



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE
BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

OCEANOLOGÍA

TESIS
PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS
NECESARIOS PARA OBTENER EL GRADO DE

OCEANÓLOGO

**“Uso de drones para el estudio de poblaciones de pinnípedos
en la Isla Todos Santos en Ensenada, B.C., México.”**

Presenta

Morelos Padilla José Pablo
353989

Directores: Dra. Yolanda Schramm Urrutia y Dr. Rodrigo Beas Luna

Ensenada, Baja California

Marzo del 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



“USO DE DRONES PARA EL ESTUDIO DE POBLACIONES DE PINNÍPEDOS EN LA
ISLA TODOS SANTOS EN ENSENADA, B.C., MÉXICO.”

TESIS
PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
OCEANÓLOGO

PRESENTA:

JOSÉ PABLO MORELOS PADILLA
353989


A quien el Comité de Tesis autoriza el trabajo terminal, después de haber efectuado una revisión minuciosa del mismo y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P, las y los señores profesores emiten los siguientes votos aprobatorios mediante rubrica:



Dra. Yolanda Schramm Urrutia
DIRECTOR



Dr. Rodrigo Beas Luna
CODIRECTOR



Dra. Alicia Abadía Cardoso
SINODAL

“Por la Realización Plena del Ser”

Dedicatorias

Este trabajo se los dedico a:

Mis padres que desde pequeño me enseñaron a amar a la naturaleza.

A mi pareja que siempre me impulsa y me inspira a mejorar.

A mis amigos que son la familia que uno elige.

A todas las personas que estuvieron dispuestas a transmitirme su conocimiento para lograr esto.

“Todos provenimos del mar, pero no todos somos del mar. Aquellos que sí lo somos, los hijos de los mares, tenemos que volver a él una y otra vez”

Agradecimientos

Tendría que realizar otra tesis entera par poder expresar la gratitud que le tengo a todas las personas que aparecen en este apartado, Sin más preámbulo les agradezco a:

- Mi Padre que me enseñó el valor de la vida y la naturaleza.
- Mi Madre que me enseñó a amar y cuidar al mundo que me rodea.
- Mi hermano que me enseñó a escuchar la música de la vida.
- A la Dra. Karina Lugo que me enseña todos los días con su ejemplo lo que significa ser una maestra de vida.
- A Vladimir Montoya que me enseñó que las luces y sombras se pueden amar de tal manera que juegan en la eternidad de cada uno de nosotros.
- A Eunice Cabrera que fue la primera persona que me conoció tal y como era y me dijo “Está bien yo aquí estoy contigo”,
- A Saúl Urías que con él aprendí a que las amistades pueden ser el ejemplo más grande de confianza.
- A José Troncoso, que me enseñó que con el tiempo y paciencia se forjan vínculos inolvidables.
- A Octavio Vázquez, que abrió las puertas de su hogar para mi que apenas estaba construyendo el mío.
- A Rubí Galván que es la definición de lealtad.
- A Alejandra Reyes por mostrarme un nuevo mundo donde puedo jugar como antes.
- A mi comité de tesis que me brindaron la oportunidad de desarrollar este tema y me han terminado de formar

ÍNDICE

LISTADO DE TABLAS	6
LISTADO DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
JUSTIFICACIÓN	12
HIPÓTESIS	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS PARTICULARES.....	13
MATERIALES Y MÉTODOS	14
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	14
ENUMERACIÓN DE VARIABLES	16
CAPTURA Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	17
ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES.....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
IDENTIFICACIÓN POR ESPECIE Y CONTEOS DEMOGRÁFICOS	20
LONGITUD	23
CATEGORÍA DE EDAD.....	26
ETAPA DE MUDA.....	29
CATEGORÍA DE SEXO	32
RECOMENDACIONES PARA FUTUROS ESTUDIOS REALIZADOS CON DRONES	34
CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS	37

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Promedios y desviaciones estándar de la longitud de foca de puerto, registradas por fecha del ortomosaico.	24
Tabla 2. Promedios y desviaciones estándar de la longitud de elefante marino, registradas por fecha del ortomosaico.	24

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Isla Todos Santos con respecto a la Bahía de Todos Santos en el municipio de Ensenada.	14
Figura 2. Imagen satelital de la Isla Todos Santos.....	15
Figura 3. Imagen extraída del ortomosaico donde se destaca la presencia de un elefante marino en contraste con las focas.	20
Figura 4. Número total de organismos (foca de puerto y elefante marino) contados en distintas fechas.	21
Figura 5. Número total de organismos contados por especie en distintas fechas. Donde el azul representa a la foca de puerto (<i>Phoca vitulina richardii</i>) y el naranja al elefante marino del norte (<i>Mirounga angustirostris</i>).	22
Figura 6. Ejemplo de la medición de la longitud en un elefante marino, en los ortomosaicos.....	23
Figura 7. Imágenes de las distintas categorías de edad de los organismos estudiados. Elefante marino adulto (a), elefante marino destetado (b), foca de puerto adultas (c) y crías de foca de puerto (d).	26
Figura 8. Comparación entre el número de crías (destetados para los elefantes) (azul) y de adultos (naranja) por fecha (a: foca de puerto y b: elefante marino).....	28
Figura 9. Imágenes de las distintas etapas de muda de cada especie. a) Elefantes marinos con diferente cantidad de pelo viejo (color café) y pelo nuevo (gris) b) y c) Foca de puerto, en premuda (pelo viejo, color café sin motas), muda (partes del cuerpo con pelo).....	29
Figura 10. Variabilidad en el número de individuos registrados en las diversas etapas de muda de la foca de puerto durante la temporada de muda 2019.	30
Figura 11. Variabilidad en el número de individuos que se encontraron en muda durante el año de 2019.	31
Figura 12. Diferencia entre sexos de elefantes marinos. El macho siendo café y con probólide, mientras que las hembras no presentan probólide.	32

RESUMEN

Palabras Clave: Drones, Pinnípedos, Isla de Todos Santos y Viabilidad

Los vehículos aéreos no tripulados o **drones** forman parte de los avances tecnológicos más recientes que se utilizan para el estudio de distintas especies de animales. Dentro de los animales que han sido estudiados se encuentran los **pinnípedos**. En esta tesis, presentamos el estudio que se llevó a cabo en la **Isla de Todos Santos** en Ensenada Baja California, México. Utilizamos los drones para capturar imágenes de dos especies de pinnípedos: la foca de puerto (*Phoca vitulina richardii*) y el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*) que utilizan las costas de la isla. De tal forma que se buscó la **viabilidad** de las imágenes para obtener información sobre las especies. Las imágenes fueron procesadas con el programa Agisoft Metashape Pro y se crearon ortomosaicos (unión de fotos aéreas, sobrelapadas unas con otras que fueron corregidas de las distorsiones generadas por el relieve). Con los ortomosaicos generados se extrajo información de ambas especies, específicamente de las siguientes variables: identificación de especies, conteos demográficos, longitud de los organismos, etapa de muda, categoría de edad y categoría de sexo. Se registraron 365 (233 focas de puerto y 135 elefantes marinos) de los cuales se encontró que las variables donde el uso de drones y de los ortomosaicos son más precisos son: identificación de especies, conteos demográficos, etapa de muda y categoría de edad. Mientras que las variables de la longitud de los organismos y la categoría de sexo no son tan precisas. Así mismo, realizamos sugerencias para futuros estudios que busquen utilizar drones con estos animales en la isla. Donde se destaca que hay puntos a considerar para el uso del dron y la captura de imágenes, como lo son: el comportamiento de los organismos, la perturbación que sufren por parte de las aves durante la época de muda al utilizar el dron, la cantidad de puntos de referencia en tierra que se deben utilizar para obtener mediciones más precisas y la altura ideal para que el dron no perturbe a los organismos. Así mismo enfatizamos que los drones son una herramienta valiosa que pueden complementar a los estudios de las poblaciones de pinnípedos.

INTRODUCCIÓN

El creciente avance tecnológico en los vehículos aéreos no tripulados (AUV; por sus siglas en inglés) o drones ha permitido realizar nuevos descubrimientos u optimizaciones en procedimientos que anteriormente eran complejos y laboriosos. Algunas de las ventajas de los drones es su naturaleza móvil, la distancia que llegan a cubrir y la reducción en gastos o en el esfuerzo humano. De manera complementaria, los drones se pueden equipar con “*Payloads*”, que son elementos que cuentan con lentes, o instrumentos que transmiten y almacenan material audiovisual (Raoult *et al.*, 2020).

Con la captura de imágenes que realizan los drones se pueden generar ortomosaicos. Estos son un conjunto de imágenes las cuales se traslapan entre sí, donde se combinan para generar una sola. Esta nueva imagen es corregida de las distorsiones que generan tanto el relieve del terreno como los objetos que ubican dentro de este (Escalante Torrado & Porras Díaz, 2016).

Con las herramientas anteriores, los drones han sido utilizados recientemente para el estudio de múltiples especies de animales. Entre ellas, especies móviles o de difícil acceso como los organismos marinos; especialmente los mamíferos marinos. Con los drones, se han realizado estudios como el de Wood y colaboradores (2021), donde implementaron conteos de colonias de pinnípedos. Estos autores, partieron de imágenes obtenidas por drones sin la necesidad de marcar a los individuos estudiados.

De igual manera, Fudala y Bialik (2020), a partir de las imágenes obtenidas por drones, analizaron la dinámica reproductiva de elefantes marinos. Ello fue posible porque pudieron distinguir entre machos, hembras y crías. Además, lograron localizar los sitios de los harenes, gracias a las reconstrucciones del sitio de estudio a partir de ortomosaicos. Todo lo anterior sin la perturbación de la colonia.

La utilización de drones no solo se limita a conteos, también se han logrado obtener parámetros morfométricos, como los realizados por Allan y colaboradores (2019). Ellos utilizaron un software especializado para obtener medidas de longitud y volumen de los organismos. Estas medidas fueron contrastadas con aquellas realizadas al capturar y manipular algunos de los lobos finos de la zona de estudio. Allan *et al.* (2019) encontraron

que las medidas obtenidas por ambos métodos coincidían o tenían un margen de diferencia mínimo.

Los drones han mostrado ser una herramienta útil para el estudio de los pinnípedos. Se han utilizado para el monitoreo de las condiciones morfométricas de los organismos con métodos no-invasivos, para acceder a ubicaciones remotas de difícil acceso, para estudiarlos en épocas reproductivas y de muda, categorizarlos por sexo, realizar conteos demográficos, entre otros (Moreland *et al.*, 2015; Pomeroy *et al.*, 2015; Arona *et al.*, 2018; Hodgson *et al.*, 2020; Laborie *et al.*, 2021, Krause *et al.*, 2021 y Palomino-González *et al.*, 2021). Además, se han realizado estudios de etología enfocados en la perturbación de los organismos al utilizar drones. Por ejemplo, ¿cómo el uso de drones altera la respuesta de depredadores en contraste con los trabajos realizados en campo? Así, estos equipos no se encuentran exentos de una serie de limitaciones técnicas que se tienen que considerar para su uso efectivo (Raoult *et al.*, 2020). Por lo tanto, el uso de drones es extenso y ha sido aprovechado para apoyar otras técnicas de muestreo, pero existe una serie de consideraciones que hay que tener presente.

Raoult y colaboradores (2020) realizaron un compendio sobre los puntos a considerar cuando se utilizan drones en el estudio de animales marinos. En términos generales es importante considerar lo siguiente:

- La distancia al suelo para realizar el muestreo (“Ground Sampling Distance” = GSD) es un punto vital para el análisis y el registro audiovisual. La altitud del dron afecta la calidad de las imágenes, pero esta misma altitud puede afectar a los organismos, por la perturbación causada por el ruido o por la presencia del aparato al ser detectado. Esto aplica en múltiples animales, por ejemplo, los pinnípedos.
- “*Ground control points*” (GCPs) o puntos de referencia en el suelo. Estos GCPs son necesarios cuando se intenta corroborar medidas dentro de la imagen.
- El tipo de rotores que utilizan los drones, ya que estos son fuentes de ruido, estímulos que pueden perturbar a los organismos estudiados.
- Los tiempos de vuelo, dependiendo del modelo, varían entre 40 a 90 minutos.

- Los materiales de los que están hechos los componentes del equipo, por ejemplo, la batería de polímeros de litio que funcionan a temperaturas máxima de entre 30°-40° C, así como la corrosión que puede llegar a generar la brisa marina.
- La programación del dron, de tal forma que su movilidad sea práctica y precisa, sobre todo al momento en el que pueda ocurrir un percance. El vehículo puede volver a la zona base, sin embargo, si no tiene programado que se detenga con obstáculos, puede causar una colisión.
- La velocidad y dirección del viento, lo que puede alterar el vuelo del dron.
- Las imágenes pueden verse alteradas por las condiciones climáticas del lugar, la turbidez del mar, la incidencia de la luz solar, viento, el ángulo en el que se toma, entre otros.
- Para el estudio de las aves marinas, se debe tener especial cuidado con el ruido y la altitud, de preferencia se debe estar a 50 m del suelo. Esto es importante al estudiar pinnípedos pues la perturbación de las aves puede provocar la estampida de los mamíferos.
- Sin embargo, en el estudio de los pinnípedos, sin presencia de aves, la altitud del dron puede ser de 30 m, aunque dependerá de la especie. El disturbio principal para este grupo de animales es el ruido y la sombra del vehículo.

JUSTIFICACIÓN

El uso de drones en el estudio de los pinnípedos tiene el potencial de generar datos relevantes de la población sin la manipulación de los organismos. Este estudio se enfoca en dos especies de pinnípedos, la foca de puerto del Pacífico (*Phoca vitulina richardii*) y el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*). Es importante considerar las características limitantes en cada caso. La foca de puerto es fácilmente perturbable en tierra, lo que ocasiona que se arroje al agua a la menor provocación. Mientras que el elefante marino, por su gran tamaño y longitud, complica su manipulación.

Actualmente contamos con fotografías de una de las playas de la Isla Todos Santos que es utilizada como zona de descanso, reproducción y muda de las dos especies de interés. Estas fotografías fueron tomadas *a priori* para analizarlas y determinar si cumplen con los requisitos necesarios para el estudio de las poblaciones de pinnípedos y, en su caso, cuáles serían los estudios que se pueden realizar. Lo anterior permitirá el uso de estas fotografías para un estudio preliminar o, si es necesario, corregir los parámetros para posteriores fotografías.

HIPÓTESIS

Las imágenes registradas por el dron en sus recorridos sobre la Isla Todos Santos son útiles para el estudio de la foca de puerto del Pacífico (*Phoca vitulina richardii*) y el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*) al considerar las variables de: conteos demográficos, identificación de especie, longitud del organismo, categoría de edad, categoría de sexo y etapa de muda.

OBJETIVO GENERAL

- Estudiar la viabilidad del uso de los drones para estudiar las características poblacionales de dos especies de pinnípedos en la Isla Todos Santos, Baja California.

Objetivos particulares

1. Generar, procesar y analizar las imágenes tomadas con el dron.
2. Realizar la identificación de las especies que se observan en las imágenes.
3. Contar a los organismos.
4. Estimar la longitud de los organismos.
5. Determinar si las fotos registradas son viables para la identificación de la etapa de muda.
6. Determinar si las fotos registradas son viables para la identificación y diferenciación del sexo de cada especie.
7. Determinar si las fotos registradas son viables para la identificación y diferenciación de la categoría de edad de cada especie (cría/ juvenil/ adulto).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La Isla Todos Santos (ITS) se encuentra ubicada frente al municipio de Ensenada, Baja California. Sus coordenadas comprenden desde los 31° 47' 16.10" N de latitud, en su extremo sur a 31° 48' 51.10" N en su extremo norte y 116° 48' 15.52" O a 116° 47' 30.45" O de longitud (Figura 1). El perímetro de la isla norte mide 3,322 m mientras que la isla sur cuenta con un perímetro de 8,734 m. Por último, su extensión territorial también se divide por las islas norte y sur. La isla norte tiene una extensión de 30.71 ha y la sur de 87.21 ha (Herrera *et al.*, 2007) (Figuras 1 a 2).

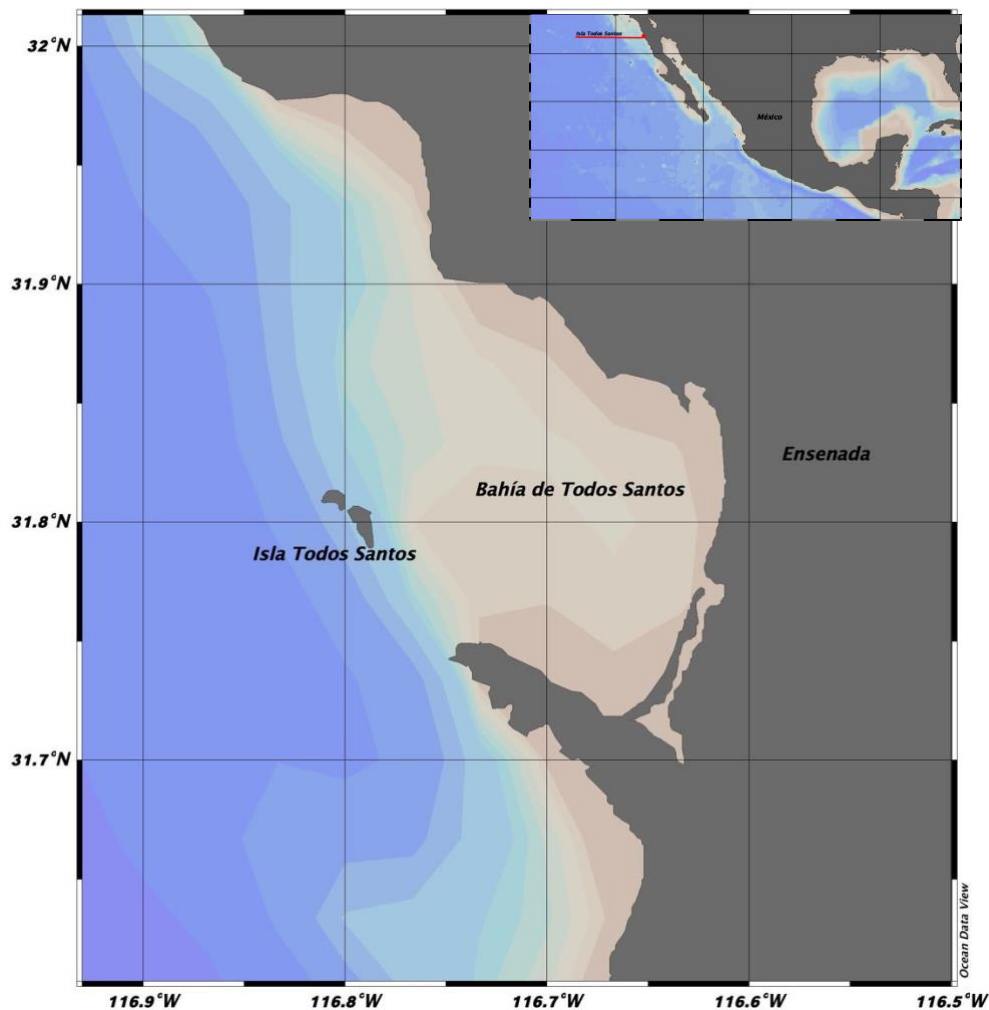


Figura 1. Ubicación de la Isla Todos Santos con respecto a la Bahía de Todos Santos en el municipio de Ensenada.



Figura 2. Imagen satelital de la Isla Todos Santos.

Enumeración de variables

Las variables que se pueden destacar y obtener en el presente trabajo de investigación son:

1. Identificación de especie
2. Conteos demográficos
3. Longitud del organismo
4. Etapa de muda
5. Categoría de edad (cría, juvenil o adulto)
6. Categoría de sexo (hembra, macho)

Captura y procesamiento de imágenes

Para tomar las imágenes utilizamos un dron DJI Phantom 4 pro v2. Programamos el vuelo del dron con MAP Plot Pro-app (desarrollado por MAPS) a 20 metros de altura, con un solapamiento de 80% entre imágenes (a lo largo y cruzado) y una definición de 1.1 cm por píxel. Esta ruta de 1.3 hectáreas y 283 puntos de referencia, incluye la captura de 142 imágenes. Para generar los ortomosaicos, las imágenes almacenadas en las carpetas digitales fueron limpiadas, organizadas y digitalizadas utilizando el algoritmo del programa Agisoft Metashape Pro. En dicho programa se subieron las fotos que se encuentran georreferenciadas, de tal forma que fueron orientadas con el programa. Posteriormente se realizó una nube de millones de puntos que se utilizan para pegar una imagen con las imágenes alrededor y se generó el modelo digital de elevación a partir del cual se crearon los ortomosaicos. Desarrollamos este proceso para cada una de las visitas a ITS.

Análisis de las imágenes

El análisis de las imágenes consta de utilizar los ortomosaicos para extraer la información de las características poblacionales de los pinnípedos. En los ortomosaicos se busca analizar que cada variable cumpla con las siguientes características con base a la literatura (Folkens & Reeves, 2002; Tapia-Harris *et al.*, 2017 y Schramm & Heckel, 2021)

- Identificación de especie
 - La identificación de las especies se realizó tomando en cuenta las características morfológicas de cada organismo. En el caso de la foca de puerto, se buscó que en la imagen se percibiera su patrón moteado de pelaje característico. Por otro lado, los elefantes marinos se destacaron por su gran tamaño, pelaje liso sin motas y, en el caso de los machos, la presencia de una probóscide. Con base a lo anterior, se buscó que las imágenes contaran con una manera de realizar la identificación de al menos una de las características.

- Conteos demográficos (Abundancia)
 - Con el ortomosaico, la característica principal que se buscó fue que los organismos se pudieran diferenciar del fondo para realizar el conteo. Así mismo, los conteos se realizaron por especie, por lo anterior, en la imagen se diferenció entre organismos.

- Estimación de la longitud
 - El programa donde fue procesado el ortomosaico cuenta con una herramienta para realizar mediciones. Para hacerlo, se requiere de un punto de referencia del que se tenga su medida establecida fuera de la foto, este se mide en el programa para obtener una referencia y un factor de corrección. El factor se calculó al tomar las medidas del punto de referencia con el programa. Se tomaron 10 medidas de dicho punto, las cuales se promediaron. Con el promedio se realizó la diferencia entre la medida real del punto de referencia (1 m) y el promedio obtenido con el programa (1.078 m) de tal forma que cada medida tuvo una corrección de 0.078 m. Una vez obtenido el factor de corrección se procedió a evaluar que las imágenes contaran con la suficiente resolución para diferenciar a los organismos y que estos se encontraran en una posición adecuada para la medición.

- Etapa de muda
 - La característica que se buscó en la imagen para identificar si los animales se encontraban mudando es que la resolución de esta fuera adecuada para identificar el color, aspecto y patrones del pelaje. En el caso de la foca de puerto, se puede categorizar la etapa de muda en tres partes (Premuda: Se caracteriza por la coloración café o beige del pelo, opaco y la desaparición de las motas, Muda: en distintas partes del cuerpo del organismo se observa pelo nuevo lustroso Postmuda: todo el cuerpo está cubierto por pelo nuevo y se pueden observar de nuevo las motas) donde cada una posee una coloración en particular o diferente cantidad de pelo nuevo presente. Por otro lado, los elefantes marinos presentan una etapa de muda

donde su pelaje cae por pedazos. Es importante destacar que este aspecto dependió de las fechas en las que se tomaron las imágenes. De tal forma que de los 12 ortomosaicos analizados, 7 fueron tomados en fechas de la temporada de muda, específicamente en el año 2019 en los meses de abril, mayo y junio.

- Categoría de Sexo

- En la imagen se buscó que tuvieran detalles que indicaran el sexo al que pertenecían los animales. En el caso de los elefantes marinos, presentan un dimorfismo sexual marcado, donde los machos son los que poseen las longitudes mayores, así como la presencia de una probóscide. Por otro lado, en el caso de las focas de puerto, dichas diferencias no se presentan, por lo que optó por observar el vientre, para comprobar la presencia o ausencia de la abertura del pene, o la presencia de crías y su posición con respecto al organismo adulto. Es decir, que las crías se encontraran junto a su madre.

- Categoría de Edad

- Se buscó que las imágenes contaran con la resolución suficiente para distinguir la longitud de los organismos, sus posiciones con respecto a la línea de costa o el aspecto de su pelaje, porque los destetados se agrupan en la parte alta de las playas y pueden tener pelo nuevo. Por otro lado, sus posiciones respecto a otros organismos, puede dar información de si se trata de una cría o un destetado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extrajimos información de 12 ortomosaicos de las playas de la Isla Todos Santos para estudiar la viabilidad del uso de drones para estudiar las características poblaciones de los elefantes marinos. Las imágenes contaron con las características deseadas y corresponden a los años del 2018 al 2020. Los resultados están ordenados y divididos conforme a enumeración de variables, donde se destaca la información extraída con las herramientas digitales anteriormente descritas.

Identificación por especie y conteos demográficos

Todas las imágenes contaron con la resolución suficiente para identificar las características morfológicas de las diferentes especies de tal forma que se lograron categorizar más de 300 organismos por especie (233 focas de puerto y 135 elefantes marinos del norte). A continuación, presentamos una imagen como ejemplo de lo que se observó en los ortomosaicos (Figura 3).

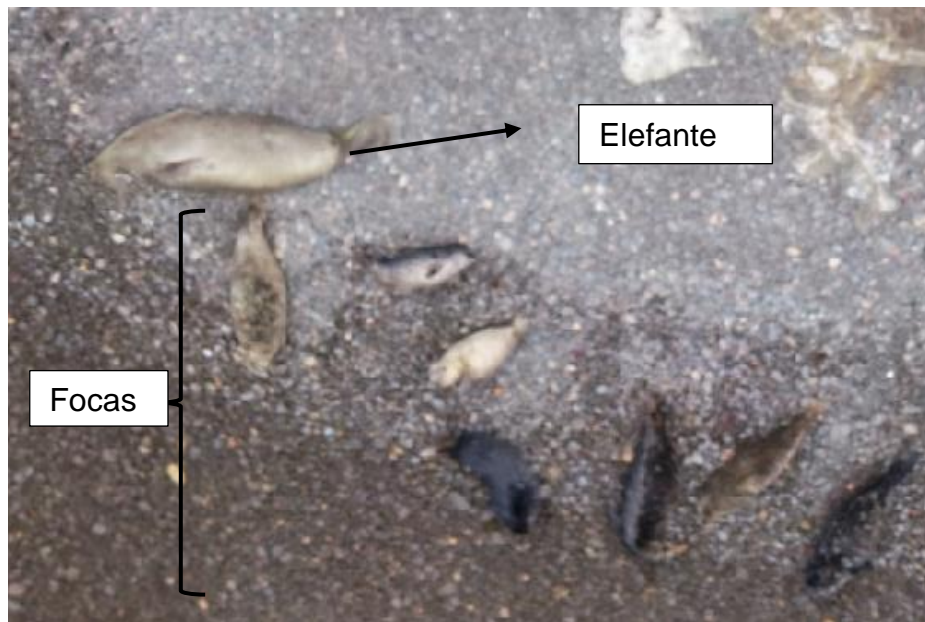


Figura 3. Imagen extraída del ortomosaico donde se destaca la presencia de un elefante marino en contraste con las focas.

Encontramos pinnípedos en todas las imágenes estudiadas desde octubre del 2018 hasta marzo del 2020 (Figura 4). Encontramos un total de 368 organismos siendo junio del 2019 la imagen con la mayor cantidad de pinnípedos con 94 organismos en la playa de Isla

Todos Santos. La menor cantidad la encontramos en enero del 2018. Con estos resultados, pudimos corroborar que estas imágenes si pueden ser utilizadas para estimar abundancias de especies de pinnípedos.



Figura 4. Número total de organismos (foca de puerto y elefante marino) contados en distintas fechas.

En la Figura 4 se destaca que la fecha donde se registró la mayor cantidad de organismos fue el 2 de junio de 2019, mientras que la menor cantidad de organismos se dio en diciembre de 2018. A partir del 4 de abril de 2019, existe una tendencia al incremento del avistamiento de organismos en tierra. Esto coincide con la temporada de muda de las focas de puerto que, en la Isla Todos Santos, abarca de mediados de abril a mediados de julio (Tapia-Harris *et al.*, 2017; Lubinsky-Jinich *et al.*, 2019), con máximos entre el 6 y 8 de junio (Lubinsky-Jinich *et al.*, 2019) (Figura 5).

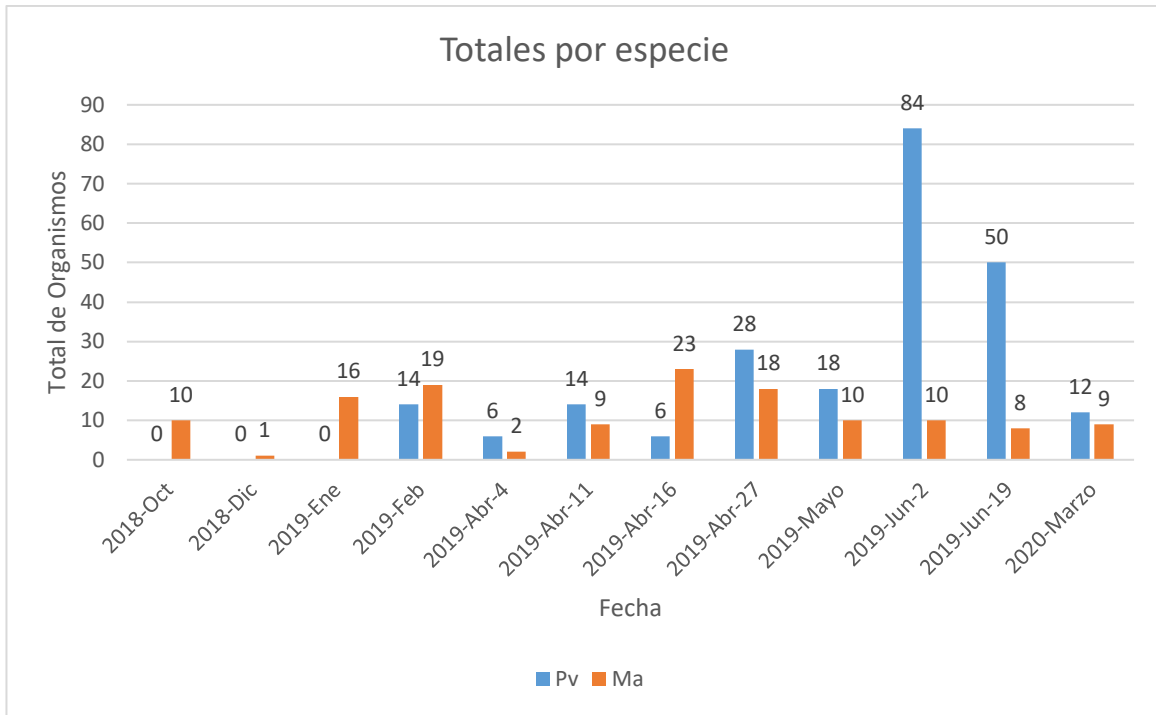


Figura 5. Número total de organismos contados por especie en distintas fechas. Donde el azul representa a la foca de puerto (*Phoca vitulina richardii*) y el naranja al elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*).

Con la llegada de la temporada de muda a partir del mes de abril, se aprecia un incremento importante en la población de la foca de puerto, siendo esta la que posee la mayor cantidad de organismos registrada en todas las fechas (84). Lo anterior ocurre ya que en la temporada de muda los organismos requieren mantener una temperatura alta en la piel, para lograr el reemplazo del pelo, debido a esto, requieren mantenerse periodos prolongados en tierra (Tapia-Harris et al., 2017). Por otro lado, la presencia del elefante marino es menor en comparación con la foca de puerto. A pesar de lo anterior, resulta oportuno tomar en cuenta que, a pesar de que los elefantes marinos no posean la mayor cantidad de organismos registrada, estos siempre tienen presencia en la isla, en cambio las focas no. Esto se aprecia en las fechas de octubre y diciembre de 2018 y enero de 2019, donde no se registraron focas, mientras que los elefantes se registraron en todas las imágenes analizadas. Después de la muda y antes de la reproducción de la foca de puerto, es común que pasen más tiempo en el agua alimentándose, que en tierra descansando (Tapia-Harris et al., 2017; Lubinsky-Jinich et al., 2019); es por eso que tal vez no se registraron en las fotos durante octubre, diciembre o enero.

Longitud

En todas las imágenes fue posible realizar las estimaciones de la longitud de los organismos (Figura 6 y Tabla 1), aunque en algunos casos la posición del organismo no permitió la toma de las medidas.



Figura 6. Ejemplo de la medición de la longitud en un elefante marino, en los ortomosaicos.

Tabla 1. Promedios y desviaciones estándar de la longitud de foca de puerto, registradas por fecha del ortomosaico.

<i>Fecha</i>	<i>Promedio de longitud de adultos de foca de puerto (m)</i>	<i>Desviación estándar de longitud de adultos de foca de puerto (m)</i>	<i>Promedio de longitud de crías de foca de puerto (m)</i>	<i>Desviación estándar de longitud de crías de foca de puerto (m)</i>
2018-Oct	No hay	No hay	No hay	No hay
2018-Dic	No hay	No hay	No hay	No hay
2019-Ene	No hay	No hay	No hay	No hay
2019-Feb	1.08	0.15	0.61	0.10
2019-Abr-4	1.21	0.13	0.58	0.21
2019-Abr-11	1.23	0.07	0.54	0.06
2019-Abr-16	0.94	0.22	sin crías	sin crías
2019-Abr-27	1.07	0.13	sin crías	sin crías
2019-Mayo	1.06	0.17	sin crías	sin crías
2019-Jun-2	1.20	0.18	no aplica	no aplica
2019-Jun-19	1.11	0.20	no aplica	no aplica
2020-Marzo	1.11	0.31	0.55	0.08

Los resultados muestran que existió poca variabilidad entre las longitudes registradas de los organismos (Tabla 1).

Tabla 2. Promedios y desviaciones estándar de la longitud de elefante marino, registradas por fecha del ortomosaico.

<i>Fecha</i>	<i>Promedio de longitud de adultos de elefante marino (m)</i>	<i>Desviación estándar de longitud de adultos de elefante marino (m)</i>	<i>Promedio de longitud de destetados de elefante marino (m)</i>	<i>Desviación estándar de longitud de destetados de elefante marino (m)</i>
2018-Oct	No aplica	No aplica	No hay	No hay
2018-Dic	No aplica	No aplica	No hay	No hay
2019-Ene	2.24	0.32	No hay	No hay
2019-Feb	2.35	0.49	No hay	No hay
2019-Abr-4	No hay	No hay	0.74	0.07
2019-Abr-11	2.28	0.14	1.35	0.08
2019-Abr-16	1.89	0.40	1.11	0.22
2019-Abr-27	1.75	0.37	1.20	0.33
2019-Mayo	1.84	0.29	1.27	0.14
2019-Jun-2	2.41	0.30	No hay	No Hay
2019-Jun-19	2.37	2.37	No Hay	No Hay
2020-Marzo	No aplica	No aplica	0.79	0.18

En los resultados se aprecia que los promedios de las longitudes de las focas de puerto variaron relativamente poco a lo largo de las fechas (Tabla 1). De acuerdo con Schramm y Heckel (2021) las medidas al nacer de la foca de puerto del Pacífico varían de 0.6 a 1 m de longitud, mientras que los adultos llegan a crecer hasta 1.90 m (los machos) y 1.75 m (las hembras). Debido a lo anterior, los promedios medidos con la herramienta Agisoft Metashape pro y las imágenes resultan apegados a registros relativos a la especie.

Por otro lado, en lo que concierne a los elefantes marinos, existe una mayor variabilidad entre las fechas (Tabla 2). Además, se puede observar que los dos valores más bajos (2019-abril-4: 0.74 m y 2020-Marzo: 0.79 m) (Tabla 2) no corresponden con longitudes registradas en otras investigaciones. Por ejemplo, Salogni y colaboradores (2019) describieron que las longitudes de los elefantes marinos al nacer rondan los 1.22 m. Folkens & Reeves (2002) mencionan que los machos adultos llegan hasta los 4.1 m y las hembras hasta los 3 m. Existen otros factores que pudieron alterar la toma de mediciones, ya sea por la posición del organismo, las herramientas del programa o por mismo error humano. A pesar de estos, todas las demás medidas entran dentro de las longitudes esperadas en adultos y destetados.

Categoría de Edad

En las imágenes analizadas se optó por identificar primordialmente dos categorías de edad para las dos especies. En el caso de las focas (crías y adultos) y en el caso de los elefantes marinos (destetados y adultos) esto debido a que son los que poseían mayor facilidad de identificación y clasificación. Por ejemplo, en el caso de los destetados de los elefantes marinos, además de su diferencia de talla, poseen un color plata y una posición alejada con respecto a la línea de costa que los vuelven más fáciles de identificar (Figura 7).

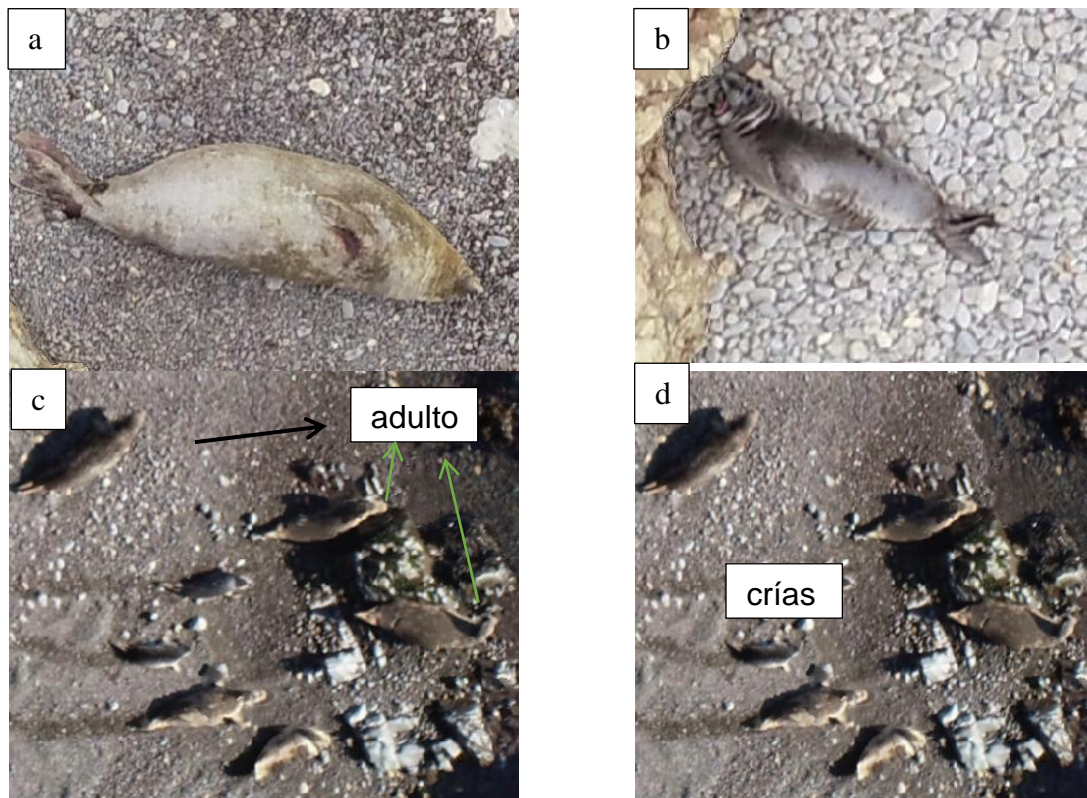
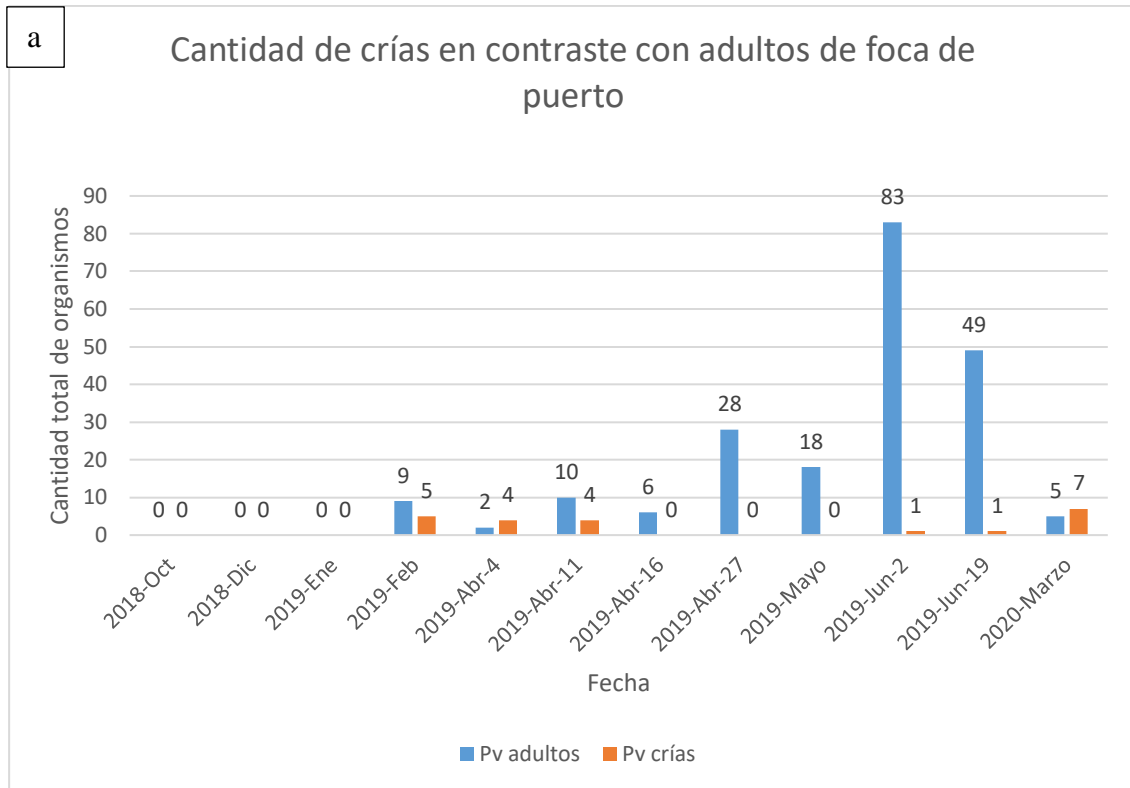


Figura 7. Imágenes de las distintas categorías de edad de los organismos estudiados. Elefante marino adulto (a), elefante marino destetado (b), foca de puerto adultas (c) y crías de foca de puerto (d).

Los resultados muestran un número mayor de adultos, para ambas especies, que de crías o destetados (en el caso de los elefantes marinos), que permanecieron con poca abundancia (Figura 8). De acuerdo con Schramm & Heckel (2021) para la foca de puerto en la Isla Todos Santos, la temporada de crianza abarca los últimos días de enero y hasta principios de abril. Además, la mayor cantidad de crías se registró en febrero, marzo y abril (Figura 8a); lo que coincide con la literatura. Por otro lado, en el caso de los elefantes

marinos, hubo una fecha donde solo se registraron destetados y no adultos (4 abril; Figura 8b). Esto se puede explicar porque los elefantes machos adultos migran para alimentarse después de la temporada de apareamientos y las hembras adultas hacen lo mismo después de destetar a las crías, esto se da en las primeras semanas de marzo donde el periodo reproductivo también acabó y las hembras vuelven al mar (García-Aguilar, 2021).



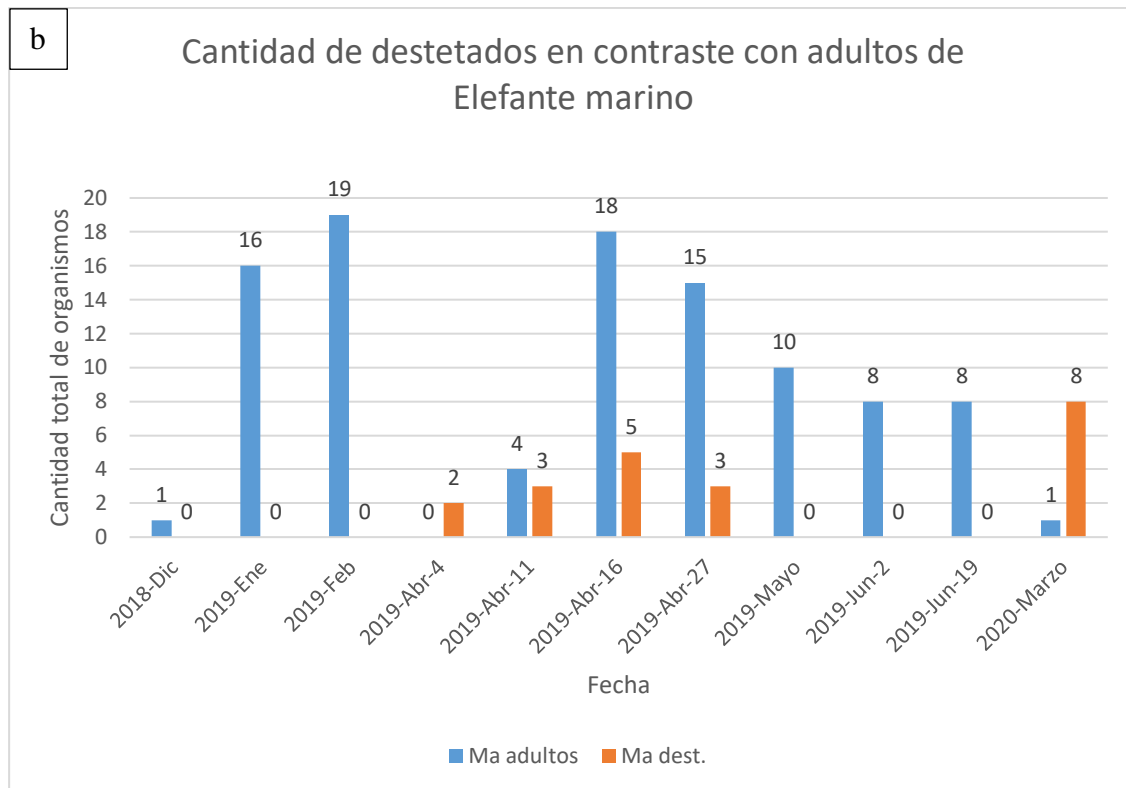


Figura 8. Comparación entre el número de crías (destetados para los elefantes) (azul) y de adultos (naranja) por fecha (a: foca de puerto y b: elefante marino).

Por último, en la figura 8b, es importante destacar que se eliminó la fecha del mes de octubre del 2018. Esto debido a que no se registraron adultos o destetados, pero sí hubo presencia de elefantes marinos juveniles. En este caso se categorizaron como juveniles ya que la presencia de estos organismos en tierra no coincidía ni con los ciclos de los adultos en tierra (durante otoño tanto machos como hembras están en el mar), ni con la temporada de reproducción donde empieza a haber destetados una vez esta termina. Con el ciclo donde sí coincide la presencia de estos animales es con el de los juveniles. Estos, en los meses de otoño, salen del mar y reposan en las playas (García-Aguilar ,2020).

Etapa de Muda

En los ortomosaicos fue posible distinguir la premuda, muda y postmuda en la foca de puerto. Lo mismo ocurrió con los elefantes marinos, pero solo se registró si se encontraban en muda o no (Figura 9).

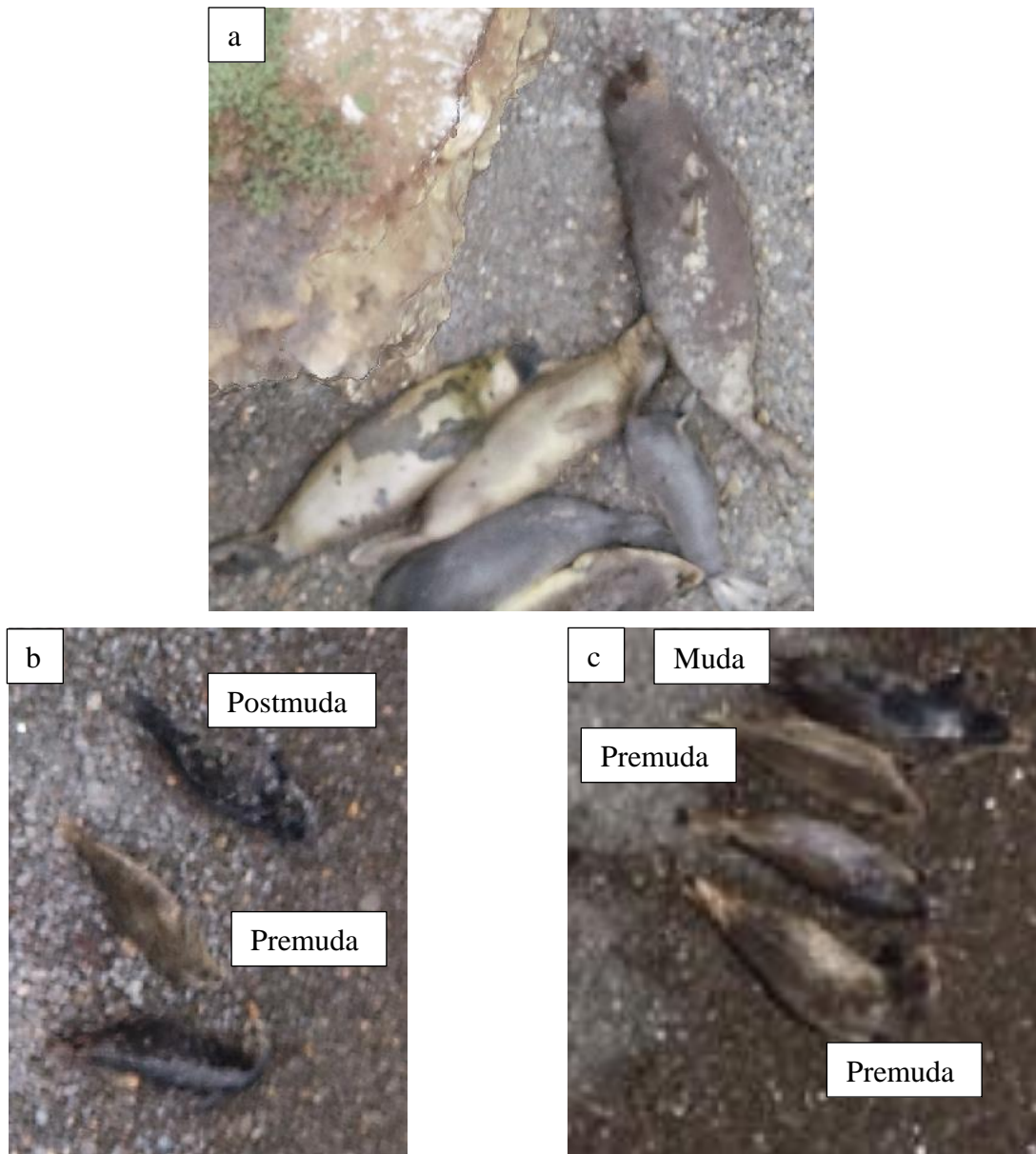


Figura 9. Imágenes de las distintas etapas de muda de cada especie. a) Elefantes marinos con diferente cantidad de pelo viejo (color café) y pelo nuevo (gris) b) y c) Foca de puerto, en premuda (pelo viejo, color café sin motas), muda (partes del cuerpo con pelo

De igual forma, se cuantificaron los organismos en sus distintas etapas de muda a lo largo de la temporada (Figura 10). La foca de puerto tuvo su número máximo de

individuos en premuda al inicio de la temporada (mediados de abril, Tapia-Harris et al., 2017). El número máximo de individuos en muda se observó a finales de la temporada (mediados de junio, Tapia-Harris et al., 2017), y el mismo patrón se registró para la etapa de postmuda. La mayor cantidad de organismos registrados se encontró en etapa de muda (Figura 10).

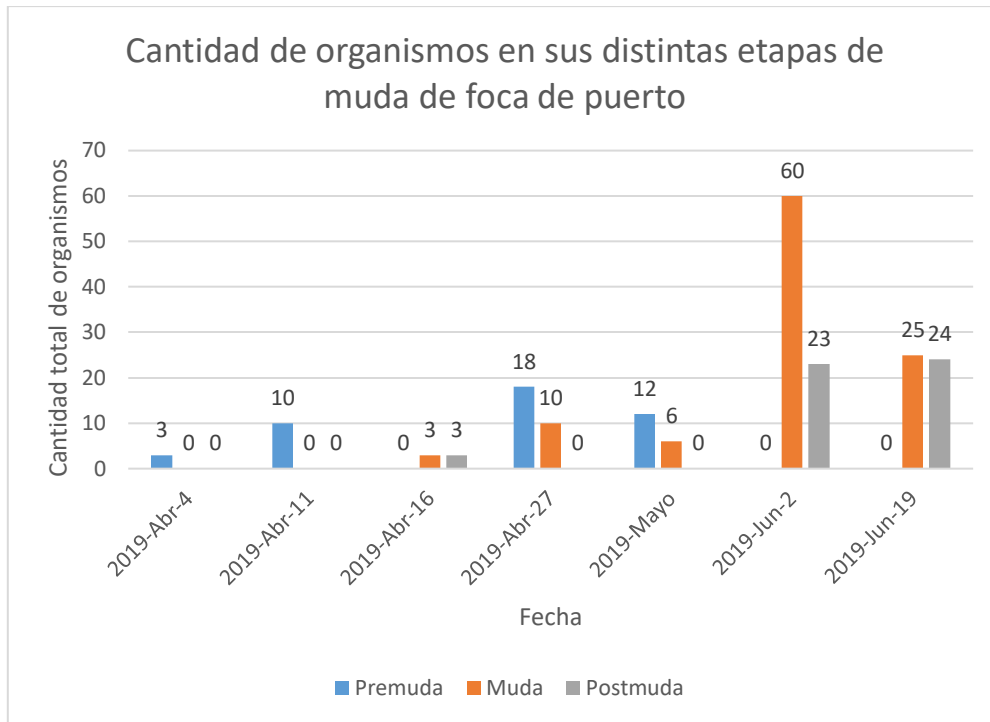


Figura 10. Variabilidad en el número de individuos registrados en las diversas etapas de muda de la foca de puerto durante la temporada de muda 2019.

Por otro lado, la etapa de muda de los elefantes marinos depende de su categoría de edad. De acuerdo, a García-Aguilar (2021) las hembras adultas y los juveniles tienen su etapa de muda durante el inicio de la primavera, mientras que los machos y subadultos la tienen durante el verano. Debido a este desfase en tiempos, la figura generada solo se centró en registrar si había elefantes en muda, para determinar que las fotos si son viables para notar esta variable.

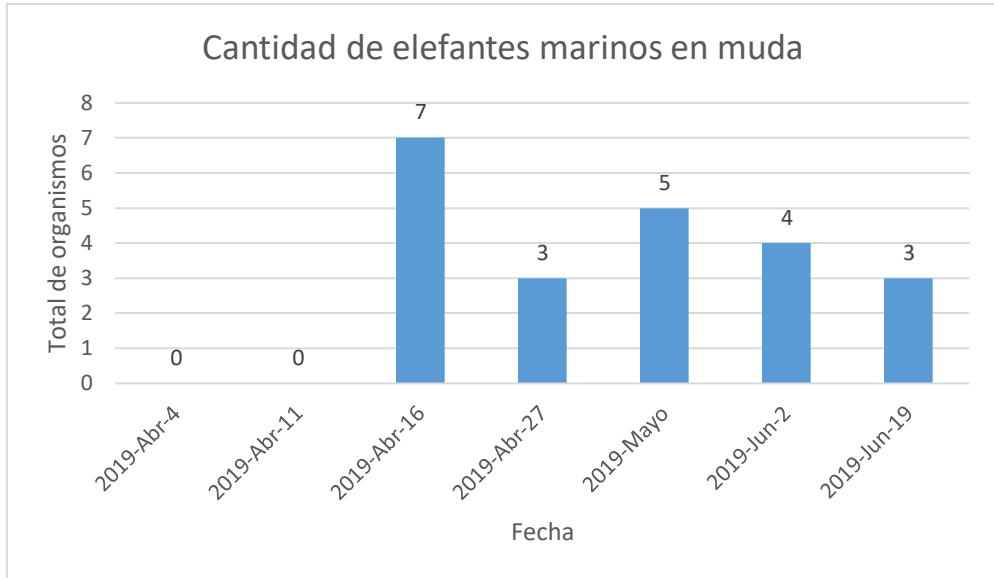


Figura 11. Variabilidad en el número de individuos que se encontraron en muda durante el año de 2019.

Categoría de sexo

Finalmente, las imágenes provistas no fueron adecuadas en lo que concierne a la identificación de sexo de las focas de puerto debido a que no se percibe alguna diferencia entre machos y hembra. La mayor parte de estos organismos se encontraban echados, sin mostrar su vientre e incluso si llegaban a mostrarlo no se puede apreciar las diferencias genitales. Así mismo, se podría intentar inferir el sexo del organismo si hay una cría cerca, sin embargo, no hubo forma segura de comprobarlo.

En el caso de los elefantes marinos, resultó ligeramente más sencillo identificarlos, sobre todo, si se observaban las trompas de los machos o en algunos casos por la talla de estos como se observa en la Figura 12.



Figura 12. Diferencia entre sexos de elefantes marinos. El macho siendo café y con probólide, mientras que las hembras no presentan probólide.

Debido a lo anterior, se destaca que esta variable es la menos viable, ya que depende de diversos factores como son: la posición del organismo, las características de cada

uno, que la imagen no esté distorsionada, entre otros. Todo esto puede alterar la categorización debido a la ausencia de evidencia visible para realizarla.

Recomendaciones para futuros estudios realizados con drones

Tras el análisis sobre el uso de los drones para el estudio de pinnípedos, se apreció que al menos 4 de las 6 variables fueron viables con las imágenes tomadas por los drones. La categoría de sexo y longitud son las que tienen áreas de oportunidad al momento de la captura de imágenes. En el caso de la longitud, para futuros estudios y que los márgenes de error en las mediciones sean lo más bajos posibles Raoult y colaboradores (2020) destacaron que en el caso específico de las colonias de pinnípedos se instalaran 10 puntos de referencia en tierra que rodeen y dentro de la colonia misma. Instalados de tal forma que los pinnípedos no los puedan mover cuando se desplazan.

Cabe destacar que, al utilizar el dron para la toma de fotografías, no se consideró el estrés que este podía causar en las especies estudiadas. Por ejemplo, las focas de puerto son nerviosas por naturaleza y al percatarse de la presencia del dron, volvían al agua. Lo anterior pudo generar que se contaran menos organismos de los que eran.

En el trabajo de Raoult y colaboradores (2020) se sugieren ciertos parámetros para utilizar los drones al estudiar pinnípedos. Entre ellos se determina que la altura mínima para su estudio debe ser de 40 m. En este caso se voló el dron a 20 m, de tal forma que pudo haber ahuyentado a las especies más sensibles. Los pinnípedos no son los únicos animales que se percatan de la presencia del dron. En la ITS hay un momento donde se empalman la temporada de muda de las focas con la temporada de anidación de algunas especies de aves. Las aves en dicha temporada se ven espantadas por la presencia del dron, ya que comparten el mismo espacio aéreo, a su vez las focas también se espantan y huyen al agua cuando las aves reaccionan al dron. Lo anterior afecta a la anidación de las aves y a la muda de las focas. Por lo mismo, Raoult y colaboradores (2020) sugieren tres puntos: 1) el sitio de despegue del dron debe ubicarse lejos de los sitios de anidación, 2) realizar ensayos de la distancia prudente con los organismos, es decir, volar el dron a distintas alturas y determinar cuál es la que perturba menos a los organismos, y 3) monitorear el espacio aéreo para evitar cualquier interacción que resulte peligrosa para los organismos y el dron.

Así mismo, tras el análisis, se recomienda tomar en cuenta el comportamiento de los animales y sobre todo en qué temporadas se desea realizar el estudio con los drones. De tal manera que se desarrolle un protocolo específico para los meses de la temporada

de muda, la temporada de crianza y la temporada de reproducción ya que, en cada uno de estos lapsos de tiempo, los organismos tienden a comportarse de diferentes maneras. Finalmente, la utilización de drones puede ser una herramienta complementaria a los estudios de campo. Esto queda claro en la investigación de Flores (2018) donde se realizó un estudio de la abundancia poblacional de lobo fino en la Isla Guadalupe. En este proyecto se utilizaron fotografías de drones para realizar el conteo y al mismo tiempo hubo personas en embarcación contando a los organismos. De tal forma que el conteo con el dron se registraron más animales que el conteo por los científicos en embarcación, este último arrojó un 11.4% menos que el conteo por dron.

CONCLUSIONES

Tras haber utilizado los drones para el estudio de pinnípedos en la ITS se concluye lo siguiente:

- El uso de drones es viable para todas las variables, sin embargo, posee mayor precisión en algunas como: identificación por especie, conteos demográficos, identificación de la etapa de muda y categoría de edad
- El uso de drones para las variables de longitud y categoría de sexo son menos precisas debido a las características morfológicas de los organismos o la posición de estos.
- Se registraron la mayor cantidad de organismos en tierra durante la temporada de muda. Lo que expone una limitante de este método la cual es que los organismos tienen que estar en tierra.
- Al realizar estudios con drones se debe considerar: la altura del vuelo del dron, el comportamiento de los animales con base en la temporada en la que se encuentran y la interacción entre especies que puedan alterar a los organismos estudiados (aves y pinnípedos).
- Encontramos que la *Phoca vitulina richardii* es la especies más abundante en la Isla Todos Santos.
- Registramos que la longitud de *Mirounga angustirostris* en los destetados es menor a lo registrado en literatura, pero esto puede deberse a distintos factores que pueden alterar el resultado de la medida, como la posición del organismo.
- El uso de drones en el estudio de organismos es un recurso valioso que puede servir como complemento para estudiar las poblaciones de pinnípedos.

REFERENCIAS

- Allan, B. M., Lerodiamonou, D., Hoskins, A. J., & Arnould, J. P. (2019). A rapid UAV method for assessing body condition in fur seals. *Drones*, 3(1), 24.
- Arona, L., Dale, J., Heaslip, S. G., Hammill, M. O., & Johnston, D. W. (2018). Assessing the disturbance potential of small unoccupied aircraft systems (UAS) on gray seals (*Halichoerus grypus*) at breeding colonies in Nova Scotia, Canada. *PeerJ*, 6, e4467.
- Escalante Torrado, J. O., & Porras Díaz, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Tecnura*, 20(50), 119-140.
- Flores Hernández, E.O. 2018. Abundancia poblacional y uso de hábitat del lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus philippii townsendi*) en Isla Guadalupe, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 48 pp. Recuperado de: <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2422>
- Folkens, P. A., & Reeves, R. R. (2002). *Guide to marine mammals of the world* (No. Sirsi) i9780375411410). National Audubon Society.
- Fudala, K. & Bialik, R. J. (2020). Breeding colony dynamics of southern elephant seals at Patelnia Point, King George Island, Antarctica. *Remote Sensing*, 12(18), 2964.
- García-Aguilar, M. (2021). Northern Elephant Seal (*Mirounga angustirostris*, Gill 1886). Pags. 191-208. En: Ecology and Conservation of Pinnipeds in Latin America. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63177-2_11
- Heckel, G. & Schramm, Y. (Eds.). (2021). *Ecology and Conservation of Pinnipeds in Latin America*. Springer International Publishing.
- Herrera, A. S., Peralta García, A., & Aguirre Muñoz A. (2007). *Vertebrados de las islas del pacífico de Baja California: Guía de campo*. Grupo de Ecología y Conservación de Islas.

- Hodgson, J. C., Holman, D., Terauds, A., Koh, L. P., & Goldsworthy, S. D. (2020). Rapid condition monitoring of an endangered marine vertebrate using precise, non-invasive morphometrics. *Biological Conservation*, 242, 108402.
- Krause, D. J., Hinke, J. T., Goebel, M. E., & Perryman, W. L. (2021). Drones minimize Antarctic predator responses relative to ground survey methods: An appeal for context in policy advice. *Frontiers in Marine Science*, 8, 152.
- Laborie, J., Christiansen, F., Beedholm, K., Madsen, P. T., & Heerah, K. (2021). Behavioural impact assessment of unmanned aerial vehicles on Weddell seals (*Leptonychotes weddellii*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 536, 151509.
- Lubinsky-Jinich D, Pardo MA, Heckel G et al (2019) Temporal variations in the terrestrial counts of Pacific harbor seals in the southern California current system. *Mar Mamm Sci* 35(3):1173–1182. <https://doi.org/10.1111/mms.12579>
- Moreland, E. E., Cameron, M. F., Angliss, R. P., & Boveng, P. L. (2015). Evaluation of a ship-based unoccupied aircraft system (UAS) for surveys of spotted and ribbon seals in the Bering Sea pack ice. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(3), 114-122.
- Palomino-González, A., Kovacs, K. M., Lydersen, C., Ims, R. A., & Lowther, A. D. (2021). Drones and marine mammals in Svalbard, Norway. *Marine Mammal Science*, 37(4), 1212-1229.
- Pomeroy, P., O'connor, L., & Davies, P. (2015). Assessing use of and reaction to unmanned aerial systems in gray and harbor seals during breeding and molt in the UK. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(3), 102-113.
- Raoult, V., Colefax, A. P., Allan, B. M., Cagnazzi, D., Castelblanco-Martínez, N., Ierodiaconou, D., ... & Butcher, P. A. (2020). Operational protocols for the use of drones in marine animal research. *Drones*, 4(4), 64.

- Salogni, E., Galimberti, F., Sanvito, S., & Miller, E. H. (2019). Male and female pups of the highly sexually dimorphic northern elephant seal (*Mirounga angustirostris*) differ slightly in body size. *Canadian Journal of Zoology*, 97(3), 241-250.
- Schramm, Y. & Heckel, D. (2021). The Pacific harbor seal (*Phoca vitulina richardii*, Gray 1864). Pags. 209-231. En: Ecology and Conservation of Pinnipeds in Latin America. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63177-2_11
- Tapia-Harris C, Heckel G, Schramm Y et al (2017) Molting phenology of the Pacific harbor seal (*Phoca vitulina richardii*) on two islands off the Baja California Peninsula, Mexico. *Mar Mamm Sci* 33(3):817–829. <https://doi.org/10.1111/mms.12400>
- The Marine Mammal Center. (2022). Northern Elephant Seal. Recuperado el 6 de junio de 2022 de: <https://www.marinemammalcenter.org/animal-care/learn-about-marine-mammals/pinnipeds/northern-elephant-seal>
- Wood, S. A., Robinson, P. W., Costa, D. P., & Beltran, R. S. (2021). Accuracy and precision of citizen scientist animal counts from drone imagery. *PloS one*, 16(2), e0244040.