.....	8
1.2 Justificación	9
1.3. Objetivos	9
1.3.1. Objetivo general.....	9
1.3.2. Objetivos particulares	9
1.4. Hipótesis.....	10
Capítulo 2. Materiales y método	11
2.1. Área de estudio	11

2.2. Abundancia poblacional	12
2.2.1. Muestreo con VANT	12
2.2.2. Procesamiento de fotografías	13
2.2.3. Análisis de datos	15
2.3. Preferencia de hábitat	16
2.3.1. Observaciones desde punto fijo	16
2.3.2. Análisis de datos	17
Capítulo 3. Resultados	18
3.1. Abundancia poblacional	18
3.1.1. Ajustes con GLMs	19
3.1.2. Corrección de abundancias históricas	21
3.1.3. Porcentaje de animales no observados: comparación entre métodos.	23
3.1.4. Estimación comparativa con conteo de crías	28
3.2. Preferencias de hábitat	29
3.2.1. Modelo jerárquico por categorías de edad/sexo	29
3.2.2. Modelo jerárquico por tipo de sustrato	32
Capítulo 4. Discusión	35
4.1 Abundancia poblacional	35
4.2 Estimación comparativa	38
4.3 Preferencias de hábitat	39
4.3.1 Categorías de edad y sexo	39
4.3.2. Tipos de sustrato	41
Capítulo 5. Conclusiones	43
Literatura citada	44

Lista de figuras

- Figura 1.** Isla Guadalupe. Se muestran los distintos puntos de despegue y aterrizaje del VANT en cada día de muestreo.13
- Figura 2.** Categorización de individuos. Procesamiento de imágenes en el software Image-Pro Plus 7.0..14
- Figura 3.** Comparación de métodos de conteo por categoría de edad y sexo. Los totales contados fueron 26,555 desde embarcación y 29,972 en fotografías tomadas desde el VANT.....18
- Figura 4.** Ajuste por medio de GLM para tasas de encuentro de conteos totales. La línea negra representa la relación uno-a-uno hipotética.19
- Figura 5.** Ajustes por medio de GLMs a las tasas de encuentro (individuos km^{-1}) desde embarcación en función de las tasas de encuentro de conteos desde VANT por categoría de edad/sexo. La línea negra representa la relación uno-a-uno hipotética.20
- Figura 6.** Conteos históricos con el método tradicional desde embarcación (verde), y sus correcciones (rojo) a partir del ajuste del GLM para los conteos totales en fotografías tomadas desde el VANT.....23
- Figura 7.** Proporción de animales no observados por embarcación con respecto a los observados por VANT.....24
- Figura 8.** Porcentaje de lobos finos de Guadalupe no observados en los conteos de embarcación de acuerdo a los GLMs por categoría de edad y sexo.....26
- Figura 9.** Modelo del ajuste GLM de las tasas de encuentro de VANT, como porcentaje de las tasas de encuentro de embarcación de animales indeterminados.27
- Figura 10.** Estructura por sexo y edad del lobo fino de Guadalupe estimada a partir del número de crías contadas con dos métodos de muestreo.....28
- Figura 11.** Modelo global por categorías de edad y sexo. Se muestra la relación entre la temperatura ambiental diurna y la densidad de individuos km^{-2} . Las líneas punteadas son los límites superior e inferior de cada categoría de edad y sexo. El sombreado indica los límites superior e inferior de la hipermedia.....29
- Figura 12.** Modelo por categorías de edad y sexo. Se muestra la relación entre la temperatura ambiental diurna y la densidad de individuos km^{-2} en cada una de las categorías de edad y sexo.31
- Figura 13.** Comparación de distribuciones posteriores de pendientes de cada una de las categorías de edad y sexo de lobo fino de Guadalupe para la relación entre la temperatura ambiental diurna y la densidad de individuos km^{-2}32
- Figura 14.** Modelo global por tipos de sustrato. Se muestra la relación entre la temperatura ambiental diurna y la densidad de individuos km^{-2} . En líneas punteadas se muestran los límites superior e inferior de cada sustrato. El sombreado indica los límites superior e inferior de la hipermedia.33

Figura 15. Modelo por tipos de sustrato. Se muestra la relación entre la temperatura ambiental diurna y la densidad de individuos km^{-2} en cada una de los sustratos.34

Lista de tablas

- Tabla 1.** Resumen estadístico de modelos lineales generalizados (GLMs) de los conteos desde embarcación en función de los conteos con VANT, por categoría de edad/sexo y totales.....21
- Tabla 2.** Conteos desde embarcación y estimaciones de la abundancia del lobo fino de Guadalupe en Isla Guadalupe. Se muestran los conteos corregidos con el modelo ajustado de este trabajo.22
- Tabla 3.** Resumen estadístico de modelos lineales generalizados (GLMs) de los porcentajes no observados por embarcación en función de los conteos de VANT, por categoría de edad/sexo y totales.....25
- Tabla 4.** Diferentes modelos jerárquicos basados en la densidad de lobos finos de Guadalupe en tres playas de la Punta Sur en Isla Guadalupe, México con respecto a la temperatura; basados en sus categorías de edad/sexo, y en el tipo de sustrato.....30

Capítulo 1. Introducción

Isla Guadalupe posee la colonia más grande de lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*), localizada a 240 km de la costa de Baja California, en el Océano Pacífico (Gallo-Reynoso *et al.*, 2005). Históricamente, el lobo fino de Guadalupe ha sufrido decrementos poblacionales importantes debido a la cacería intensiva en el siglo XIX por el gran valor comercial de su piel, llegando al borde de la extinción (García-Capitanachi *et al.*, 2017). Sin embargo, a mediados del siglo XX, tras algunos avistamientos esporádicos, se reinició su búsqueda en Isla Guadalupe, donde se encontró un grupo de 14 ejemplares (Gallo-Reynoso *et al.*, 2005). Desde entonces se ha monitoreado la población mediante una serie de conteos más o menos regulares en tiempo y método, desde embarcación y a pie, en los que se ha reportado el crecimiento de sus poblaciones desde la década de los setenta, cuando se estimaba una población de 1,100 individuos (Gallo-Reynoso *et al.*, 2005). En 1997 se contaron por primera vez 256 individuos en Islas San Benito (Maravilla-Chávez y Lowry, 1999) En los últimos años se han realizado monitoreos en las colonias de Isla Guadalupe e Islas San Benito, donde se han observado incrementos constantes. En un estudio realizado en julio de 2003, Gallo-Reynoso *et al.* (2005) estimaron un total de 12,176 animales en Isla Guadalupe. Hernández-Montoya (2009) estimó la población de Isla Guadalupe para el verano del 2006 en $11,625 \pm 88.2$ individuos. Por su parte, García-Capitanachi *et al.* (2017) estimaron 17,581 animales para la colonia de Isla Guadalupe en el 2010, corrigiendo los conteos de acuerdo al tipo sustrato, y se contaron 2503 individuos para las Islas San Benito en el mismo año. Estos monitoreos se realizaron de la manera convencional, contando ejemplares mediante recorridos desde embarcación y por tierra.

Actualmente, la tecnología juega un papel muy importante en los muestreos poblacionales. El uso de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) como herramientas para monitoreos faunísticos ha incrementado en los últimos años (Van Gemert *et al.*, 2015). Su fácil acceso a lugares remotos los hace una herramienta de gran utilidad para muestreos en espacios abiertos y con buena visibilidad aérea. En mastozoología marina se han utilizado con gran eficiencia en estudios poblacionales, brindando información de gran valor para las investigaciones, aumentando su detectabilidad y reduciendo costos y riesgos en los muestreos (Linchant *et al.*, 2015; McGibney, 2015).

Se piensa que la heterogeneidad del hábitat de Isla Guadalupe fue lo que salvó al lobo fino de la extinción, puesto que entre la irregularidad de su costa existen sustratos que pudieron haber fungido como un refugio para ocultarse de los cazadores o de eventos naturales catastróficos, como huracanes

(Gallo-Reynoso, 1994). En la presente investigación se analizó la presencia en tierra de lobos finos en una parte de Isla Guadalupe (Punta Sur), en función de la temperatura del aire, según el tipo de sustrato de cada playa y las categorías de edad y sexo.

1.1. Antecedentes

1.1.1. Biología del lobo fino de Guadalupe

La familia Otariidae, perteneciente al orden Carnivora (Committee on Taxonomy, 2017), se divide en dos subfamilias: Otariinae (lobos marinos) y Arctocephalinae (lobos finos). La principal característica que distingue a los lobos finos de los lobos marinos es la presencia de un denso y fino pelaje debajo del pelo de guarda (Reeves, *et al.*, 2002). Así mismo, suelen ser más esbeltos o de menor tamaño que los lobos marinos y presentan un hocico más puntiagudo (Shirihai y Jarret, 2006). Existen al menos 8 especies de lobos finos alrededor del mundo, divididas en 2 géneros: *Callorhinus* y *Arctocephalus*; el lobo fino de Guadalupe se ubica dentro del segundo (Riedman, 1990) Originalmente el taxón fue descrito como la especie *A. townsendi* por Merriam en 1897, utilizando los restos óseos de ejemplares colectados por Townsend en 1892 (Gallo-Reynoso *et al.*, 2005). En la actualidad el taxón ha sido integrado dentro de otra especie del mismo género: *A. philippii*; ahora se reconoce en la subespecie denominada como *A. p. townsendi* (Committee on Taxonomy, 2017). Además, es el único taxón del género *Arctocephalus* que se distribuye en el hemisferio norte del globo (Riedman, 1990; Bonner, 1994; Reeves *et al.*, 2002).

1.1.1.1. Descripción

Para la estimación de abundancia en este estudio, se utilizaron todas las categorías de edad y sexo, identificándolas en las fotografías tomadas por el VANT, por lo que es preciso conocer la descripción de éstas. El lobo fino de Guadalupe posee un pelaje que varía entre el café oscuro y el negro (Antonelis y Fiscus, 1980). Tiene un hocico puntiagudo y cabeza relativamente plana (Peterson *et al.*, 1968; Bonner, 1994). Las aletas traseras son relativamente más cortas con respecto a las de otras especies de lobos finos, y las delanteras son anchas y están cubiertas de pelo por debajo de la muñeca (Antonelis y Fiscus, 1980; Bonner, 1994). Existe un marcado dimorfismo sexual. Los machos adultos son de mayor tamaño, con longitudes que pueden superar los 2 m de largo y pueden pesar alrededor de 170 kg, desarrollando

una densa melena que va desde la coronilla, donde el pelaje se torna más claro, hasta los hombros y pecho; mientras que las hembras pueden medir hasta 1.7 m y pesar más de 50 kg, las cuales tienden a ser más claras en la parte ventral. Las crías tienen un pelaje casi negro (Peterson *et al.*, 1968; Antonelis y Fiscus, 1980).

1.1.1.2. Distribución

Históricamente, la distribución del lobo fino comprendía algunas partes del Pacífico Oriental (García-Capitanachi *et al.*, 2017) que abarcan desde la Bahía de Monterey, California, hasta las Islas Revillagigedo, Mexico (Busch, 1985). Si bien la principal colonia reproductiva de lobo fino se encuentra en Isla Guadalupe, Baja California (Jefferson *et al.*, 2008), existe otra colonia reproductiva, aunque incipiente, en Islas San Benito (Esperón-Rodríguez y Gallo-Reynoso, 2012). Así mismo, también se han reportado avistamientos de individuos generalmente solitarios en otras localidades, como Isla San Miguel (Melin y DeLong, 1999), Islas Farallón en California (Hanni *et al.*, 1997), y hasta la costa de Oaxaca (Villegas-Zurita *et al.*, 2015).

1.1.1.3. Ecología Reproductiva

El lobo fino de Guadalupe cuenta con una estructura social típica de pinnípedos (poliginia), (Aurioles-Gamboa, 2015). Los machos son los primeros en arribar a las loberas para establecer territorios en la temporada de apareamiento (Riedman, 1990). Regularmente, poseen territorios con grupos de entre 5 a 15 hembras y los mantienen al menos unos 31 días, mediante vocalizaciones, desplantes y peleas con otros machos, aunque el tiempo varía en función de diversos factores (edad, tamaño, habilidad para competir contra otros machos) (Peterson *et al.*, 1968; Riedman, 1990). La temporada reproductiva (y con mayor incidencia de ejemplares en las costas) se da durante el verano, de los meses de junio a agosto, tiempo en que nacen las crías (Peterson *et al.*, 1968; Riedman, 1990; Gallo-Reynoso, 1994). Las hembras pueden entrar en estro pasados 5-10 días de haber parido y el destete de las crías ocurre alrededor de los 11 meses (Riedman, 1990).

1.1.1.4. Hábitos alimentarios

Aunque no se conocen en su totalidad los hábitos alimentarios, existen algunos trabajos recientes dirigidos a la dieta del lobo fino de Guadalupe. Hernández-Montoya (2009) a través de la indentificación de restos duros en excretas de la población de Isla Guadalupe encontró una mayor proporción de calamares (68%), seguida de una menor proporción de peces (17%). Las especies de calamares con mayor frecuencia fueron *Loligo opalescens* y *Onychoteuthis banksii*. Además, cabe mencionar que en el 40% de las heces se encontraron restos de pasto marino del género *Phyllospadix*.

Por su parte, Gallo-Reynoso y Esperón-Rodríguez, (2013) analizaron los restos duros en excretas de individuos del archipiélago de San Benito, y no sólo coinciden con Hernández-Montoya (2009) en cuanto a la importancia de los calamares (*L. opalescens* y *O. banksii*) como parte fundamental de la dieta del lobo fino, sino que además resaltan la importancia de otras seis especies, como *Histioteuthis dofleini* y *Dosidiscus gigas*, entre otras.

Por el rango de distribución de sus presas, se cree que el lobo fino de Guadalupe caza a profundidades no mayores a los 100 m, además de que sus inmersiones suelen ser de periodos cortos (Gallo-Reynoso y Esperón-Rodríguez, 2013). El lobo fino de Guadalupe ha sido considerado como un depredador especialista (Hernández-Montoya, 2009). De igual manera se han determinado algunas variaciones en su dieta entre colonias, sin embargo existe poca diversidad entre ellas (Gallo-Reynoso y Esperón-Rodríguez, 2013).

1.1.2. Abundancia poblacional

En el siglo XIX, la sobre cacería de éstos pinnípedos diezmo sus poblaciones debido a la alta demanda de pieles. A finales del mismo siglo, el lobo fino de Guadalupe sufrió un decremento considerable, al punto en el que su explotación no era rentable debido a los números tan bajos de ejemplares cazados (Busch, 1985). En el siglo XX, a finales de la década de los 20's, un grupo de pescadores regresó a Isla Guadalupe donde cazaron alrededor de 60 ejemplares (Gallo-Reynoso, 1994; García-Capitanachi *et al.*, 2017). Después de pasar por dos cuellos de botella, e incluso considerarse extinta, la especie fue redescubierta en 1954 por Hubbs en Isla Guadalupe, y hasta ahora la población se ha recuperado lentamente (Gallo-Reynoso, 1994). En 2003 se calculó que la colonia de Isla Guadalupe crecía a una tasa anual de 12.8% (Gallo-Reynoso *et al.*, 2005). Las más recientes estimaciones de abundancia publicadas reportan

números que oscilan entre los 11,000 y 19,000 animales (Gallo-Reynoso *et al.*, 2005; Hernández-Montoya, 2009; García-Capitanachi *et al.*, 2017). Sin embargo, el número de individuos estimado para toda la población, previo a la explotación, fue de hasta 100,000 individuos (Gallo-Reynoso, 1994).

1.1.3. Métodos de conteo

Si bien los métodos tradicionales de monitoreo de mamíferos marinos (plataformas fijas, embarcaciones, aeronaves tripuladas) son efectivos, todos poseen ciertas desventajas (Watts *et al.*, 2010). Estas desventajas pueden incluir sesgos, como la omisión o repetición de organismos en el conteo; un alto costo económico, que dependerá del tipo de muestreo y riesgos para los tripulantes de embarcaciones o aeronaves (Watts *et al.*, 2010; Linchant *et al.*, 2015; Van Gemert *et al.*, 2015). Así mismo, el tiempo y esfuerzo implicados en un monitoreo tradicional pueden ser mayores que aquellos requeridos en los muestreos con VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado). Con el uso de VANTs, dichas desventajas se pueden minimizar considerablemente.

En muchos monitoreos de fauna silvestre, los muestreos aéreos se han convertido en una de las herramientas predilectas para realizar censos poblacionales debido a las ventajas de visibilidad y su facilidad en la cobertura de grandes áreas (Linchant *et al.*, 2015; Van Gemert *et al.*, 2015), sobre todo aquellos dirigidos a mamíferos marinos (McGibney, 2015).

No existe ningún antecedente para *A. p. townsendi* en el que se reporte el uso de métodos aéreos para un conteo poblacional. Los conteos reportados se han realizado desde embarcación y a pie (Gallo-Reynoso, 1994; García-Capitanachi *et al.*, 2017; Hernández-Montoya, 2009). Sin embargo, se han empleado conteos aéreos para monitoreo de otros mamíferos marinos en diferentes partes del mundo, mismos que se han comparado con los métodos tradicionales para verificar su efectividad, tanto en aeronaves tripuladas (Pemberton y Kirkwood, 1994; Westlake *et al.*, 1997; Lowry, 1999; Snyder *et al.*, 2001; Kirkwood *et al.*, 2005; Bowen *et al.*, 2007) como no tripuladas (Pierce *et al.*, 2006; Hodgson *et al.*, 2010; Watts *et al.*, 2010; Goebel *et al.*, 2015; Adame *et al.*, 2017).

1.1.3.1. Conteos desde aeronaves tripuladas

Aunque los censos en aeronaves tripuladas suelen ser costosos, la información que brindan es de gran valor (Van Gemert *et al.*, 2015). Existen muestreos cuya información es adquirida de manera directa, por observadores que llevan los conteos de los avistamientos al sobrevolar un área determinada. También se ha optado por obtener la información a través de fotografías del área sobrevolada, mismas que son analizadas posteriormente (Smith *et al.*, 2016). Este método de conteo ha sido empleado en varias ocasiones para estimar abundancia de pinnípedos (Pemberton y Kirkwood, 1994; Westlake *et al.*, 1997; Lowry, 1999; Snyder *et al.*, 2001; Kirkwood *et al.*, 2005; Bowen *et al.*, 2007).

La eficacia del método aéreo se probó comparando los resultados con los otros métodos de conteo, como a pie o desde embarcación (Pemberton y Kirkwood, 1994; Westlake *et al.*, 1997; Lowry, 1999; Snyder *et al.*, 2001). En casi todos los casos, los conteos con fotografías aéreas rindieron resultados superiores a los obtenidos con los métodos terrestres. Gracias a ello se pudieron estimar abundancias en algunas colonias de pinnípedos, como las del lobo marino de Steller (*Eumetopias jubatus*) en Isla Año Nuevo (Westlake *et al.*, 1997) y Alaska (Snyder *et al.*, 2001); o la del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en la Isla San Nicolas, California (Lowry, 1999).

En algunos casos el conteo aéreo fue superado por los monitoreos terrestres. A principios de los años 90 se estimó la abundancia del lobo fino australiano (*Arctocephalus pusillus doriferus*) y se reportaron mejores resultados para los conteos terrestres y los de marca-recaptura; sin embargo, las fotografías fueron tomadas de manera manual a alturas de entre 100 y 200 m (Pemberton y Kirkwood, 1994). No obstante, el método aéreo también fue auxiliar para monitorear las mismas colonias en sitios con acceso limitado años más tarde (Kirkwood *et al.*, 2005).

Por otro lado, la fotografía aérea también se ha utilizado como método principal de conteo. En algunos casos se emplearon los conteos terrestres como auxiliar para obtener un factor de corrección en estimaciones de abundancia. Es el caso del censo de foca gris (*Halichoerus grypus*) en Isla Sable, Canadá (Bowen *et al.*, 2007).

1.1.3.2. Conteo fotográfico con aeronaves no tripuladas

Los vehículos aéreos no tripulados (VANTs), han ido cobrando popularidad dentro del ámbito de manejo de vida silvestre por las facilidades que otorgan en los estudios de campo (Pierce *et al.*, 2006). Al mismo tiempo que se han desarrollado nuevos VANTs, se han realizado estudios experimentales y demostrativos para su difusión como herramienta auxiliar en los muestreos de vida silvestre (Pierce *et al.*, 2006; Watts *et al.*, 2010).

Los primeros vuelos experimentales se realizaron con VANTs de ala fija, donde se utilizaron dos métodos de vuelo (el manual y el de ruta preestablecida) para fotografiar fauna acuática en el sur de la Florida (Pierce *et al.*, 2006; Watts *et al.*, 2010). A pesar de la capacidad de los VANTs para tomar video, se demostró que, al menos para el conteo de animales con VANTs de ala fija, las fotografías son más efectivas (Hodgson *et al.*, 2010). Esto debido que la turbulencia generada por el viento impide una buena grabación de video.

El desarrollo de los VANTs con un sistema de despegue/aterrizaje vertical significó un gran avance para los monitoreos aéreos de fauna silvestre, por la facilidad con que se pueden llevar a cabo los muestreos. Estos VANTs tienen la ventaja de poder permanecer estáticos en el aire, a diferencia de los VANTs de ala fija, cuya operación requiere de un movimiento constante y su despegue requiere tomar una carrera para impulsarlo hacia adelante (Smith *et al.*, 2016). Este tipo de VANTs ya se utilizó en monitoreos de pinnípedos y demostró ser muy eficaz. Se sobrevoló sobre colonias de lobo fino Antártico (*Arctocephalus gazella*) y foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) a una altura de 30-40 m sin provocar disturbios en los organismos, y con fotografías de gran resolución que permitieron la categorización de cada individuo (Goebel *et al.*, 2015). También se demostró, en colonias de lobo marino de California (*Z. californianus*), que el uso de éste tipo de VANTs es más eficaz para el conteo de individuos en colonias reproductoras, que el método tradicional desde embarcación (Adame *et al.*, 2017).

1.1.4. Preferencias De Hábitat

1.1.4.1. Sustrato

Las preferencias de hábitat del lobo fino de Guadalupe con respecto al tipo de sustrato varían según la época del año, sobre todo en verano, coincidente con la temporada reproductiva (Arias-del-Razo *et al.*,

2016). Estos autores reportan que existe una preferencia por ocupar aquellas partes de las islas que están protegidas del oleaje directo. Al parecer estos sitios son preferidos para reproducción. Los sustratos con mayor abundancia de individuos son el canto rodado y las plataformas rocosas, mientras que los acantilados son el sitio con menor abundancia. Por otro lado, las preferencias en los tipos de sustrato varían en función de la presencia o ausencia de otros factores, como la exposición al oleaje, la época del año o la profundidad del agua. Por ejemplo, las pozas de marea tienen un efecto negativo en la presencia de los organismos en sitios protegidos del oleaje, sin embargo, sucede lo contrario en sitios expuestos al oleaje (Arias-del-Razo *et al.*, 2016).

1.1.4.2. Temperatura

El medio acuático tiene una capacidad calórica 25 veces superior a la del aire, provocando que la transferencia de calor sea más alta en este medio que fuera del agua (Berta *et al.*, 2006). Esto representa un problema para los organismos homeotermos. Sin embargo, los pinnípedos tienen un eficiente sistema de termorregulación. Las adaptaciones anatómicas con que cuentan para lidiar con la pérdida de calor en agua son: una menor proporción superficie/volumen, que disminuye el área de contacto con el medio acuático; una gruesa capa de grasa, la cual es variable según la especie; y un denso pelaje, que evita la pérdida de calor al atrapar aire entre los pelos, reduciendo el contacto directo del agua con la piel (Castellini, 2002).

Lo anterior es eficiente para sus hábitos acuáticos; sin embargo, la historia puede ser distinta cuando se encuentran fuera del agua. Debido a que en el medio terrestre la pérdida por calor es menor por la capacidad calórica de aire, aquello que los protege en el agua puede causarles problemas en tierra. Por ello, la distribución de los pinnípedos es limitada hacia el ecuador (Berta *et al.*, 2006).

Los pinnípedos tienen dificultades para disipar el calor cuando las temperaturas aumentan en tierra (Berta *et al.*, 2006). El lobo fino de Guadalupe se distribuye en sitios donde la temperatura en tierra puede llegar a ser hasta 15°C más alta que la temperatura superficial del mar, a lo largo del día. Debido a que el hábitat terrestre es esencial para su ciclo de vida, el lobo fino de Guadalupe ha adoptado estrategias de comportamiento que le ayudan a disipar el calor y evitar un desorden metabólico provocado por sobrecalentamiento en su organismo (Cappozzo, 2001). Este autor reporta que los machos compiten por territorios con mejor disponibilidad de recursos para la termorregulación, agua y

sombra, pues es en estos territorios donde las hembras se distribuirán una vez que estén establecidos, teniendo preferencia por aquéllos con mejores recursos.

1.2 Justificación

La aplicación de técnicas diferentes a los métodos convencionales, para conteos de lobo fino de Guadalupe, podría generar resultados más precisos que ayuden a optimizar las estimaciones de abundancia. En el caso de Isla Guadalupe, su topografía en algunos lugares dificulta los conteos desde embarcación, por ejemplo las plataformas rocosas, o incluso llegan a ser imposibles desde tierra, por ejemplo donde hay altos acantilados y oleaje intenso. La visión aérea permite cubrir éstas áreas. Por lo anterior, en este trabajo se estimó la abundancia del lobo fino de Guadalupe en Isla Guadalupe, mediante conteos en fotografías tomadas desde un VANT, y se comparó con conteos simultáneos desde embarcación.

Por otra parte, el conocer los rangos óptimos de temperatura ambiental del lobo fino en su hábitat terrestre nos ofrece un panorama más amplio de su ecología, que a su vez podría ayudar a una mejor planeación en los muestreos de estimación de abundancia, no sólo en Isla Guadalupe, sino en otros lugares con las mismas características.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Estimar la abundancia poblacional y uso de hábitat terrestre del lobo fino de Guadalupe en Isla Guadalupe.

1.3.2. Objetivos particulares

- Estimar una función de corrección con base en los conteos de fotografías tomadas desde VANT y aplicarla a los conteos desde embarcación, para estimar la abundancia en Isla Guadalupe.

- Aplicar la función de corrección a estimaciones de años anteriores basadas en conteos desde embarcación.
- Determinar la estructura poblacional de sexo y edad del lobo fino de Guadalupe en Isla Guadalupe.
- Hacer una estimación de abundancia con base en los conteos de crías, para fines comparativos.
- Determinar si la ubicación de los lobos finos en las playas está influenciada por la temperatura ambiental o el tipo de sustrato.

1.4. Hipótesis

- El número de individuos contabilizados es mayor en fotografías aéreas tomadas mediante un VANT que el conteo desde embarcación, debido a que en ellas se tiene una mejor perspectiva de la costa, además de contar con mayor tiempo para la detección e identificación de individuos.
- Las crías y hembras prefieren temperaturas ambientales relativamente bajas que faciliten su termorregulación, mientras que los machos adultos no tienen preferencias por temperaturas ambientales, puesto que defienden sus territorios de otros machos.
- Los organismos prefieren sustratos que brinden protección al sol o los ayuden a termorregular, como los acantilados de roca mediana o las pozas de marea.

Capítulo 2. Materiales y método

2.1. Área de estudio

Isla Guadalupe se encuentra ubicada en el Pacífico a 240 km de la costa de Baja California (29°00' N, 118°26' W). Es la parte superior de un volcán de aproximadamente 5,800 m de altura (Santos del Prado y Peters, 2005); a excepción de la punta norte, donde tiene una plataforma costera de unos 4 km de ancho, está rodeada de profundidades de unos 3,600 m. Con una longitud de 35 km y un ancho que va desde 6.5 a 9.5 km (Gallo-Reynoso *et al.*, 2005), es la quinta isla más grande de México, con una superficie de 243.99 km² (INEGI, 2016). Posee varios islotes o rocas emergentes en su periferia, entre los que destacan, por su tamaño, el Islote Toro o Isla de Adentro, y el Islote Zapato o Isla de Afuera, con una altura de 225 y 201 m respectivamente, ambos ubicados al sur de la isla (Gallo-Reynoso *et al.*, 2005).

Los vientos en Isla Guadalupe regularmente provienen del noroeste con fluctuaciones estacionales, alcanzando sus valores máximos en primavera y sus mínimos en invierno (Gallo-Reynoso *et al.*, 2005). La temperatura superficial del mar en la isla promedia los 18°C, con mínimas en primavera de 16°C y máximas en verano de 20°C (Lynn y Simpson, 1987). Aunado a esto, la isla se encuentra situada en la porción sur de la Corriente de California, misma que propicia el ascenso de aguas ricas en nutrientes conocidas como surgencias (Hickey, 1979), lo que la convierte en una zona muy productiva y que favorece su riqueza de especies.

Isla Guadalupe se caracteriza por tener una gran heterogeneidad en su suelo y costas, mismas que van desde playones arenosos, pozas de marea, hasta grandes y escarpados cantiles de más de 200 m de altura. García-Capitanachi *et al.* (2017) categorizaron los sustratos de la costa este de la isla en ocho tipos diferentes: acantilado de roca grande, acantilado de roca mediana, canto rodado, plataforma alta, plataforma baja, pared, playa de grava y playa de arena. Esta heterogeneidad le brinda la posibilidad de albergar una gran riqueza de especies animales y vegetales, muchas de los cuales son endémicas. Gracias a estas características, el sitio fue nombrado Reserva de la Biósfera Isla Guadalupe en el año 2005, por decreto presidencial (SEMARNAT, 2005).

2.2. Abundancia poblacional

2.2.1. Muestreo con VANT

Entre el 6 y el 14 de julio de 2016, en cinco días de navegación en una embarcación menor, se tomaron fotografías aéreas desde un VANT, el cual se despegó y recuperó en la embarcación. Se tomaron las fotografías sobrevolando la colonia de *A. p. townsendi* de Isla Guadalupe con VANT tipo cuadricóptero *DJI Phantom 3 Advance* (descripción detallada en <http://www.dji.com/product/phantom-3-adv/info#specs>). Está equipado con una cámara con las siguientes características: sensor Sony EXMOR 1/2.3" de 12.4 Megapíxeles; lente FOV 94° 20mm (equivalente al formato 35mm), f/2.8.

Se determinó la altura de vuelo mediante vuelos experimentales, para establecer una altura que no causara disturbios en los animales, siguiendo las recomendaciones de Smith *et al.* (2016). Una vez establecida la altura, se sobrevoló la colonia para la toma de fotografías. De manera simultánea se realizaron conteos directos por un observador y un anotador desde la embarcación. Se navegó a una distancia promedio de la costa de 20 m. Los muestreos se llevaron a cabo las primeras semanas del mes de julio de 2016, coincidentes con la temporada reproductiva, para contar con el mayor número de individuos posible en la costa.

Se realizaron aproximadamente 50 despegues en los cinco días de navegación. Se cubrió toda la costa este de la isla, así como la porción de la Punta Sur y los dos islotes que se encuentran en ella (Figura 1). La cara oeste no pudo concluirse debido las condiciones climáticas desfavorables, tanto para la navegación como para el vuelo del VANT. Se sobrevoló desde la Punta Sur de la isla hasta la porción del islote conocido como El Morro Prieto.

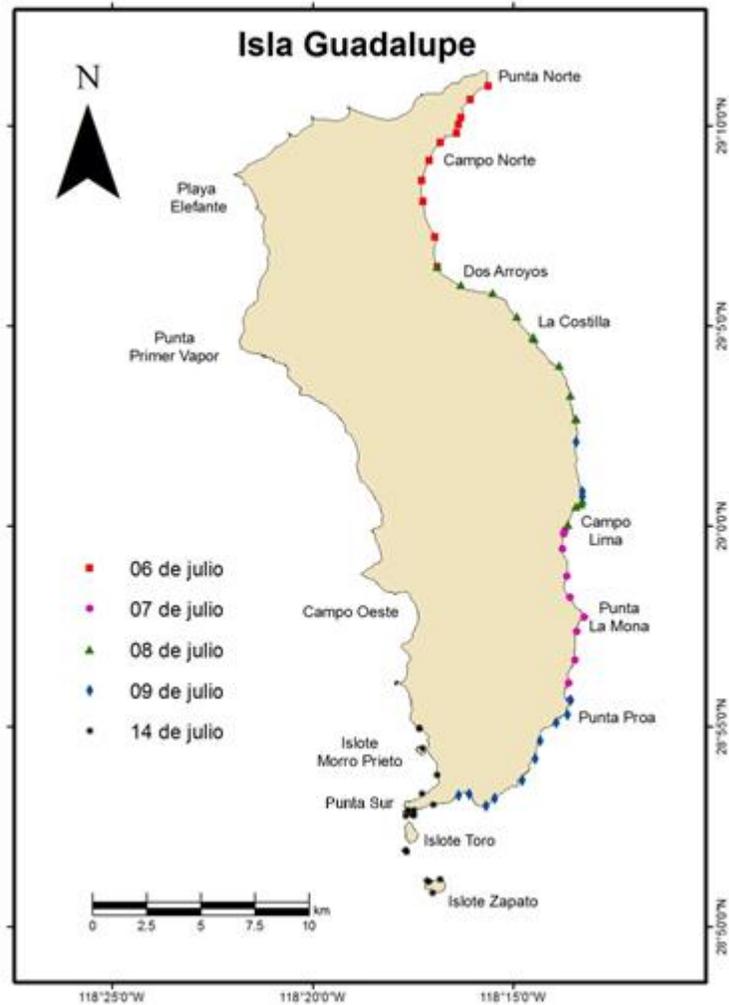


Figura 1. Isla Guadalupe. Puntos de despegue y aterrizaje del VANT en cada día de muestreo.

2.2.2. Procesamiento de fotografías

Se obtuvieron 3,271 fotografías correspondientes a la cara este de la isla, la porción de la Punta Sur y los dos islotes que se encuentran en ella (Islote Toro e Islote Zapato), y la porción sur de la cara oeste hasta el Islote Morro Prieto (Figura 1).

El análisis de las imágenes se realizó siguiendo el método utilizado por Arias del Razo (2011). Las imágenes se analizaron con ayuda del software *Image-Pro Plus 7.0* (Media Cybernetics Inc. 2012), que permite el conteo de organismos, así como su categorización por edad y sexo (machos adultos, subadultos, hembras, juveniles, crías e indeterminados) (Figura 2). Para ello se ajustaron algunos

aspectos de las imágenes (contraste, brillo, nitidez) en Adobe Photoshop CS5 para facilitar la categorización de los organismos; y se convirtieron a formato TIFF para poder procesarlas en *Image-Pro Plus 7.0*.

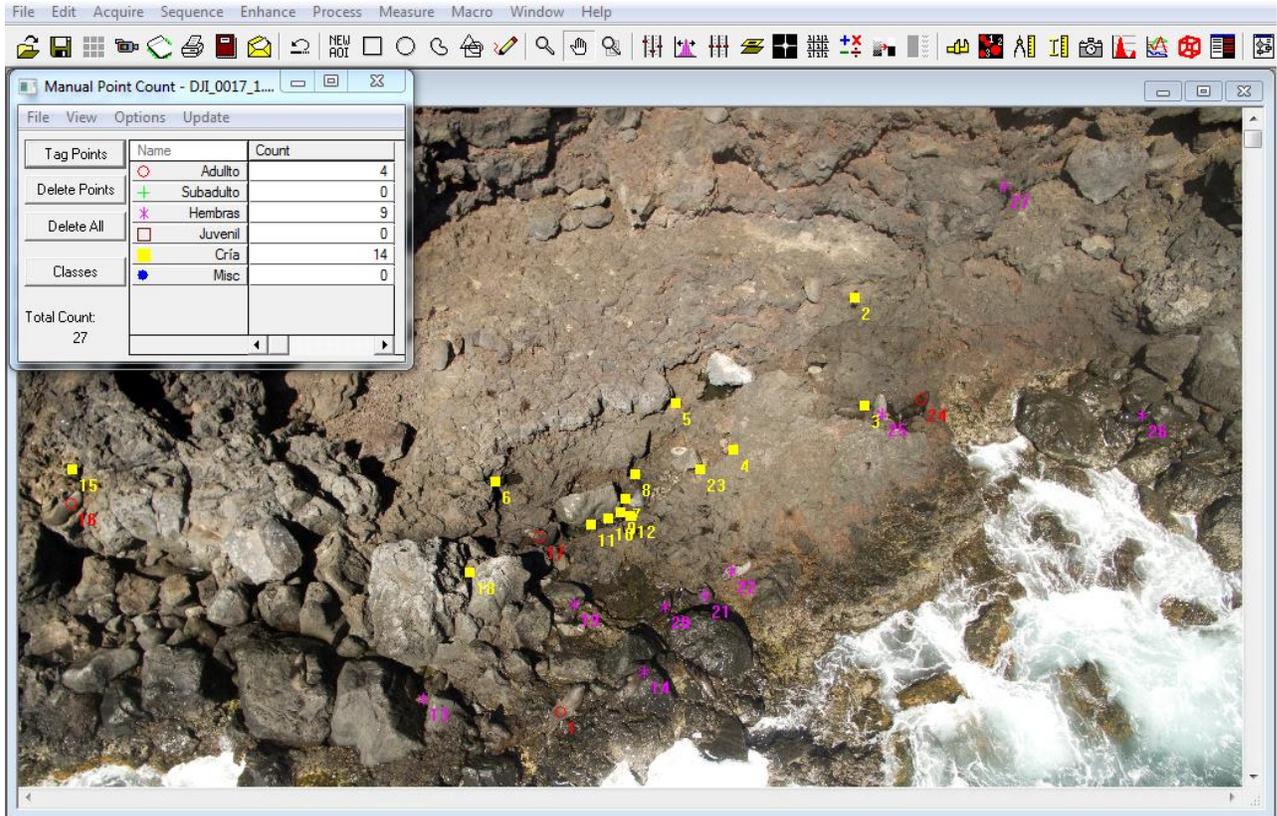


Figura 2. Categorización de individuos. Procesamiento de imágenes en el software *Image-Pro Plus 7.0*.

Se realizaron cuatro conteos (uno original y tres réplicas) de todas las imágenes con ayuda de personal previamente entrenado. Cada contador réplica realizó una prueba de reproducibilidad para comparar la similitud de su conteo con el conteo original. La prueba consistió en el conteo y categorización de 30 imágenes aleatorias por ambos contadores (original y réplica) para comparar resultados tanto en conteo total como en cada categoría de edad/sexo. Se analizaron los resultados en el programa STATISTICA 7 mediante un ANOVA de una vía (intervalo de confianza del 95 %) para comparar los conteos de los observadores en cada categoría de edad/sexo, así como en el total de organismos contados.

2.2.3. Análisis de datos

Se realizó una comparación entre los métodos de conteo ajustando modelos lineales generalizados (GLMs) a cada categoría de edad y sexo, así como al total de individuos contados por cada método. El modelo se generó utilizando la tasa de encuentro (individuos km^{-1}) de cada uno de los 5 días de muestreo. Los conteos desde embarcación se ajustaron como función de los conteos de VANT, bajo el supuesto de que éstos son los más cercanos a la realidad.

Se predijeron nuevas estimaciones de abundancia para conteos de años anteriores realizados desde embarcación, a partir del modelo generado por el ajuste, utilizando sólo el conteo total de lobos finos. Esta corrección se aplicó a trece conteos, comprendidos desde el año 1977 a 2015, cuyo método de muestreo fue similar al utilizado en este trabajo, en cuestión de distancia, zona muestreada y época del año.

Se utilizó el lenguaje R (R Core Team, 2016) en el software RStudio para todos los cálculos y gráficos. Los ajustes de los GLMs se hicieron con el paquete “*mgcv*” (Wood, 2011), y los gráficos se elaboraron con las funciones del paquete “*ggplot2*” (Wickham, 2009).

De manera adicional se realizó otra estimación con un modelo de historia de vida. Este consiste en la estimación de la abundancia poblacional a través del conteo de crías, y se alimenta de algunos parámetros de la población, como crecimiento poblacional, supervivencia por edades y longevidad de cada sexo (Boveng, 1988; Lowry y Maravilla-Chávez, 2005). En este método se utiliza sólo la categoría de crías puesto que es la única que se encuentra en tierra en su totalidad durante la época reproductiva. Bajo el supuesto de que la proporción de sexos en crías fue de 1:1, se utilizó la ecuación descrita por Boveng (1988) para estimar la abundancia y estructura de edad y sexo de la población:

$$C_x = \frac{l_x \lambda^{-x}}{\sum_{y=1}^{\omega} l_y \lambda^{-y}} \quad (1)$$

Donde:

C_x = Distribución de edades

x = Edad en años

y = Todas las edades (años)

l_x = Tabla de supervivencia de *Callorhinus ursinus*

λ = Crecimiento poblacional de *A. p. townsendi*

Se aplicó un crecimiento poblacional (λ) del 12.8% (Gallo-Reynoso, *et al.*, 2005) el cual se asume como estable. Así mismo se utilizó la tabla de supervivencia (l_x ; Boveng 1988) del lobo fino de norte (*C. ursinus*), esto debido a la falta de tablas de supervivencia para lobo fino de Guadalupe.

Se utilizaron las edades por sexo de *Zalophus californianus* empleadas por Boveng (1988) y Lowry y Maravilla (2005) para determinar la estructura poblacional de edad y sexo. Se consideraron juveniles aquellas hembras de las cohortes 2 y 3, y machos de las cohortes 2,3 y 4; machos subadultos del año 5 al 8; hembras adultas del año 4 al 24; y machos adultos desde el año 8 al 19.

2.3. Preferencia de hábitat

2.3.1. Observaciones desde punto fijo

Se midió la temperatura ambiental con 4 dispositivos LASCAR EL-USB-2 Temp/RH Data Logger (especificaciones en <https://www.microdaq.com/lascar-usb-humidity-temperature-data-logger.php?gclid=CM2arqGhnM0CFcVbfgodD-oLDA>) que se ubicaron en la Punta Sur de la isla.

Los dispositivos se colocaron en tres playas, las cuales se eligieron debidos a su fácil acceso, buena visibilidad para la toma de datos y heterogeneidad de sustratos. Los dispositivos se instalaron el 17 de junio de 2016, y se programaron para comenzar a trabajar a partir del siguiente, registrando la temperatura ambiental cada 10 minutos durante 20 días consecutivos.

Se observó diariamente desde el 18 de junio hasta el 5 de julio. Las observaciones se realizaron desde un punto fijo en cada playa: 10 observaciones por la mañana y 10 por la tarde, cada 15 minutos. En ellas se registró la cantidad de individuos en las playas, así como su categoría de edad y sexo y el tipo de sustrato en el que se encontraban.

Se identificaron cuatro tipos de sustrato de acuerdo a la clasificación de García-Capitanachi *et al.* (2017): canto rodado (CR), poza (P), plataforma rocosa (PR) y roca mediana-grande (RMG).

2.3.2. Análisis de datos

Se desarrollaron dos modelos de regresión jerárquica de bayesiana, basados en la densidad poblacional (individuos km^{-2}) en respuesta a la temperatura ambiental diaria de la Punta Sur de Isla Guadalupe. Un modelo se elaboró para encontrar las preferencias de las diferentes categorías de edad y sexo, mientras que el segundo se realizó para identificar preferencias en los diferentes tipos de sustrato. En ambos casos se utilizó la densidad en cada sustrato como la variable dependiente. Ambos modelos se eligieron de entre varias opciones, con base en aquellos de menor Criterio de Información de la Desviación (DIC).

Los modelos se escribieron usando el lenguaje JAGS, en el software RStudio, con el paquete “*r2jags*” (Plummer, 2016) como interface para los análisis. Se corrieron 20,000 iteraciones para la simulación de tres cadenas paralelas de Markov Monte Carlo, con una fase de calentamiento (burn-in) de 2,000 muestras, manteniendo una iteración por cada diez, para evitar auto-correlación dentro de cada cadena.

Las estructuras de los dos modelos elegidos fueron distintas. En el modelo de preferencias por categoría de edad y sexo, los parámetros de la densidad de hábitat, intercepto y pendiente variaron en función de cada una de las categorías de edad y sexo; mientras que en el modelo de preferencias de sustrato sólo varió el intercepto en función de cada uno de los tipos de sustrato.

Capítulo 3. Resultados

3.1. Abundancia poblacional

Se estableció la altura mínima de vuelo en 20 m para tomar las fotografías con VANT, después de realizar los vuelos preliminares en la Punta Sur de la isla, y de acuerdo a la respuesta conductual de los lobos finos.

Por otro lado, existieron diferencias en la categorización de los animales entre los métodos de conteos desde embarcación y en fotografías tomadas con el VANT (Figura 3). De manera consistente, desde embarcación se registraron más machos adultos que el VANT, al igual que en la categoría de indeterminados. Sin embargo, en todos los casos el VANT registró más crías y hembras que los conteos desde embarcación. En el caso de los juveniles y machos subadultos, las diferencias fueron poco evidentes.

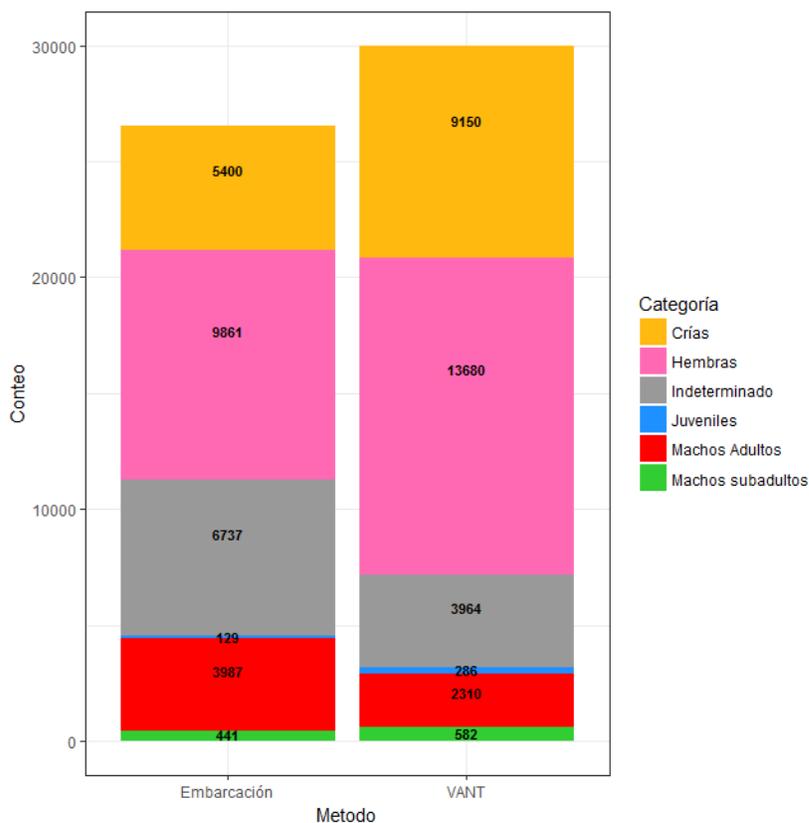


Figura 3. Métodos de conteo por categoría de edad y sexo. Los totales fueron 26,555 desde embarcación y 29,972 desde el VANT

3.1.1. Ajustes con GLMs

El modelo ajustado para las tasas de encuentro totales presentó una correlación significativa ($p < 0.05$) (Tabla 1). Cuatro de las cinco tasas de encuentro fueron superiores en los conteos con VANT (Figura 4).

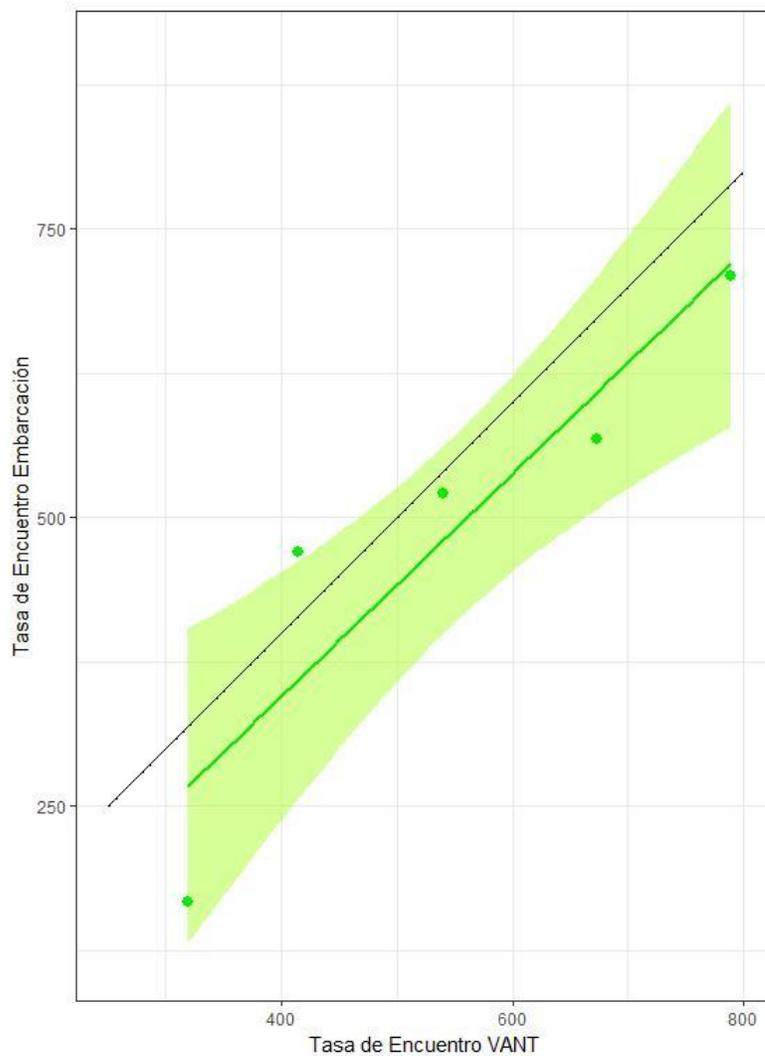


Figura 4. Ajuste por medio de GLM para tasas de encuentro de conteos totales. La línea negra representa la relación uno-a-uno hipotética.

Sin embargo, en el análisis particular de las categorías de edad y sexo, los ajustes fueron muy variados entre sí (Figura 5, Tabla 2).

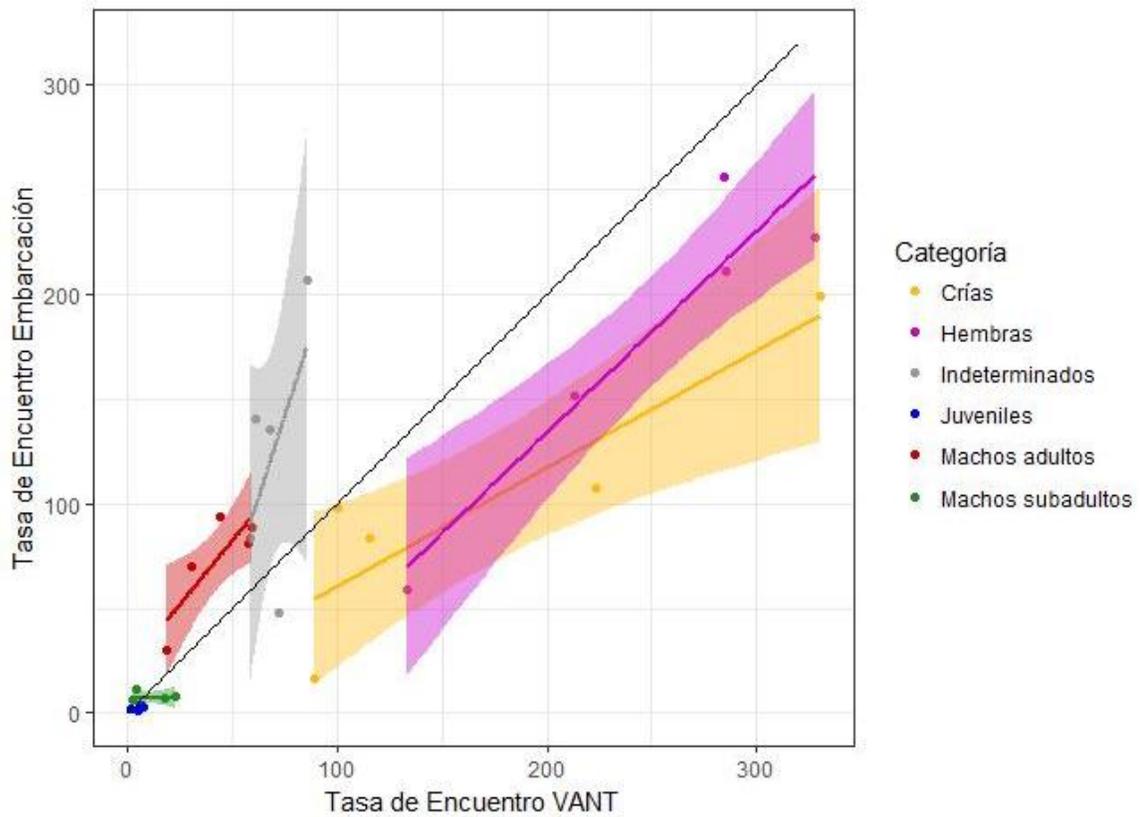


Figura 5. Ajustes por medio de GLMs a las tasas de encuentro (individuos km^{-1}) desde embarcación en función de las tasas de encuentro de conteos desde VANT por categoría de edad/sexo. La línea negra representa la relación uno-a-uno hipotética.

Las categorías subestimadas con los conteos desde embarcación son las crías ($p=0.045$) y las hembras ($p=0.016$); a diferencia de los machos adultos ($p=0.08$) y los indeterminados ($p=0.337$), estos últimos con una mayor incertidumbre evidente (Figura 5). Por su parte, no es claro si existe alguna tendencia en las categorías de machos subadultos ($p=0.969$) y juveniles ($p=0.446$), quienes a pesar de haber sido ligeramente más numerosos en los conteos con VANT, no muestran diferencias significativas (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen estadístico de los modelos lineales generalizados (GLMs) de los conteos desde embarcación en función de los conteos con VANT, por categoría de edad/sexo y totales.

Categoría	Estructura modelo	Valor de significancia	R ² ajustada	Devianza explicada (%)	GCV	n
<u>Crías</u>	<u>$y \sim I(x)$</u>	<u>0.0451</u>	<u>0.715</u>	<u>78.6</u>	<u>2041</u>	<u>5</u>
Juveniles	$y \sim I(x)$	0.446	-0.0619	20.4	2.946	5
<u>Hembras</u>	<u>$y \sim I(x)$</u>	<u>0.0164</u>	<u>0.851</u>	<u>88.8</u>	<u>1514</u>	<u>5</u>
Machos Subadultos	$y \sim I(x)$	0.9692	-0.333	0.058	17.09	5
Machos Adultos	$y \sim I(x)$	0.0847	0.577	68.3	461	5
Indeterminados	$y \sim I(x)$	0.337	0.0697	30.2	5660	5
<u>Totales</u>	<u>$y \sim I(x)$</u>	<u>0.0291</u>	<u>0.784</u>	<u>83.8</u>	<u>14308</u>	<u>5</u>

Ajustes significativos

El número total de individuos contados desde la embarcación fue de 26,555, mientras que con el método aéreo por fotografías de VANT se contaron 29,972 animales. Esto es 11.4% más para el método aéreo. El ajuste del GLM a las tasas de encuentro estimó un total de $28,780 \pm 3,978$ animales para el verano de 2016 (Tabla 2).

3.1.2. Corrección de abundancias históricas

Tras hacer el ajuste de GLM en los conteos totales, se realizó una corrección a los conteos de abundancias de años anteriores reportados para lobo fino de Guadalupe en Isla Guadalupe (Tabla 2) realizados durante verano, la temporada reproductiva de la especie (Figura 6).

Tabla 2. Conteos desde embarcación y estimaciones de la abundancia del lobo fino de Guadalupe en Isla Guadalupe. Se muestran los conteos corregidos con el modelo ajustado de este trabajo.

Año	Conteo original	Estimación histórica	Conteo corregido	Intervalo de confianza (error estándar)	Fuente
1977	1073	1100	6609	± 9884	Fleischer (1978)*
1984	1597	1600	7064	± 9673	INAPESCA-Marine Mammal Lab*
1988	3259	–	8511	± 9008	Torres (1991)*
1991	5424	6361	10394	± 8156	Gallo-Reynoso <i>et. al</i> (2005)
1992	5752	7348	10680	± 8029	Gallo-Reynoso <i>et. al</i> (2005)
1993	6443	7408	11281	± 7762	Gallo-Reynoso <i>et. al</i> (2005)
2003	7648	12176	12329	± 7302	Gallo-Reynoso <i>et. al</i> (2005)
2006	7265	11625	11996	± 7448	Hernández-Montoya (2009)
2009	10032	11046	14404	± 6420	García-Capitanachi <i>et al.</i> (2017)
2010	13327	17581	17160	± 5333	García-Capitanachi <i>et al.</i> (2017)
2013	15703	–	19338	± 4583	GECI
2014	18711	–	21955	± 3893	GECI
2015	16809	–	20300	± 4296	GECI
2016	26555	–	28780	± 3978	Este trabajo

*Tomado de Gallo-Reynoso *et al.* 2005. GECI = Base de datos de Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C

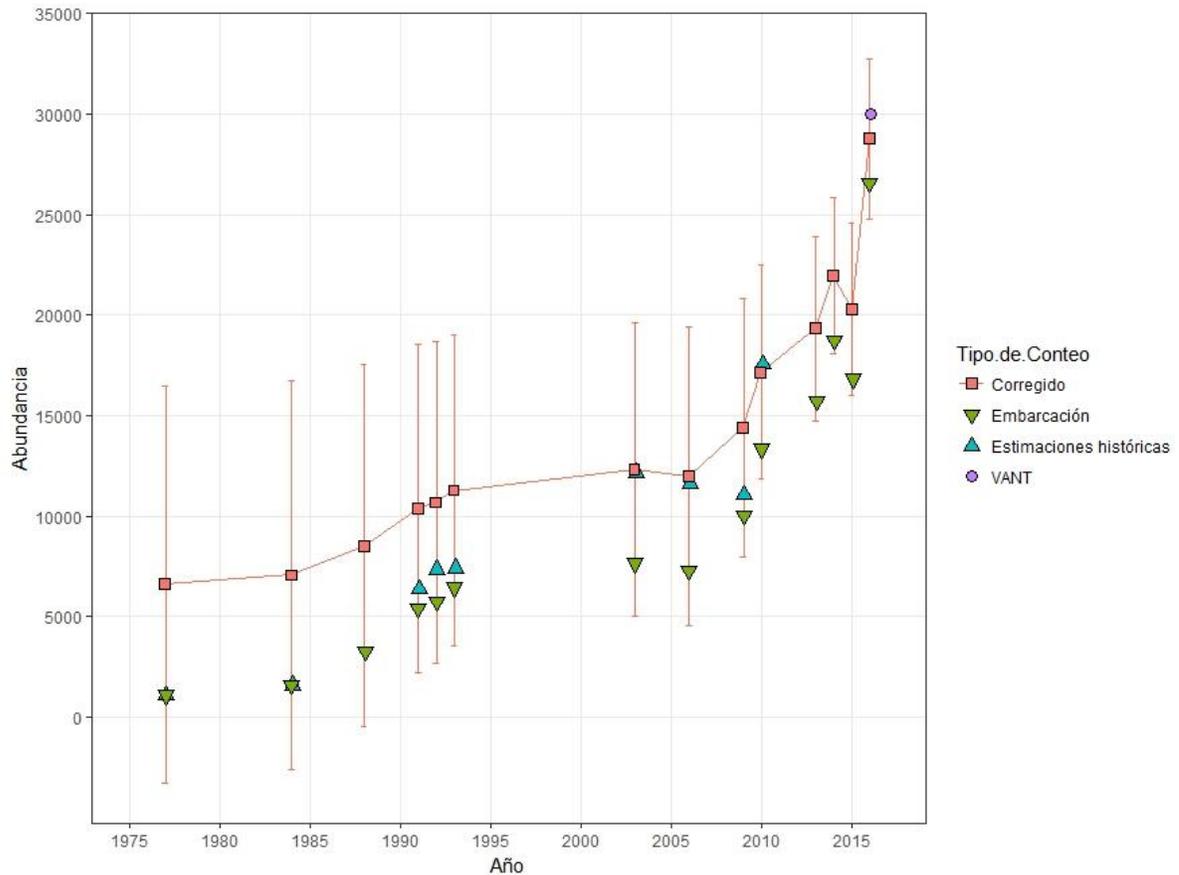


Figura 6. Conteos históricos con el método tradicional desde embarcación (verde), y sus correcciones (rojo) a partir del ajuste del GLM para los conteos totales desde el VANT.

3.1.3. Porcentaje de animales no observados: comparación entre métodos.

Los resultados de los porcentajes muestran una tendencia a la subestimación por el método de conteo desde embarcación en el total de individuos. A excepción de un solo conteo (día 9 de julio), todos los demás muestran un mayor número de individuos mediante el método de VANT (Figura 7). En promedio, el método de VANT contó un 12.7% más individuos que el método de conteo desde embarcación. No obstante, entre categorías existieron diferentes tendencias (Figura 8).

En el caso de hembras y crías, siempre se contaron más animales por el método aéreo, en promedio 40.3% y 30.1% más, respectivamente. Algo similar ocurrió con los juveniles, quienes fueron más

abundantes con este método, en cuatro de las cinco tasas de encuentro, lo que generó un promedio de observación del 44% más para los conteos con fotografías desde VANT que en conteos desde embarcación. En cuanto a los machos subadultos, éstos fueron entre una y dos veces más abundantes en dos de las cinco ocasiones en los conteos desde embarcación, por lo que en promedio fueron 29.3% más abundantes al ser contados desde embarcación. Por su parte, los machos adultos fueron más abundantes en los conteos desde embarcación en las cinco ocasiones, superando a los conteos en fotografías de VANT por un 77.8% en promedio.

No hubo un efecto significativo en el número de animales presente en el método de VANT contra el método de conteo desde embarcación en ninguna de las categorías (Tabla 4).

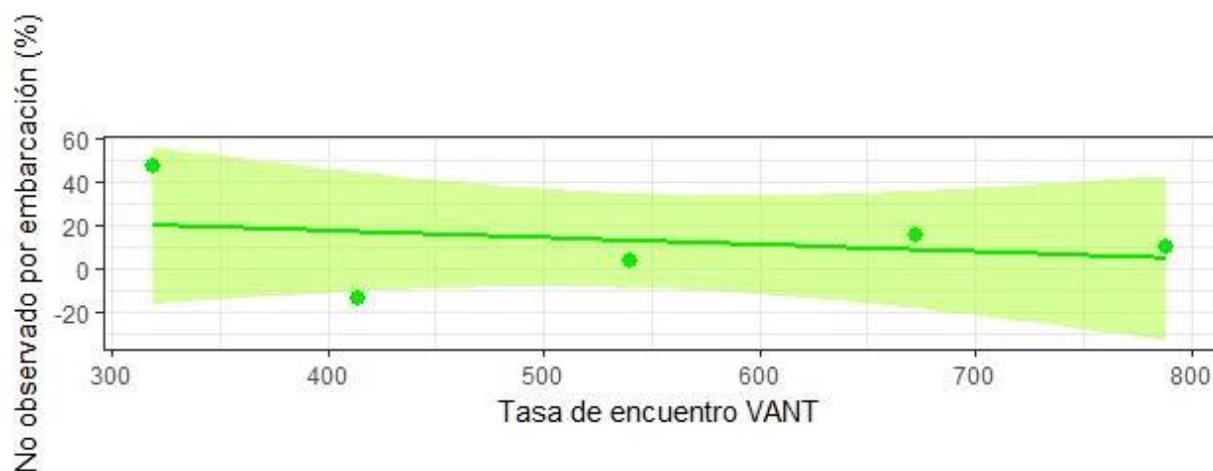


Figura 7. Porcentaje de animales no observados por embarcación con respecto a los observados por VANT.

Tabla 3. Resumen estadístico de los modelos lineales generalizados (GLMs) de los porcentajes no observados por embarcación en función de los conteos de VANT, por categoría de edad/sexo y totales.

Categoría	Estructura del modelo	Valor de significancia	R ² ajustada	Desviación explicada (%)	GCV	n
Modelos de tasas encuentro embarcación en función de las tasas de encuentro VANT						
Cría	$y \sim I(x)$	0.937	-0.33	0.243	1927	5
Juvenil	$y \sim I(x)$	0.18	0.336	50.2	3196.3	5
Hembra	$y \sim I(x)$	0.1516	0.4	55	270.08	5
Macho Subadulto	$y \sim I(x)$	0.127	0.458	59.4	12699	5
Macho Adulto	$y \sim I(x)$	0.513	-0.127	15.4	2987.9	5
Total	$y \sim I(x)$	0.655	-0.233	7.52	1026.9	5
Modelo de tasa encuentro VANT (como porcentaje de embarcación) en función a tasa encuentro de embarcación						
Indeterminado	$y \sim I(x)$	0.086	0.572	67.9	1467	5

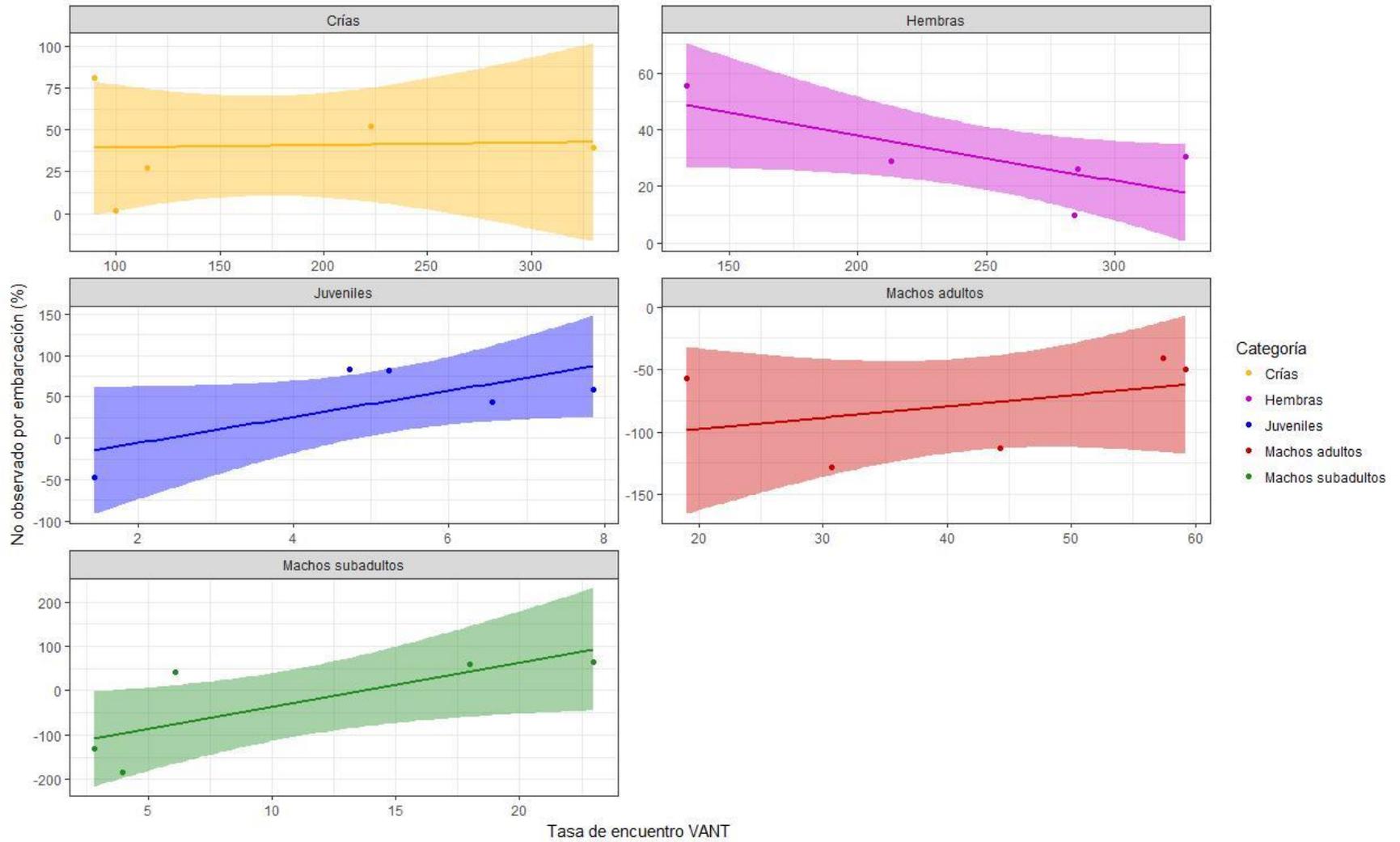


Figura 8. Porcentaje de lobos finos de Guadalupe no observados en los conteos de embarcación de acuerdo a los GLMs por categoría de edad y sexo.

Por otro lado, se ajustó un GLM al porcentaje de animales indeterminados en los conteos de fotografías con respecto a los contados desde embarcación, en función de las tasas de encuentro desde embarcación, con el fin de observar las diferencias en la categorización entre cada método. El ajuste muestra una tendencia del método de embarcación, al aumento de individuos indeterminados cuando el número de animales aumenta (Figura 9).

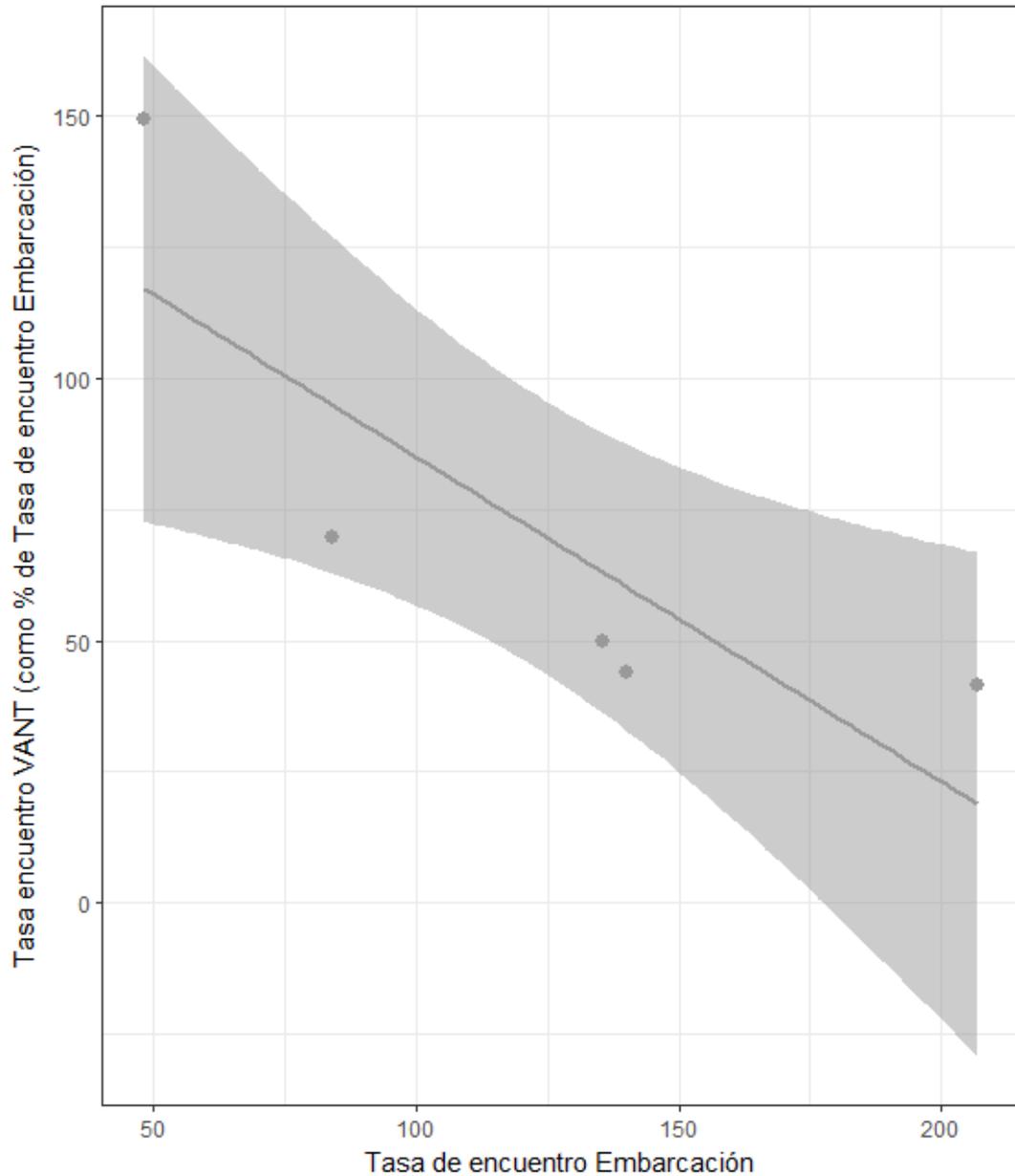


Figura 9. Modelo del ajuste GLM de las tasas de encuentro de VANT, como porcentaje de las tasas de encuentro de embarcación de animales indeterminados.

3.1.4. Estimación comparativa con conteo de crías

Tras usar los conteos de crías obtenidos por ambos métodos de muestreo, se obtuvieron dos estimaciones comparativas mediante el modelo de historia de vida empleado por Boveng (1988) y Lowry y Maravilla-Chávez (2005). El cálculo realizado con las crías contadas por la embarcación estimó un total de 18,044 animales, mientras que el cálculo con los conteos de VANT estimó un total de 32,225 (Figura 10).

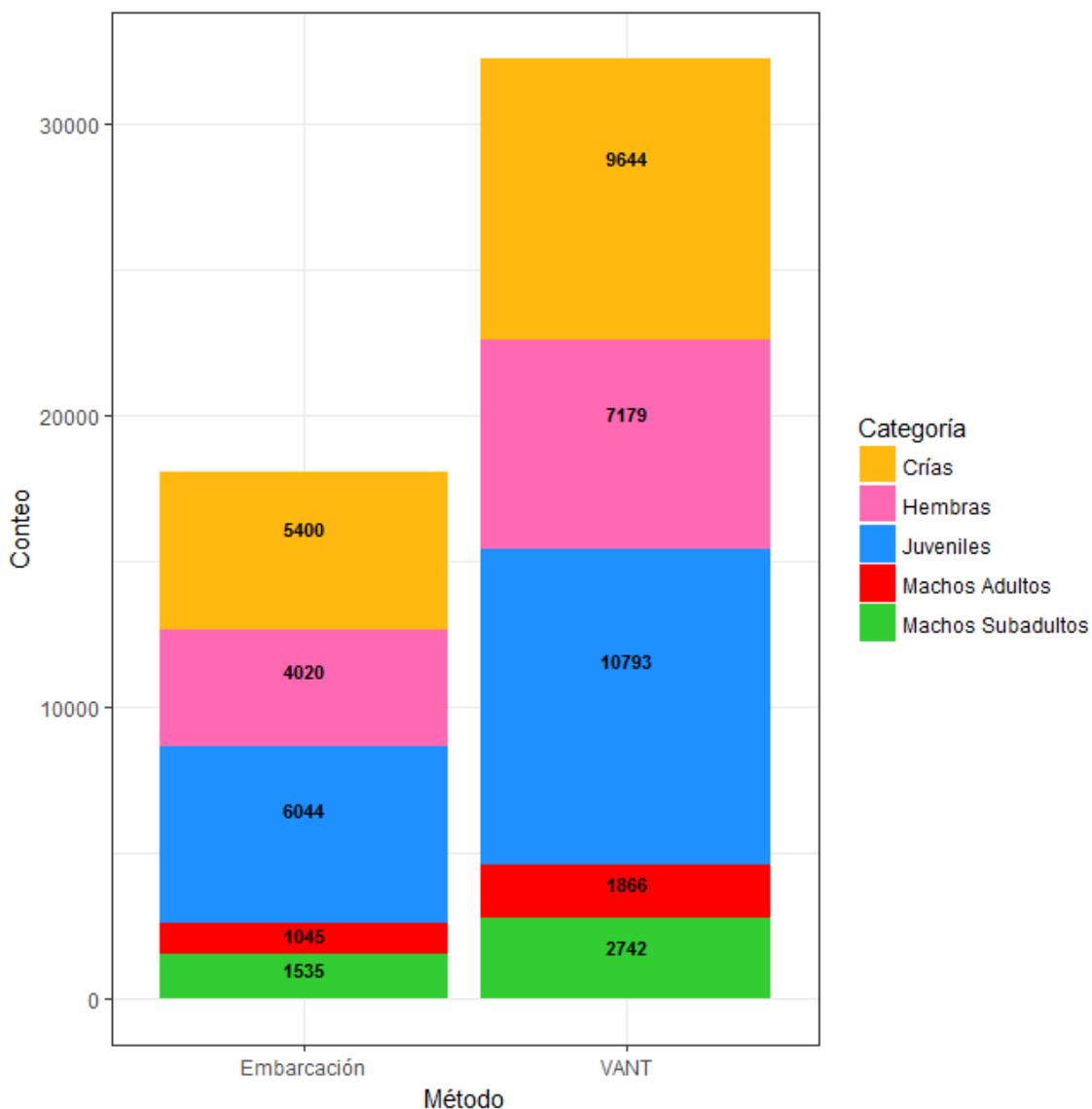


Figura 10. Estructura por sexo y edad del lobo fino de Guadalupe estimada a partir del número de crías contadas con dos métodos de muestreo.

3.2. Preferencias de hábitat

Se eligieron los dos modelos más parsimoniosos de acuerdo a su Criterio de Información de la Desviación (DIC)(Tabla 4); uno para preferencias de hábitat según categorías de edad/sexo, y otro para preferencias según los distintos tipos de sustrato.

3.2.1. Modelo jerárquico por categorías de edad/sexo

El análisis global del modelo jerárquico por categorías de edad y sexo de lobo fino de Guadalupe muestra una relación negativa entre la densidad poblacional y la temperatura ambiental (Figura 11).

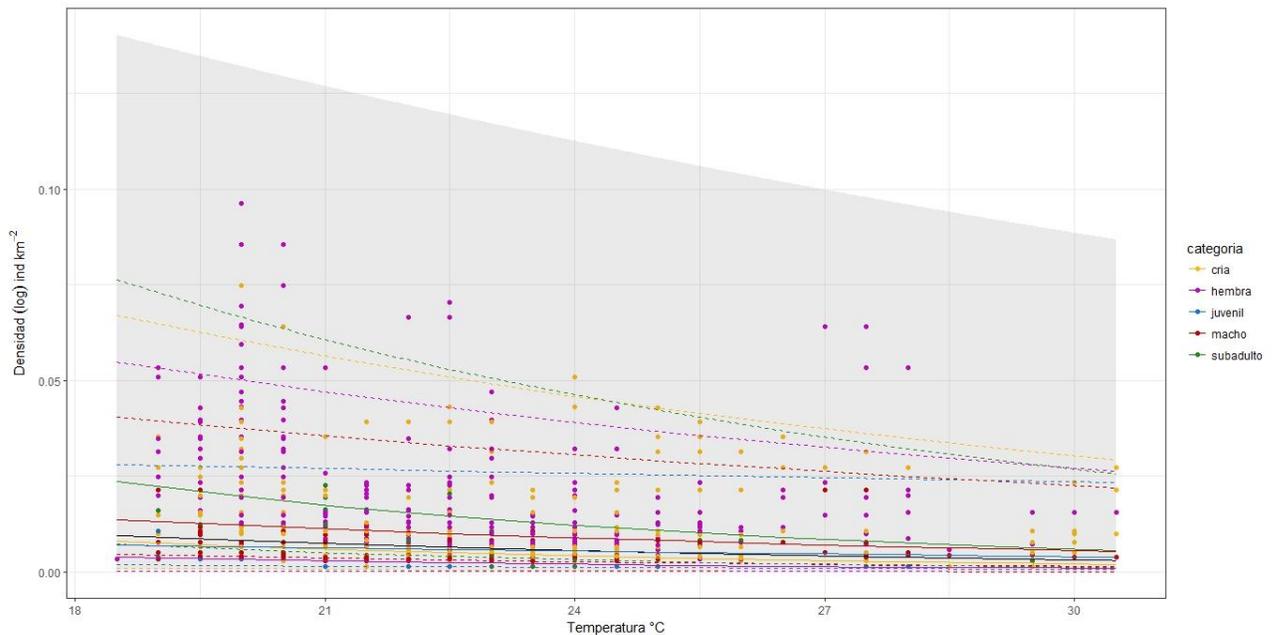


Figura 11. Modelo global por categorías de edad y sexo. Se muestra la relación entre la temperatura ambiental diurna y la densidad de individuos km^{-2} . Las líneas punteadas son los límites superior e inferior de cada categoría de edad y sexo. El sombreado indica los límites superior e inferior de la hipermedia.

Esta relación se observa de manera particular en cada una de las categorías en diferente grado (Figura 12).

Tabla 4. Diferentes modelos jerárquicos basados en la densidad de lobos finos de Guadalupe en tres playas de la Punta Sur en Isla Guadalupe, México con respecto a la temperatura; basados en sus categorías de edad/sexo, y en el tipo de sustrato.

Modelo	Estructura del modelo	pD	DIC
Regresión simple	$\mu \log(D)[i] <- \alpha_0 + \alpha_1 * T[i]$	2.9	3496.5
Modelos basados en categorías de edad/sexo			
<u>Pendiente variable por categorías edad/sexo*</u>	<u>$\mu \log(D)[i] <- \alpha_0[\text{categoria}[i]] + \alpha_1[\text{categoria}[i]] * T[i]$</u>	<u>12.8</u>	<u>2944.8</u>
Pendiente no variable por categorías edad/sexo	$\mu \log(D)[i] <- \alpha_0[\text{categoria}[i]] + \alpha_1 * T[i]$	6.7	2954.8
Polinomio segundo grado	$\mu \log(D)[i] <- \alpha_0[\text{categoria}[i]] + \alpha_1 * T[i] + \alpha_2 * (T[i])^2$	12473.8	15647.2
Modelos basados en tipos de sustrato			
Pendiente variable por sustratos	$\mu \log(D)[i] <- \alpha_0[\text{sustrato}[i]] + \alpha_1[\text{sustrato}[i]] * T[i]$	10.6	3033.9
<u>Pendiente no variable por sustrato*</u>	<u>$\mu \log(D)[i] <- \alpha_0[\text{sustrato}[i]] + \alpha_1 * T[i]$</u>	<u>5.7</u>	<u>3037.5</u>
Polinomio segundo grado	$\mu \log(D)[i] <- \alpha_0[\text{sustrato}[i]] + \alpha_1 * T[i] + \alpha_2 * (T[i])^2$	6717.4	9971.7

***Modelos elegidos por su mayor parsimonia.** D es la densidad de organismos; T es temperatura ambiental diurna; i valor determinado por una observación en una variable determinada (p.ej. categoría). pD=Desviación Posterior Promedio. DIC= Criterio de Información de la Desviación.

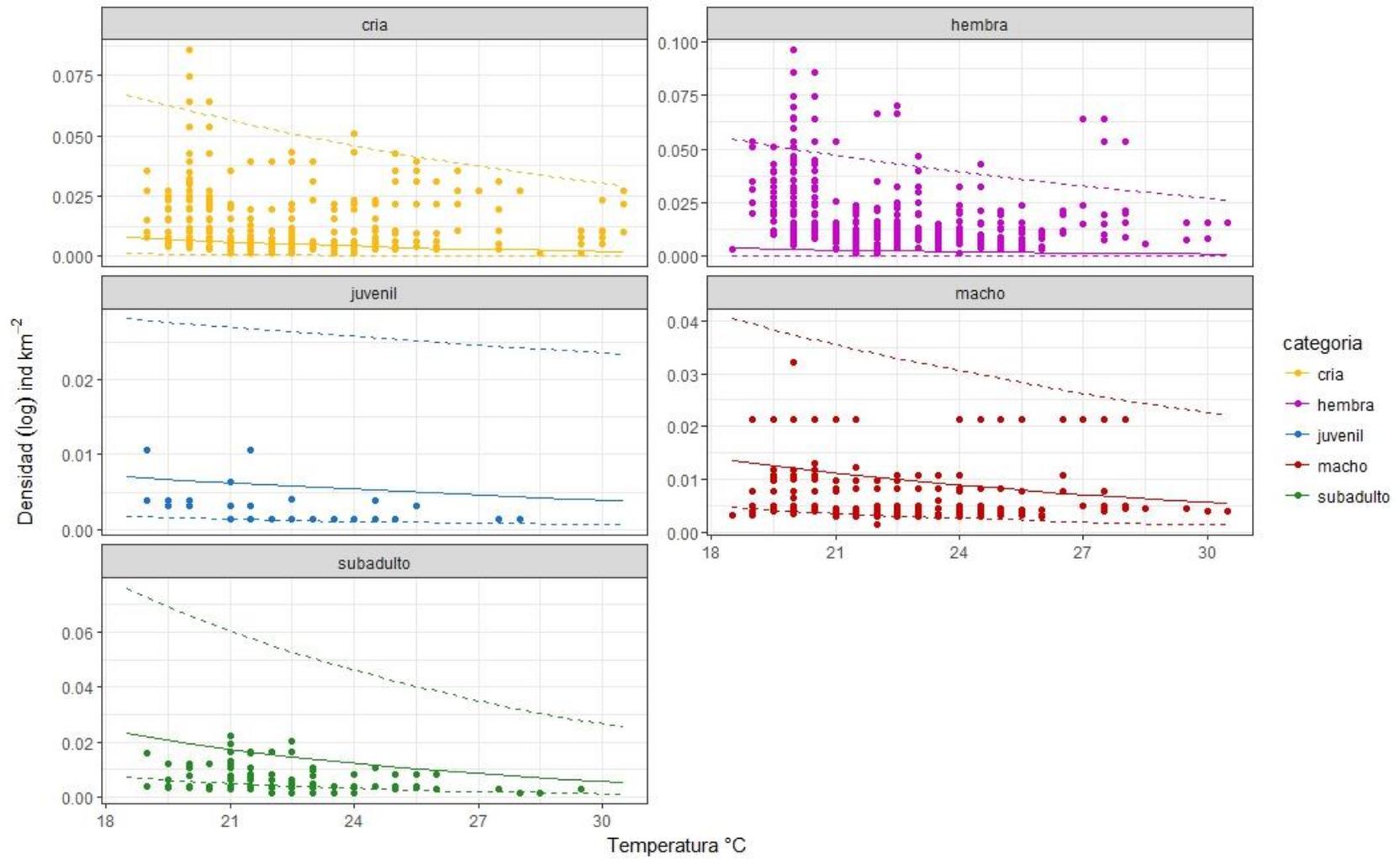


Figura 12. Modelo por categorías de edad y sexo. Se muestra la relación entre la temperatura ambiental diaria y la densidad de individuos km⁻² en cada una de las categorías de edad y sexo.

En una comparación de las distribuciones posteriores de las pendientes (Figura 13) se observa que existen categorías en donde dicha relación es más fuerte que en otras. Son las crías y hembras quienes parecen ser más susceptibles al aumento de la temperatura, al igual que los machos subadultos. La densidad de los machos adultos y juveniles se ve menos afectada por las temperaturas altas.

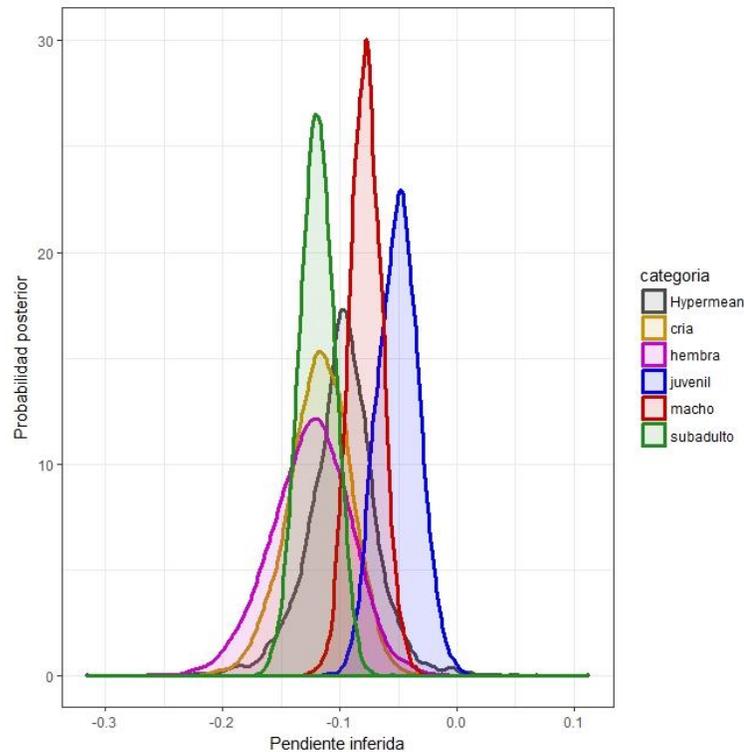


Figura 13. Comparación de distribuciones posteriores de pendientes de cada una de las categorías de edad y sexo de lobo fino de Guadalupe para la relación entre la temperatura ambiental diurna y la densidad individuos km^{-2} .

3.2.2. Modelo jerárquico por tipo de sustrato

Tras un análisis de distintos modelos, se determinó que el más parsimonioso fue aquél donde la pendiente no variaba por tipos de sustrato, esto es, todos los sustratos se trataron como uno solo. Así pues, se observó también una relación negativa entre la densidad de animales y la temperatura ambiental diurna de cada playa (Figuras 14 y 15).

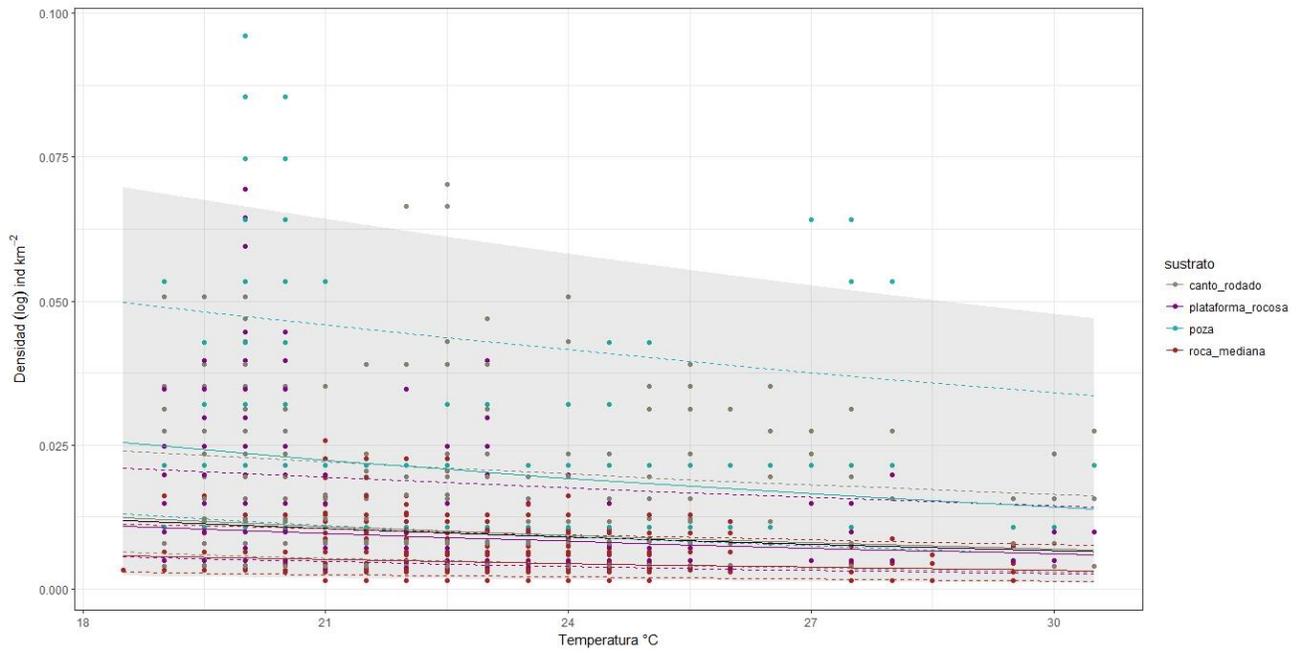


Figura 14. Modelo global por tipos de sustrato. Relación entre la temperatura ambiental diurna y la densidad de individuos km^{-2} . En líneas punteadas se muestran los límites superior e inferior de cada sustrato. El sombreado indica los límites superior e inferior de la hipermedia.

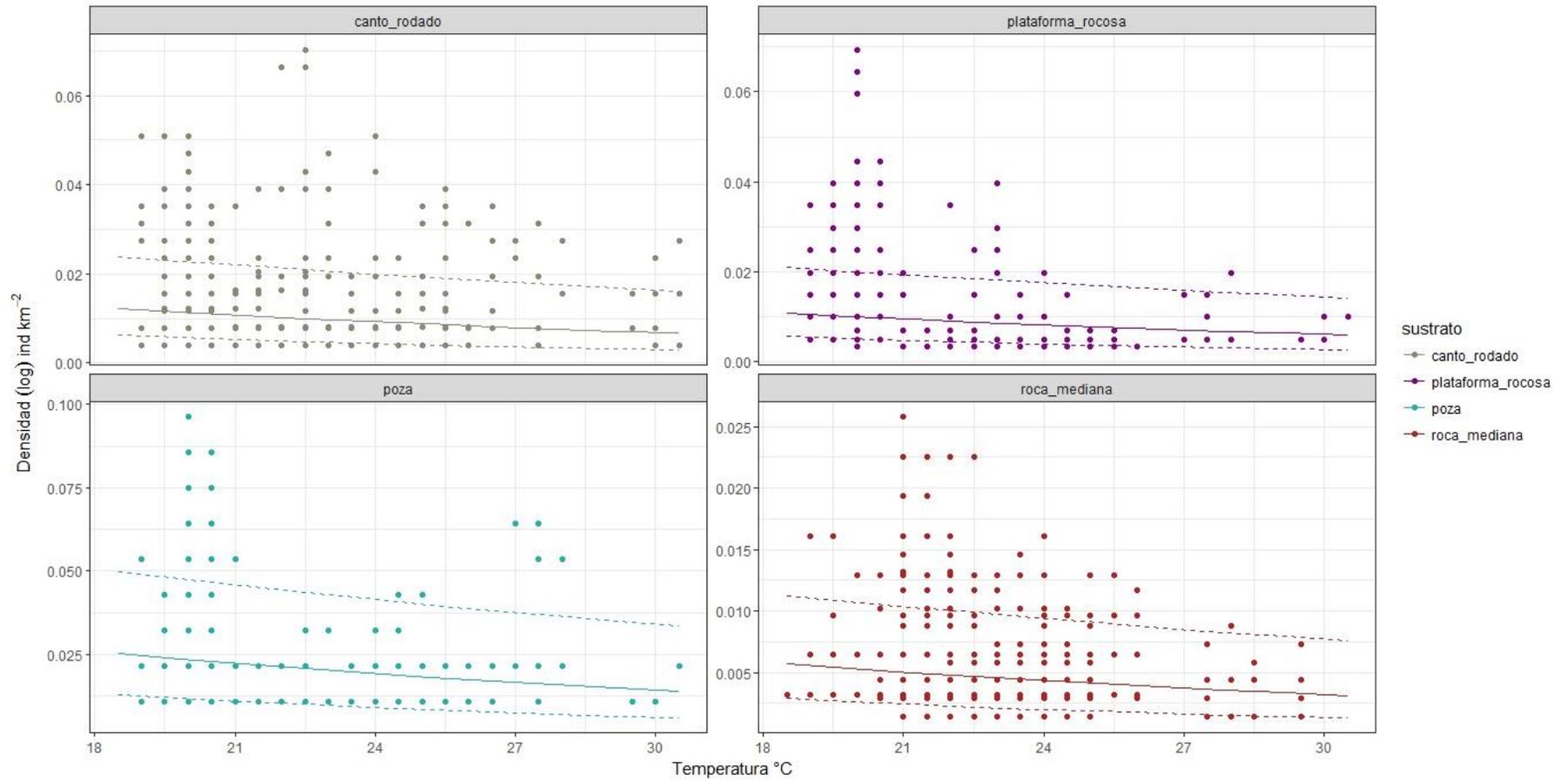


Figura 15. Modelo por tipos de sustrato. Se muestra la relación entre la temperatura ambiental diurna y la densidad de individuos km⁻² en cada una de los sustratos.

Capítulo 4. Discusión

4.1 Abundancia poblacional

El método de conteo basado en fotografías tomadas con un VANT superó al método de conteo de embarcación en cuatro de los cinco días de muestreo. Fue el muestreo del día 9 de julio (Figura 1) el que resultó en un mayor número de individuos contados por embarcación que por fotografías de VANT. Muy probablemente se deba que esta porción de la costa está predominada por rocas grandes (García-Capitanachi *et al.*, 2017). Este sustrato genera grandes oquedades que sirven de refugio para los lobos. Es posible que desde la perspectiva de la embarcación sea más fácil detectar a los organismos que se encuentran bajo las rocas grandes. De esta manera quedan ocultos a la perspectiva cenital que ofrecen las fotografías tomadas desde el VANT. Esto se asemeja a las recomendaciones emitidas por Adame *et al.* (2017), quienes sugieren aplicar las funciones de corrección sólo en ciertos sustratos. Desafortunadamente, al momento de realizar el censo del presente estudio, no se tenía conocimiento de esto y no se estratificó el área de muestreo; por lo tanto no se pudieron aplicar correcciones según el tipo de sustrato.

Sin embargo, el número total de lobos finos contados con el método aéreo fue significativamente superior al método de conteo desde embarcación (Figura 3, Tabla 1). Este rendimiento coincide con el reportado por Adame *et al.* (2017), quienes demostraron que existe una subestimación en los censos desde embarcación para lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en una colonia reproductiva de La Paz, Baja California Sur

De igual forma sucede con las categorías de edad y sexo, a excepción de los machos adultos, cuyo conteo es superior desde embarcación. La explicación a esto podría deberse a las consecuencias del aumento en la temperatura del mar provocadas por El Niño en 2015 (NOAA, 2018). Esta alteración en las condiciones oceanográficas puede afectar la disponibilidad de las presas del lobo fino de Guadalupe, debido a cambios en los niveles inferiores de la cadena trófica (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016). Estos aumentos de temperatura también han afectado a otras especies de pinnípedos, como la foca de puerto (*Phoca vitulina richardii*), que tuvo una disminución importante en su número de crías en las temporadas 2015 y 2016, además de la presencia de crías abandonadas por sus madres (Fernández Martín, 2018). Elorriaga-Verplancken *et al.* (2016) reportaron que en 2015 la población de lobo fino de Guadalupe del archipiélago de San Benito disminuyó un 52%, en comparación con 2014; además de que su nicho

isotópico fue tres veces mayor en 2015 que en 2014. Esto implica viajes de alimentación más largos por la dispersión o escasez de las presas, producto del aumento de temperatura en el mar. Este esfuerzo en los viajes representa un mayor gasto energético (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016), lo que pudo causar una disminución aparente en la condición corporal de los machos adultos para 2016. Lo anterior se traduce en una difícil diferenciación entre machos adultos y subadultos. Esta diferenciación se facilita en los conteos desde embarcación, debido al comportamiento reproductivo desarrollado por los machos adultos durante la temporada reproductiva. Los desplantes típicos del macho territorial resultan casi imperceptibles desde las fotografías aéreas, y mucho más lo son las vocalizaciones. Esto puede explicar por qué los conteos desde embarcación tienen un número superior de machos adultos con respecto a los conteos desde fotografías de VANT.

Una ventaja de los conteos con fotografías desde VANT es que se cuenta con más tiempo para decidir la categoría de edad y sexo de cada individuo, mientras que desde la embarcación sólo se cuenta con unos instantes para categorizar. Esto se ve reflejado en una disminución de los animales indeterminados en los conteos en fotografías (Figura 3). Además, el porcentaje de indeterminados desde la embarcación aumenta cuando hay mayor número de animales (Figura 9). Estos resultados coinciden con los reportados por Adame *et al.* (2017) en relación a la eficiencia de categorización de cada método para lobo marino de California.

Después de generar la función de corrección a través de la comparación de métodos, se obtuvieron nuevas estimaciones de abundancia para los conteos de años anteriores, y casi todas fueron superiores a las originales (Tabla 2). Cabe mencionar que los intervalos de confianza son muy amplios (Figura 6), y muy probablemente se deba al bajo número de la muestra (días de muestreo), el cual se utilizó debido a que era la manera de estandarizar los conteos para fines comparativos. A pesar de que el conteo de animales en fotografías tomadas desde VANT en 2016 es superior al número estimado por la función de corrección para el mismo año, se encuentra dentro de los intervalos de confianza estimados por la misma función. Todas las estimaciones de abundancia corregidas fueron superiores a las originales, excepto la del año 2010 (Figura 6), año en que García-Capitanachi *et al.* (2017) hicieron conteos a pie para corregir los individuos de cada sustrato censados por la embarcación. Estos resultados, aunados al hecho de que existen zonas en la isla cuyo sustrato predominante propicia un conteo superior desde embarcación, sugieren que el conteo aéreo la manera en que se hizo en este estudio, no es un método que pueda sustituir totalmente al conteo desde embarcación, sino complementarlo. Una solución podría ser estratificar la zona por tipos de sustratos, tal como lo hicieron García-Capitanachi *et al.* (2017), y obtener factores de corrección mediante las fotografías de VANT para cada tipo de sustrato. Además, es

pertinente dividir la zona de costa en tramos de longitud estándar para uniformizar el muestreo, donde cada cierta distancia se registre el número de individuos contados por embarcación. Esto generará un mayor número de muestra y hará más precisas las correcciones.

Por otro lado, el crecimiento de la población no debe de pasar desapercibido. En los últimos 40 años la población de lobo fino de Guadalupe se ha recuperado, incrementando de manera exponencial (Gallo-Reynoso *et al.*, 2005). Así pues, con un estimado de $28,780 \pm 3,978$ animales para el verano de 2016, la colonia de Isla Guadalupe ha superado los 23,857 individuos estimados como capacidad de ocupación del territorio de la isla (Gallo-Reynoso, 1994). Como ya se documentó, la especie está recolonizando sus antiguos territorios. Es el caso de las Islas San Benito, que aunque es una colonia incipiente y de baja tasa reproductiva (García-Capitanachi *et al.*, 2017), ya existen machos adultos estableciendo territorios (F. Elorriaga-Verplancken, com. pers., marzo, 2016). No obstante, el crecimiento acelerado de la colonia de Isla Guadalupe y su inmediata recuperación después de eventos catastróficos (Figura 6) sugiere que la isla no ha alcanzado su capacidad de carga. Se observa una disminución en la abundancia de 2014 a 2015, probablemente por El Niño. Lo mismo se observó para la colonia del archipiélago San Benito, no sólo para el lobo fino de Guadalupe, sino también para lobo marino de California (Elorriaga-Verplancken *et al.*, 2016).

El incremento tan marcado del año 2015 al año 2016 podría explicarse por un cambio en la técnica de muestreo (Figura 6). Regularmente el censo de pinnípedos en Isla Guadalupe se lleva a cabo por Conservación de Islas A. C., y les lleva aproximadamente tres días, dependiendo de las condiciones ambientales. Sin embargo, para 2016 el censo duró cinco días, puesto que la duración de las baterías del VANT limita las horas de muestreo. Esto podría significar que el muestreo desde embarcación fue más eficiente en sus conteos con respecto a otros años, por el hecho de avanzar a menor velocidad, a la par del VANT. Para corregir esto, se estandarizaron los conteos tasas de encuentro ($\text{individuos km}^{-1}$), sin embargo las unidades de muestreo fueron los días que duró el censo, que son muy pocas. Por ello se insiste en la división del área de muestreo en longitudes estándar para obtener un censo más homogéneo y de mayor número de unidades de muestreo. Otra explicación del notable incremento en el número de organismos contados puede ser que al ser más días de muestreo, exista un recuento de individuos que sobreestime la población. Esto puede mejorar reduciendo el número de días de muestreo. Vale la pena recalcar que este estudio es el censo de lobo fino de Guadalupe que se llevó a cabo con embarcación y VANT de manera simultánea en Isla Guadalupe, y existen detalles que se pueden mejorar con la experiencia, como una mejor coordinación para la recuperación del VANT en la

panga, o una conducción más eficiente del VANT. Cabe mencionar que los últimos días del muestreo estos aspectos mejoraron debido a la práctica.

4.2 Estimación comparativa

Al comparar los resultados de estimación de abundancia utilizando la ecuación desarrollada por Boveng (1977) (Ecuación 1), se observa una diferencia de casi el doble de individuos para el método de fotografías tomadas desde VANT (18,044 desde embarcación; 32,225 con VANT). Sin embargo, se aprecia un error de estimación en el número de individuos por categoría de edad y sexo, particularmente en la cantidad de crías con respecto a la de hembras, quienes apenas representan un tercio del total de las crías contadas. El escenario anterior no es viable, debido a que en pinnípedos, los nacimientos múltiples son raros (Spotte, 1982).

Tras probar con múltiples cambios en las variables de la Ecuación 1, se determinó que es el crecimiento poblacional λ la variable que afecta los resultados en la distribución de las proporciones para las categorías de edad y sexo. El crecimiento poblacional de la colonia de lobo fino de Guadalupe en Isla Guadalupe presenta un crecimiento exponencial del 12.8% (Gallo-Reynoso, et al., 2005), el cual es muy superior a los crecimientos poblacionales de las colonias de lobo marino de California con las que trabajaron Boveng (1977) y Lowry y Maravilla-Chávez (2005). Cuando se probó con crecimientos poblacionales inferiores al determinado por Gallo-Reynoso *et al.* (2005), se obtuvo una mejora en las proporciones de las categorías; sin embargo estos fueron disminuidos de manera intencional, por lo que no representan una proporción real pero sí un indicio de que es esa variable (λ) en la ecuación la que afecta directamente la proporción. Cabe mencionar que existen otros factores que también pueden afectar la estimación por este método, como lo es el uso de tablas de vida de otras especies al no disponer de datos de mortalidad para lobo fino de Guadalupe, en este caso *Callorhinus ursinus*.

Si bien la estimación con este método no resulta adecuada para determinar la estructura poblacional de edad y sexo de la población de lobo fino, sí parece tener un buen resultado en el total de individuos estimados para la población. El número obtenido con la Ecuación 1 utilizando los conteos de crías con fotografías de VANT es muy similar a la estimación obtenida por la función de corrección realizada en la

comparación de métodos (32,225 y $28,780 \pm 3,978$ individuos, respectivamente), e inclusive se encuentra dentro de los intervalos de confianza estimados por la misma función (Figura 6).

4.3 Preferencias de hábitat

Pocos trabajos han documentado de manera cuantitativa el comportamiento del lobo fino de Guadalupe en función de las condiciones ambientales. En 1994, Gallo-Reynoso reportó que en temperaturas superiores a 30°C los lobos tienden a irse al agua o a buscar protección en lugares con sombra. Árias-del-Razo *et al.* (2016) realizaron lo propio en función de los hábitats que prefiere la especie, concluyendo que es una combinación de factores la que predice con mejor exactitud la presencia y ausencia de los organismos en los diferentes sustratos.

Tras analizar los datos, se logró correlacionar a la temperatura ambiental diurna como un factor determinante para explicar la distribución y abundancia de los individuos en las playas. Un aumento de temperatura ambiental se traduce en una disminución en la densidad de animales en tierra (individuos km^{-2}). La hora del día no es un buen predictor, pues no mostró ninguna tendencia con relación a la abundancia relativa.

4.3.1 Categorías de edad y sexo

El modelo más parsimonioso (Tabla 5) mostró que las diferentes categorías de edad reaccionan de manera distinta a los cambios de temperatura. Se observa que entre las pendientes más negativas está la de las crías (Figura 13). Posiblemente lo anterior se debe a que tienen un tamaño mucho más pequeño que el resto de las categorías, además de poseer un pelaje totalmente negro; es probable que estas características los hagan más susceptibles a los aumentos de temperatura por la radiación solar, provocando que abandonen los sitios terrestres con mayor exposición al sol. Esto ya ha sido observado en otra especie de lobo fino (*A. galapagoensis*), cuyo comportamiento se rige más por la temperatura ambiental que por un ritmo circadiano (Limberger *et al.*, 1986). Sin embargo, durante sus primeras dos semanas de edad, las crías poseen una movilidad muy limitada, lo que hace más difícil que puedan alcanzar el agua cuando las temperaturas son elevadas, sobre todo en mareas bajas (Limberger *et al.*,

1986; Riedman, 1990). Una explicación al porqué se sigue observando una disminución en su densidad cuando aumenta la temperatura ambiental diurna radica en el método de muestreo. Las observaciones en las playas se hicieron siempre desde un punto fijo, y se registró sólo a aquellos animales que se podían ver. Con frecuencia las crías se resguardan en las oquedades que brindan algunos sustratos, por lo que es de esperarse que desaparezcan de la vista del contador cuando las condiciones ambientales lo ameritan, como un aumento en la temperatura ambiental.

Así mismo, las hembras muestran una pendiente negativa de valor muy cercano al de la pendiente de las crías, además de que sus distribuciones en el modelo son muy similares (Figura 12). Esto es de esperarse debido a que, durante la temporada reproductiva, las hembras recién han parido sus crías del año anterior, y permanecen juntos los primeros días del periodo de lactancia. A diferencia de las crías, las hembras tienen una mayor facilidad de irse al agua. En campo se observó que las hembras logran acceder al agua, a pesar de que el macho que domina el territorio en el que se encuentran, trata de impedir que abandonen la tierra mediante vocalizaciones y desplantes. Lo anterior se puede deber a dos cosas: la primera explicación es que las hembras abandonan la tierra en busca de alimento; sin embargo los conteos se realizaron a principios de la época reproductiva, donde la mayoría de las crías tienen menos de dos semanas de nacidas. En este periodo de tiempo las madres se separan muy poco de las crías, debido a que requieren de mayores cuidados y pasan gran parte del día amamantando (Riedman, 1990; Gallo-Reynoso, 1994). La otra explicación es que el aumento de temperatura ambiental las obligue a ir al agua para refrescarse. Esto se puede apreciar en las gráficas de hembras y de poza en las Figuras 12 y 15 respectivamente, donde la densidad disminuye con el aumento de la temperatura y alcanza un segundo pico alrededor de los 28°C. Es de esperarse que las hembras busquen un sustrato que les facilite la termorregulación en temperaturas elevadas. Las pozas de marea les brindan esta posibilidad. Esto coincide de manera parcial con los resultados de Arias-del-Razo *et al.* (2016) quienes reportan que las pozas de marea tienen un efecto positivo en la presencia de organismos cuando se encuentran junto a sitios expuestos al oleaje.

La densidad poblacional en función de la temperatura ambiental de los machos subadultos refleja una pendiente con un valor negativo muy cercano a los observados en crías y en hembras, además de una probabilidad posterior más alta (Figura 13). Esto se debe a que el área de las playas muestreadas está compuesta en su mayoría por territorios ocupados por machos adultos establecidos, quienes desplazan a los machos subadultos hacia la periferia de los territorios reproductivos; por lo anterior, la abundancia de los machos subadultos es menor en estos territorios en comparación con otras categorías (Figura 12), por ende la relación entre su densidad y la temperatura ambiental es más susceptible a cambios.

La densidad poblacional de los machos adultos parece ser menos afectada por los aumentos de temperatura con respecto a las tres categorías anteriores (Figura 13). Lo anterior puede ser debido al comportamiento de los machos adultos en la época reproductiva, quienes compiten entre sí por los mejores territorios, los cuales no abandonan una vez establecidos, puesto que dentro de ellos se establecerán las hembras en función a la disponibilidad de recursos. Cabe señalar que el territorio defendido por un macho está conformado tanto por una parte terrestre como por otra acuática. Esto puede ser la explicación al porqué la densidad de los machos adultos tiene una probabilidad posterior superior al resto de las categorías en función al aumento de la temperatura (Figura 13). Los machos adultos no abandonan su territorio con el aumento de temperatura; es posible que cuando la temperatura aumenta, opten por patrullar la parte acuática de su territorio, como una estrategia para la termorregulación.

El caso de los juveniles es muy particular, pues el modelo indica que son los menos susceptibles al aumento de temperatura (Figura 13). No obstante, su densidad es mucho menor al resto de las categorías (Figura 12), con aproximadamente 30 observaciones. Posiblemente se trate organismos que permanecieron en las playas de manera ocasional, pues durante los conteos se observó que los pocos individuos de esta categoría eran relegados a territorios más alejados del agua, ya que estas playas son territorios reproductivos acaparados por machos adultos, hembras y crías.

Es importante resaltar que, si bien hay un leve orden en las distribuciones, la mayoría de ellas se superponen casi por completo, lo que sugiere que la diferencia estadística es casi nula. Sin embargo, a pesar de que hubieron modelos de menor complejidad, es decir, con un menor número de parámetros, el modelo con menor DIC (Criterio de Información de Desviación) fue el que varió por categorías de edad y sexo, tanto en pendiente como en intercepto (Tabla 5).

4.3.2. Tipos de sustrato

Existen estudios que apoyan la teoría de la temperatura como factor condicionante para la distribución de los organismos en tierra (Gallo-Reynoso, 1994). También se ha reportado que los sustratos que más densidad de organismos tienen por superficie son aquellos que ofrecen una ventaja para disminuir la temperatura corporal cuando ésta aumenta en el ambiente, como las pozas de marea (Arias-del-Razo *et al.*, 2016). Sin embargo, en este estudio, el modelo “Pendiente no variable por sustrato” fue elegido

como el más parsimonioso (Tabla 5). Este modelo indica que no existen preferencias por tipos de sustrato (Figuras 14 y 15). A pesar de no ser el modelo con DIC más bajo, se optó por este modelo debido a que su DIC es muy cercano al modelo “Pendiente variable por sustratos”. Además de esto, al ser un modelo más complejo por tener mayor cantidad de variables, los hacía menos viable; y las distribuciones de las probabilidades posteriores tuvieron mucha superposición. Lo anterior se traduce en que, sin importar el tipo de sustrato, la densidad poblacional disminuye a medida que la temperatura ambiental incrementa.

Esto contrasta con el estudio de Arias-del-Razo *et al.* (2016) quienes reportan que existen preferencias por algunos sustratos, las cuales varían de acuerdo a diferentes factores, como época del año o exposición al oleaje. Sin embargo dicho estudio no utilizó la temperatura como un factor determinante. Posiblemente, durante el verano, las preferencias por algún tipo de sustrato pasen a segundo término debido a que es la época en la que se registran las temperaturas ambientales más altas en las playas de Isla Guadalupe. Esto provoca que a determinada temperatura los individuos abandonen cualquier tipo de sustrato para refrescarse.

Es importante recalcar que todas las aseveraciones referentes al comportamiento de los lobos y su uso de hábitat, se limitan sólo a la temporada reproductiva, en condiciones diurnas y en territorios de reproducción de Punta Sur en Isla Guadalupe.

Capítulo 5. Conclusiones

- El conteo de lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*) mediante fotografías de VANT es significativamente superior ($p < 0.05$) al conteo desde embarcación.
- El censo aéreo con VANT, como se realizó en este estudio, no sustituye al censo desde embarcación debido al bajo tamaño de muestra; por ende se considera complementario.
- La categorización de individuos por edad y sexo es más eficiente utilizando el censo aéreo con VANT que el censo desde embarcación
- La colonia de lobo fino de Guadalupe de Isla Guadalupe continúa creciendo. Las estimaciones de abundancia de este trabajo representan las más altas registradas hasta la fecha, con un total de $28,780 \pm 3,978$ individuos.
- La temperatura ambiental es una variable determinante para la densidad poblacional de lobos en playas con territorios reproductivos.
- Las crías y hembras son más reactivas a los cambios de temperatura ambiental, mientras que los machos adultos permanecen por más tiempo en su territorio a pesar del aumento en la temperatura ambiental. Los juveniles y machos subadultos se encuentran en menor proporción en estos territorios, al ser desplazados por los machos adultos.
- El tipo de sustrato no influye en la relación densidad poblacional-temperatura ambiental.
- Se sugiere estandarizar el método de muestreo estratificando el área de conteo en zonas de longitud uniforme y por tipos de sustrato. Esto con la finalidad de aumentar el número de muestra y poder comparar conteos y no tasas de encuentro; además de obtener funciones de corrección por tipo de sustrato. Lo anterior reducirá la incertidumbre en los intervalos de confianza, y permitirá conocer las abundancias por tipo de sustrato de manera más precisa para futuras correcciones.

Literatura citada

- Adame, K., Pardo, M. A., Salvadeo, C., Beier, E., Elorriaga-Verplancken, F. R. 2017. Detectability and categorization of California sea lions using an unmanned aerial vehicle. *Marine Mammal Science*, 33(3), 913–925.
- Antonelis, G. A., Fiscus, C. H. 1980. The Pinnipeds of the California Current. *CalCOFI*, XXI, 68–78.
- Arias-del-Razo, A., Heckel, G., Schramm, Y., Pardo, M. A. 2016. Terrestrial habitat preferences and segregation of four pinniped species on the islands off the western coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Mammal Science*, 32(4), 1416–1432.
- Arias del Razo, A. 2011. Uso de hábitat por cuatro especies de pinnípedos en las islas al occidente de Baja California. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. 141 pp.
- Aurioles-Gamboa, D. 2015. *Arctocephalus townsendi*. The IUCN Red List of Threatened Species. Retrieved March 12, 2016, from <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-2.RLTS.T2061A45224420.en>.
- Berta, A., Sumich, J., Kovacs, K. 2006. *Marine Mammals Evolutionary Biology* (2da ed.). San Diego: Elsevier Academic Press.
- Bonner, N. 1994. *Seals and Sea Lions of the World*. Londres: Blandford.
- Boveng, P. 1988. Status of California sea lion population on the U.S. West Coast. Administrative report: LJ-88-07. Southwest Fisheries Science Center. La Jolla, California.
- Bowen, W. D., McMillan, J. I., Blanchard, W. 2007. Reduced population growth of gray seals at Sable Island: evidence from pup production and age of primiparity. *Marine Mammal Science*, 23(1), 48–64.
- Busch, B. C. 1985. *The War against the Seals. A History of the North American Sea Fishery*. Montreal: McGill-Queen's University Press.
- Cappozzo, H. L. 2001. New Perspectives on the Behavioural Ecology of Pinnipeds. En: P. G. H. Evans, J. A. Raga (Eds.), *Marine Mammals. Biology and Conservation* (pp. 243–264). New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Castellini, M. 2002. Thermoregulation. En: W. Perrin, B. Würsig, J. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals* (2da ed., pp. 1166–1171). Amsterdam: Elsevier. Academic Press.
- Committee on Taxonomy. 2017. List of Marine Mammal Species & Subspecies. Society for Marine Mammalogy. Retrieved January 29, 2018, from <https://www.marinemammalscience.org/species-information/list-marine-mammal-species-subspecies/>

- Elorriaga-Verplancken, F. R., Sierra-Rodríguez, G. E., Rosales-Nanduca, H., Acevedo-Whitehouse, K., Sandoval-Sierra, J. 2016. Impact of the 2015 El Niño-southern oscillation on the abundance and foraging habits of Guadalupe fur seals and California sea lions from the San Benito Archipelago, Mexico. *PLoS ONE*, *11*(5), 1–16.
- Esperón-Rodríguez, M., Gallo-Reynoso, J. P. 2012. Recolonización del archipiélago de San Benito, Baja California, por el lobo fino de Guadalupe. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *83*(1), 170–176.
- Fernández Martín, E. M. 2018. Fenología de los nacimientos, estado de salud de las crías, y estructura genética poblacional de *Phoca vitulina richardii* en México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California.
- Gallo-Reynoso, J. P. 1994. Factors affecting the population status of Guadalupe fur seal, *Arctocephalus townsendi* (Merriam, 1897), at Isla de Guadalupe, Baja California, Mexico. Ph.D. dissertation. University of California Santa Cruz. 109 pp.
- Gallo-Reynoso, J. P., Esperón-Rodríguez, M. 2013. Diet composition of the Guadalupe fur seal (*Arctocephalus townsendi*). Where and what do they eat? *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, *46*(6), 455–467. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10236244.2013.849400>
- Gallo-Reynoso, J. P., Le Boeuf, B. J., Figueroa-Carranza, A. L., Maravilla-Chávez, M. O. 2005. Los pinnípedos de Isla Guadalupe. En: K. Santos del Prado, E. Peters (Eds.), *Isla Guadalupe. Restauración y conservación* (1st ed., pp. 171–202). México, D.F.: SEMARNAT, INE, CICESE, GECl y SEMAR.
- García-Capitanachi, B., Schramm, Y., Heckel, G. 2017. Population fluctuations of Guadalupe fur seals (*Arctocephalus philippii townsendi*) between the San Benito Islands and Guadalupe Island, Mexico, During 2009 and 2010. *Aquatic Mammals*, *43*(5), 492–500.
- García Capitanachi, B. 2011. Estado de la población del lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus townsendi*) en Isla Guadalupe e Islas San Benito. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. 119 pp.
- Goebel, M. E., Perryman, W. L., Hinke, J. T., Hann, N. A., Gardner, S., LeRoi, D. J. 2015. A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators. *Polar Biol*, *38*(5), 619–630.
- Hanni, K. D., Long, D. J., Jones, R. E., Pyle, P., Morgan, L. E. 1997. Sightings and strandings of Guadalupe fur seals in Central and Northern California , 1988- 1995. *Society*, *78*(2), 684–690.
- Hernández-Montoya, J. C. 2009. Distribución, abundancia y estructura alimentaria del lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus townsendi*) en Isla Guadalupe, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C.107 PP.
- Hickey, B. M. 1979. The California current system-hypotheses and facts. *Progress in Oceanography*, *8*(4), 191–279.

- Hodgson, A. J., Noad, M., Marsh, H., Lanyon, J., Kniest, E. 2010. Using Unmanned Aerial Vehicles for surveys of marine mammals in Australia: test of concept. Queensland.
- INEGI. 2016. Islas de México. Retrieved March 10, 2016, from <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/islas/default.aspx?tema=T>
- Jefferson, T. A., Webber, M. A., Pitman, R. L. 2008. Marine Mammals of The World. A Comprehensive Guide to their Identification. London: Academic Press, Elsevier.
- Kirkwood, R., Gales, R., Terauds, A., Arnould, J. P. Y., Pemberton, D., Shaughnessy, P. D., Mitchell, A. T., Gibbens, J. 2005. Pup production and population trends of Australian fur seal (*Arctocephalus pusillus doriferus*). *Marine Mammal Science*, 21(2), 260–282.
- Limberger, D., Trillmich, F., Biebaeh, H., Stevenson, R. D. 1986. Galapagos fur seal pups (*Arctocephalus galapagoensis*). *Oecologia*, 69, 53–59.
- Linchant, J., Lisein, J., Semeki, J., Lejeune, P., Vermeulen, C. 2015. Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring ? A review of accomplishments and challenges. *Mammal Review*, 45, 239–252.
- Lowry, S. 1999. Counts of California sea lion (*Zalophus californianus*) pups from aerial color photographs and from the ground: a comparison of two methods. *Marine Mammal Science*, 15(1), 143–158.
- Lowry, S., Maravilla-Chávez, O. 2005. Recent abundance of California sea lions in western Baja California, Mexico and the United States. En: Garcelon DK, Schwemm CA (eds.), *Proceedings of the 6th California Islands Symposium*, Ventura, California.
- Lynn, R. J., Simpson, J. J. 1987. The California Current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92(C12), 12947. Retrieved from <http://doi.wiley.com/10.1029/JC092iC12p12947>
- McGibney, C. H. J. 2015. VANTs – Can they be used for marine mammal research? Retrieved February 11, 2016, from <http://www.seawatchfoundation.org.uk/VANTs-can-they-be-used-for-marine-mammal-research/>.
- Melin, S. R., DeLong, R. L. 1999. Observations of a Guadalupe fur seal (*Arctocephalus townsendi*) female and pup at San Miguel Island, California. *Marine Mammal Science*, 15(3), 885–888.
- NOAA. 2018. NOAA. Retrieved August 4, 2018, from http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Pemberton, D., Kirkwood, R. J. 1994. Pup production and distribution of the Australian fur seal, *Arctocephalus pusillus doriferus*, in Tasmania. *Wildlife Research*, 21, 341–352.
- Peterson, R. S., Hubbs, C. L., Gentry, R. L., DeLong, R. L. 1968. The Guadalupe Fur Seal: Habitat, Behavior,

- Population Size, and Field Identification. *American Society of Mammalogists*, 49(4), 665–675.
- Pierce, G., Pearlstine, L. G., Percival, H. F. 2006. An assessment of small Unmanned Aerial Vehicles for wildlife research. *Wildlife Society Bulletin*, 34(3), 750–758.
- Plummer, M. 2016. rjags: Bayesian Graphical Models using MCMC. R package version 4-6.
- R Core Team. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing.
- Riedman, M. 1990. *The Pinnipeds. Seals, Sea Lions, and Walruses*. Los Angeles: University of California Press.
- Santos del Prado, K., Peters, E. 2005. *Isla Guadalupe. Restauración y conservación*. (K. Santos del Prado, E. Peters, Eds.) (1st ed.). México, D.F: SEMARNAT, INE, CICESE, GECI y SEMAR.
- Smith, C. E., Sykora-Bodie, S. T., Bloodworth, B., Pack, Shalynn M., Spradlin, T. R., Leboeuf, N. R. 2016. Assessment of known impacts of unmanned aerial systems (UAS) on marine mammals : data gaps and recommendations for researchers in the United States. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 4, 10.1139/juvs-2015-0017.
- Snyder, G. M., Pitcher, K. W., Perryman, W. L., Lynn, M. S. 2001. Counting Steller sea lion pups in Alaska: an evaluation of medium-format, color aerial photography. *Marine Mammal Science*, 17(1), 136–146.
- Spotte, S. 1982. The incidence of twins in pinnipeds. *Canadian Journal of Zoology*, 60(9), 2226–2233.
- Van Gemert, J. C., Verschoor, C. R., Mettes, P., Epema, K., Koh, L. P., Wich, S. 2015. Nature conservation drones for automatic localization and counting of naimals. In C. Agapito, L.; Bornstein, M. M.; Rother (Ed.), *Computer Vision - ECCV 2014 Workshops* (pp. 255–270). Zurich: Springer. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84928819309&partnerID=tZ0tx3y1>
- Villegas-Zurita, F., Castillejos-Moguel, F., Elorriaga-Verplancken, F. R. 2015. Southernmost presence of the Guadalupe fur seal (*Arctocephalus townsendi*) in the Mexican South Pacific. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(4), 1107–1109.
- Watts, A. C., Perry, J. H., Smith, S. E., Burgess, M. A., Wilkinson, B. E., Szantoi, Z., Ifju, P. G., Percival, H. F. 2010. Small unmanned aircraft systems for low-altitude aerial surveys. *Journal of Wildlife Management*, 74(7), 1614–1619.
- Westlake, R. L., Perryman, W. L., Ono, K. A. 1997. Comparison of vertical aerial photographic and ground censuses of Steller sea lions at Año Nuevo Island, July 1990-1993. *Marine Mammal Science*, 13(2), 207–218.
- Wickham, H. 2009. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New York: Springer-Verlag.

Wood, S. N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society*, 73(1), 3–36.