

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**El uso de drones para el monitoreo y conteo de lobos marinos en  
las Islas Galápagos**

**Andrielle Larissa Reascos Tatés**

**Biología**

Trabajo de integración curricular presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Licenciada en Biología, concentración en Ecología Marina

Quito, 12 de mayo de 2020

# Universidad San Francisco de Quito USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

## HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

El uso de drones para el monitoreo y conteo de lobos marinos en las Islas  
Galápagos

**Andrielle Larissa Reascos Tatés**

**Calificación:**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Gonzalo Rivas-Torres, Ph.D.**

**Firma del profesor:**

---

Quito, 12 de mayo de 2020

## DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

---

Nombres y apellidos:

Andrielle Larissa Reascos Tatés

Código:

00137019

Cédula de identidad:

1726885732

Lugar y fecha:

Quito, 12 de mayo de 2020

## ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## UNPUBLISHED DOCUMENT

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

Las Islas Galápagos son reconocidas mundialmente por registrar especies únicas de fauna, resaltando las marino-costeras, debido a su importancia ecológica en los ecosistemas. Por ejemplo, dos especies de mamíferos marinos de la familia Otariidae, *Zalophus wolfebaeki* (lobo marino común) y *Arctocephalus galapagoensis* (lobo fino), son focales dentro del programa de conservación y monitoreo del Parque Nacional Galápagos. Estas especies, suelen habitar en acantilados rocosos (*Arctocephalus*) o playas arenosas (*Zalophus*), siempre cerca de las costas. Aunque se realiza su monitoreo periódico, existe falta de información poblacional de estas especies, porque la logística de muestreo es costosa y no permite cubrir todos sus territorios. Afortunadamente, nuevas tecnologías, p.ej. drones, se han desarrollado para facilitar el monitoreo de esta fauna, mediante el uso de imágenes HD generadas por estas aeronaves que permitan su conteo *ex - situ*. Por ello, el objetivo general de este estudio fue evaluar si los drones son útiles para el monitoreo de lobos marinos en Galápagos. Se compararon inicialmente los conteos en tierra (~5 km lineales) y pantalla (vuelos ~1 Km) de ambas especies de lobos marinos en 10 lugares alrededor del archipiélago. Usando softwares comerciales para ensamblar imágenes de drones, se determinó preliminarmente que, por un lado, los conteos realizados en pantalla subestiman estadísticamente a la distribución teórica (metodología en tierra) para ambas especies; y por otro, que los conteos en pantalla fueron significativamente diferentes entre sitios de muestreo (playas vs. rocas). Sin embargo, al estandarizar la distancia analizada en ambas metodologías (a 1 Km), se pudo determinar que no existen diferencias significativas entre ellas, y que, según el caso, el conteo a partir de fotografías de drones puede en promedio ser 20% más efectivo que la metodología tradicional (permitiendo calcular factores de corrección aquí presentados). En conclusión, el uso de drones para el monitoreo de lobos marinos es promisorio pero los conteos resultantes pueden variar significativamente entre especies. Debido a las características elusivas y crípticas propias de ciertos taxones (ej. *Arctocephalus*), se recomienda ajustar las metodologías presentes utilizando sensores más sensibles que permitan realizar monitoreos eficientes de estas especies amenazadas y otras similares registradas en esta área protegida.

**Palabras clave:** *Arctocephalus galapagoensis*, dron, Galápagos, lobo marino, monitoreo ecológico, nuevas tecnologías. *Zalophus wolfebaeki*.

## ABSTRACT

The Galapagos Islands are recognized worldwide for recording unique species of fauna, among which marine-coastal species stand out, due to their ecological importance in ecosystems. For instance, two marine mammals species within the Otariidae family, *Zalophus wolfebaeki* (Galápagos sea lion) and *Arctocephalus galapagoensis* (Galápagos fur seal), are focal for the conservation and monitoring programs directed by the Galapagos National Park. These species usually inhabit rocky cliffs (*Arctocephalus*) or sandy beaches (*Zalophus*), always close to the coasts. Despite their regular monitoring, there is limited population-related data regarding these species, mainly because sampling logistics are expensive and does not allow to cover all their territories. Fortunately, new technologies i.e. drone, can be used to facilitate the monitoring of this fauna, by providing HD images that allow their *ex-situ* counts. Therefore, the overall objective of this study was to assess whether drones are useful for monitoring sea lions in the Galapagos. Thus, land (5 km linear) and on-screen counts (1 km flights) of both species of sea lions were initially compared among 10 locations around the archipelago. Using commercial software to assemble drone images, it was preliminary determined that on-screen counts statistically underestimated the theoretical distribution (established by the land methodology) for both species, and that the differences between methodologies depended on the sampling site (beaches vs rocks). However, by standardizing the distance analyzed in both methodologies (to 1 km), no significant differences were detected between them. It was also found by this study that depending on the case, the photo counts from drones can be on average 20% more effective than the traditional methodology (an analysis that allowed to calculate correction factors also presented here). In conclusion, the use of drones for sea lions monitoring is promising but, the resulting counts can significantly vary between species. Due to the elusive and cryptic characteristics of certain taxa (e.g. *Arctocephalus*), it is recommended to adjust existing methodologies to include for example, sensitive sensors that allow a more efficient monitoring of these threatened species and similar ones recorded in this protected area.

**Key words:** *Arctocephalus galapagoensis*, drone, ecological monitoring, Galápagos, new technologies, sea lion, *Zalophus wolfebaeki*.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	11
Importancia de la biodiversidad en las Islas Galápagos .....	11
Otariidae en Galápagos .....	12
Nuevas tecnologías: Los drones para el monitoreo de fauna <i>ex-situ</i> .....	13
DESARROLLO DEL TEMA .....	16
Métodos.....	16
Sitio de estudio.....	16
Especies en estudio. ....	17
El lobo marino de Galápagos.....	17
El lobo fino o lobo peletero. ....	18
Conteos en tierra. ....	19
Fotografías tomadas con drones.....	20
Ensamblaje de mosaico.....	20
Conteo en pantalla.....	20
Análisis de la efectividad de los drones.....	21
Valor de Corrección.....	23
Análisis del entrenamiento visual.....	24
Resultados .....	25
Efectividad de los drones.....	25
Valor de Corrección.....	26
Entrenamiento visual.....	27
CONCLUSIONES .....	28

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
ANEXO A: TABLAS .....	39
ANEXO B: FIGURAS.....	40

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Detalles de los sitios, conteos y especies en cada metodología de conteo. ....	39
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa georreferenciado de los 10 sitios de muestreo en las Islas Galápagos. ....	17
<b>Figura 2.</b> Diagrama de caja de conteos en tierra vs. conteo en pantalla .....	40
<b>Figura 3.</b> Diagrama de caja que compara conteo en tierra y conteo en pantalla por Km .....	41
<b>Figura 4.</b> Regresión lineal para determinar valores de corrección .....	41
<b>Figura 5.</b> Comparación del tiempo en las rondas R1 y R3. ....	42
<b>Figura 6.</b> Comparación de los conteos realizados en las rondas R1 y R3. ....	42

## INTRODUCCIÓN

### Importancia de la biodiversidad en las Islas Galápagos

Las Islas Galápagos son reconocidas mundialmente por su biodiversidad única y su alto número de especies endémicas, que actualmente se calculan son el 32% de las 7145 especies de flora y fauna reportadas en este archipiélago (DataZone FCD, 2014; Alava & Ross, 2018). Por esta razón principalmente, desde 1978, la UNESCO declaró a las Islas Galápagos como Patrimonio Natural de la Humanidad, así como una Reserva de la Biósfera (Dirección Parque Nacional Galápagos, 2018). Pero, a pesar de su riqueza incomparable, según el informe de la UICN de la Lista Roja de Especies Amenazadas del 2006, el archipiélago también registra a varias especies amenazadas y en peligro crítico, entre las que destacan algunas marino-costeras (Jiménez-Uzcátegui et al., 2007). Por estos factores, estas islas se consideran de alta prioridad para la conservación de fauna marina en el Ecuador y el mundo (Mathis & Rose, 2016).

Por esta razón, para conocer el estado actual de estas poblaciones de importancia y para realizar comparaciones que permitan entender su dinámica poblacional, el Parque Nacional Galápagos (PNG) realiza censos y monitoreos (censos repetidos en el tiempo) periódicos en sitios estratégicos de esta área protegida (Jiménez-Uzcátegui *et al.*, 2007; DataZone FCD, 2014). Por ello, especies como el pingüino de Galápagos, el cormorán no volador, iguanas marinas, y lobos marinos, entre otros, son grupos taxonómicos que necesitan ser censados y monitoreados frecuentemente y con el mayor rango de precisión posible. Estos inventarios de fauna, además de contribuir para la adquisición de información referente al tamaño de la población y su distribución actual (Davis & Winstead, 1980) sirven también para evaluar los distintos cambios que ocurren en sus ecosistemas en un espacio y tiempo

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

determinados (Herrera & Corrales, 2004), permitiendo generar herramientas efectivas para la conservación, el manejo de las especies y el monitoreo de la salud de los hábitats donde se registran (Chediack, 2009).

### **Otariidae en Galápagos**

Específicamente para Galápagos, existen dos especies de mamíferos marinos de la familia de los otáridos: *Zalophus wolfebaeki* (lobo marino común) y *Arctocephalus galapagoensis* (lobo marino de dos pelos, lobo fino de Galápagos o lobo peletero), los cuales son focales dentro del programa de conservación, monitoreo y manejo constante por parte del PNG. Ambas especies, consideradas un ejemplo de adaptación a sistemas insulares tropicales (Vallejo et al 2018), son parte esencial de la dinámica de los ecosistemas marino-costeros en las islas y pueden también ser considerados como bioindicadores de estos, debido al papel fundamental que cumplen como depredadores de fauna marina de menor tamaño (Fundación Charles Darwin (FCD) y WWF-Ecuador, 2018; Alava & Ross, 2018). Por ejemplo, para Páez-Rosas y otros (2018), es muy necesario realizar estudios sobre la tendencia poblacional de ambas especies, especialmente por la importancia que tiene validar su distribución actual y cuantificar los impactos que pueden tener eventos oceanográficos como El Niño Oscilación del Sur-ENOS o la enfermedad del parásito ocular (*Phylophthalmus zalophi*) en su tasa de supervivencia.

Dependiendo de la especie, estas suelen habitar en acantilados rocosos o playas arenosas, fuera del alcance de los depredadores, pero cerca de las costas. Esta característica ha posibilitado censar y monitorear sus poblaciones mediante conteos en tierra de los individuos que se encuentran termorregulando o descansando en las zonas donde habitan (Salazar, 2002). Esto ha permitido que también, desde 1997, sean monitoreadas 12 colonias

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

reproductivas de *Zalophus wollebaeki* ubicadas espacialmente en todo el archipiélago (Jiménez-Uzcátegui *et al.*, 2007). Mientras que para el lobo fino de Galápagos (*Arctocephalus galapagoensis*), sus 10 colonias reproductivas se ubican principalmente en la región oeste y norte del archipiélago y no existen muchos datos de su estructura poblacional (Clark, 1979; Trillmich, 1987; Páez-Rosas & Martínez-León, 2017; Páez-Rosas, 2018). A pesar del significativo esfuerzo de monitoreo actual, es aun relativamente escasa la información poblacional de estas especies que permita, por un lado, realizar un monitoreo más preciso de las mismas y por otro, realizar inferencias más generalizadas sobre sus dinámicas poblacionales. Estos vacíos de información pueden explicarse por los problemas logísticos para realizar los monitoreos, ya que estos implican el traslado de especialistas a las zonas remotas donde las colonias son grandes, cubrir áreas significativas a pie y depender de una gran cantidad de fondos que ayude a sobrellevar estos inconvenientes.

### **Nuevas tecnologías: Los drones para el monitoreo de fauna *ex-situ***

Uno de los avances tecnológicos más importantes en la última década relacionado con la conservación y estudio de fauna, ha sido la implementación de drones para el monitoreo ecológico de especies (Chamoso *et al.*, 2014). La simplicidad de vuelo de la mayoría de las plataformas utilizadas para estos fines permite que cualquiera sea capaz de maniobrarlos y sus precios sean considerablemente bajos en el mercado (Rivas, Chamoso, González-Briones & Corchado, 2018). Debido a su relación costo-beneficio, los drones han representado la forma más económica de realizar monitoreo de animales en otras zonas diferentes a Galápagos, incluyendo aves, cetáceos, tiburones, tortugas, entre otras especies (Hodgson, Peel & Kelly, 2017; Koski *et al.*, 2015). Al mismo tiempo, los drones permiten reducir el esfuerzo de muestreo y su flexibilidad operacional facilita el entrenamiento del personal que

se encarga de analizar las imágenes y realizar los conteos (Hodgson *et al.*, 2018; Schofield, Katselidis, Lilley, Reina & Hays, 2017). Los datos de alta resolución espacial y temporal adquiridos por estas aeronaves pueden ser de áreas inaccesibles por tierra o por bote y generan menor impacto (estrés fisiológico) en las especies censadas debido al manejo remoto de los mismos (Bonnin *et al.*, 2018; Inman, Kingsford, Chase & Leggett, 2019).

Aunque los beneficios de esta nueva tecnología se presentan como una innovación, existen muchas dudas sobre su posible alcance e integración para monitoreos ecológicos y manejo de vida silvestre es una escala temporal determinada. Así mismo, debido a la heterogeneidad presente en los hábitats de las islas Galápagos, la probabilidad de detección de fauna puede presentar complicaciones. Generalmente, los drones o también conocidos como vehículos aéreos no tripulados (UAV) son utilizados para capturar imágenes en espacios abiertos y no en hábitats cuya flora reduzca la visibilidad del dron (Mangewa, Ndakidemi & Munishi, 2019).

Una parte importante de este sistema de monitoreo con drones es la habilidad visual de identificar los objetos que se encuentran en el suelo. Sin embargo, la alta dimensionalidad de los datos representa un problema difícil de resolver y puede variar con cualquier cambio sutil en la representación numérica de las fotografías. La iluminación, condiciones de la cámara, inclusive la apariencia del objeto y sus sombras, complican e impiden la segregación efectiva del fondo y los objetivos de estudio (Chamoso, Raveane, Parra & González, 2014).

A pesar de estos posibles inconvenientes, en 2018, Hodgson *et al.* evaluó la precisión de monitoreo, otorgada por los drones, para el conteo de aves marinas en otras zonas distintas a Galápagos. Réplicas de aves falsas de tamaño real se colocaron en las 10 colonias utilizadas durante este estudio. El enfoque de la investigación fue comparar la metodología tradicional

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

basada en tierra y aquella otorgada por los drones. Se determinó que los drones son más efectivos que el método tradicional, entre un 43% y 96% dependiendo de la altura a la cual fueron volados los drones. De igual manera, Inman, Kingsford, Chase y Leggett (2019), realizaron una investigación en Botswana, la cual determinó que el uso de drones para el conteo de hipopótamos, a una altitud de 40 m, es 10,6% más efectiva que los conteos en tierra y también menos arriesgada debido a la naturaleza agresiva del animal.

Actualmente y a pesar de las ventajas y desventajas que los drones presentan, para Galápagos estas aeronaves han sido mayormente empleadas y evaluadas para mapear terrenos y clasificar diferentes tipos de bosques y vegetación (Laso *et al.*, 2019), pero no existen estudios que utilicen esta tecnología para detección, censos o monitoreo de especies marino-costeras focales, como los lobos marinos antes mencionados.

Es por ello por lo que el presente estudio buscó, de manera general, evaluar esta nueva tecnología que pueda ayudar a realizar el conteo y monitoreo de la fauna marino-costera de Galápagos. Específicamente, esta investigación buscó: primero, determinar si el uso de la tecnología con drones es útil para el conteo de *Zalophus wollebaeki* y *Arctocephalus galapagoensis*; segundo, calcular preliminarmente valores de corrección que permitan optimizar la comparación de datos entre la tecnología con drones y el conteo en tierra (especialmente para aquellas especies que son elusivas y que se registran en hábitats mixtos); tercero, evaluar si el entrenamiento para el conteo visual y ensamblaje de imágenes provee una mayor eficiencia para la detección de los individuos en las fotografías obtenidas del dron; y, finalmente, contribuir con el diseño de nuevas opciones de monitoreo ecológico con drones para otras especies marinas y costeras del Archipiélago de Galápagos.

## DESARROLLO DEL TEMA

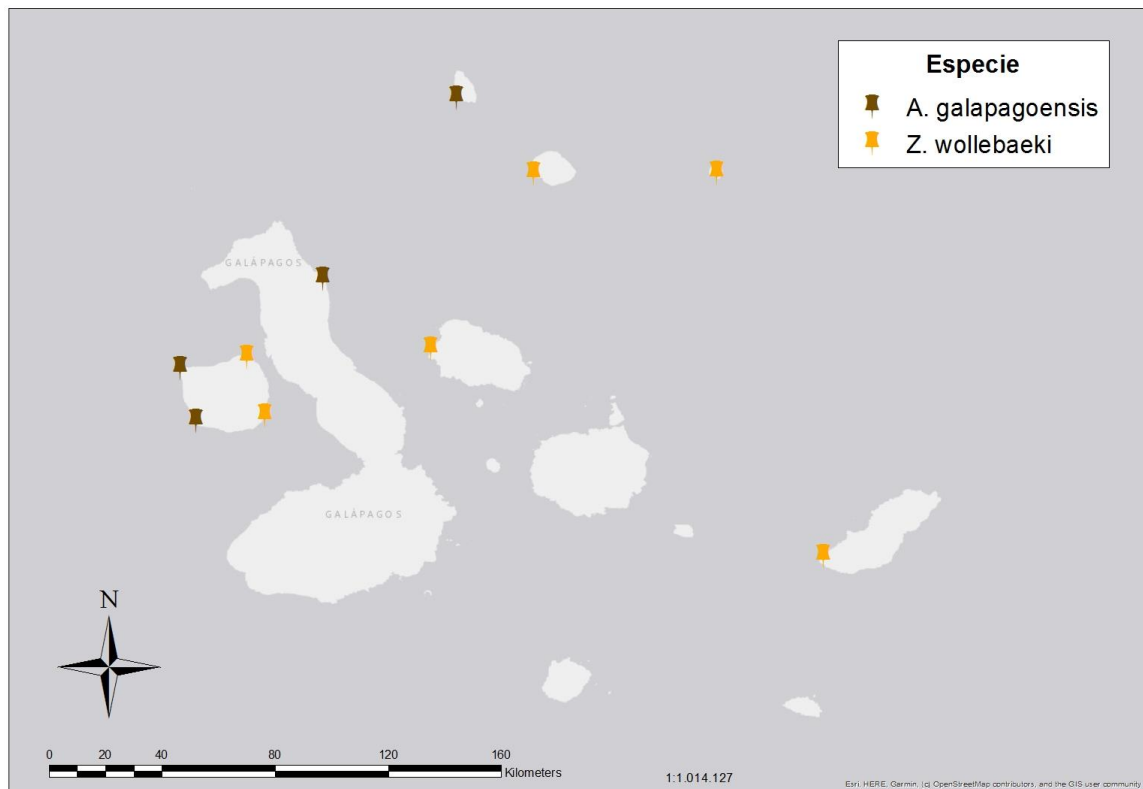
### Métodos

#### Sitio de estudio.

Ubicadas aproximadamente a 960 Km de las costas ecuatorianas, las Islas Galápagos están conformadas por 18 islas principales, varias islas pequeñas y cientos de islotes, ocupando un área total de 45.000 Km<sup>2</sup>. En esta extensión, aproximadamente el 97% está administrada y protegida por el PNG y únicamente el 3% está destinado al uso de las comunidades humanas locales (Carlton, 2019; Piu-Guime, 2003). Por otra parte, la Reserva Marina de Galápagos-RMG posee una superficie de 135.000 Km<sup>2</sup> que bordea a la zona protegida costera, convirtiéndola en la segunda reserva marina más grande del mundo, después de la Gran Barrera de Arrecifes en Australia (Piu-Guime, 2003).

La presente investigación se realizó en 10 sitios diferentes distribuidos en 7 islas de Galápagos. Durante el año 2016, se realizaron vuelos y conteos en tierra simultáneos en colonias de lobos marinos (ver información sobre las especies en la siguiente sección) en las siguientes localidades de: Cabo Douglas, Cabo Hammond, Punta Espinoza y Punta Mangle (isla Fernandina); Bahía de Darwin (isla Genovesa); Cabo Marshall (isla Isabela) ; Punta Calle (isla Marchena); Cabo Chalmers (isla Pinta); Puerto Egas (isla Santiago) y desde Punta Carola hasta la zona de la Armada Nacional (isla San Cristóbal).





**Figura 1.** Mapa georreferenciado que indica los 10 sitios de muestreo en las islas Galápagos, incluyendo las zonas donde se registran las dos especies utilizadas en este estudio.

### **Especies en estudio.**

#### ***El lobo marino de Galápagos.***

*Zalophus wollebaeki* es una especie de la familia de los otáridos, o mamíferos carnívoros. Se caracterizan por tener orejas externas visibles y por ser capaces de caminar sobre tierra, a diferencia de sus parientes más cercanos los fócidos (Berta & Churchill, 2011). El lobo marino de las Galápagos está estrechamente emparentado con el lobo californiano *Zalophus californianus* (Salazar, 2002) y previamente (Orr *et al.* 1970) era considerada como una subespecie de este, aunque según Schramm *et al.* (2001), estos dos taxones pueden ser definidos como diferentes debido a análisis genéticos realizados para entender sus relaciones.

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

*Z. wollebaeki* presenta dimorfismo sexual únicamente en su etapa adulta. Los machos adultos en promedio pueden llegar a medir 2 m y pesar 200 Kg. Por otro lado, las hembras llegan a medir 1,30 m y pesar alrededor de 80 Kg (Salazar, 2002; Gentry, 2006). Presentan un solo tipo de pelaje uniforme, y su color puede variar en distintos tonos de café hasta ciertos matices de grises. Cuando su pelo se humedece, adquieren una tonalidad similar a las rocas de lava que los rodean, lo cual los vuelve crípticos justo después de su regreso del mar a la costa rocosa. Habitan en este tipo de costas rocosas y/o arenosas de poca pendiente y que presenta vegetación cercana para usarla de refugio durante el día (Salazar, 2002).

***El lobo fino o lobo peletero.***

*Arctocephalus galapagoensis*, junto al lobo marino de Galápagos antes descrito, conforman las dos únicas especies de pinnípedos de la familia Otariidae presente en las islas Galápagos. Se considera a *Arctocephalus* endémico debido a que no presenta emigraciones continuas ni otras poblaciones fuera del archipiélago (Vallejo, 2018). Aparentemente esta especie se originó a partir de su pariente más cercano del sur, *Arctocephalus australis* y reside principalmente en las costas occidentales del archipiélago. El lobo peletero presenta dimorfismo sexual. Los machos adultos en promedio miden 1,5 m y pesan cerca de 64 kg. Por otro lado, las hembras alcanzan un máximo de 1,2 m y su peso varía entre 22 y 34 kg (Salazar, 2002; Camaratta *et al.*, 2008). Se caracterizan por ser pequeños, robustos y por presentar dos tipos de pelaje. Su pelo largo esta superpuesto por el pelo corto, lo cual les da una apariencia esponjosa. Son un claro ejemplo de enanismo insular debido a la ausencia de recursos que pueden presentar algunas islas (por eventos como el ENSO) y otros factores ambientales (Whittaker & Fernández-Palacios, 2007; Barres, 2016). Habitan principalmente en acantilados o líneas costeras con caídas abruptas, debido a que prefieren estar cerca de

aguas profundas (Jackson, 1997). Al igual que el lobo común, cuando su pelaje se humedece, adquieren un color oscuro, similar al sustrato donde habitan, lo cual los vuelve crípticos y muy elusivos para su monitoreo (Orr, 1973). Normalmente no se encuentran en playas arenosas, ya que prefieren utilizar huecos que se encuentran en las playas rocosas que habitan.

Las especies antes descritas no cohabitan los mismos lugares aquí estudiados, por ende, sus poblaciones estaban separadas al momento de los conteos. Esto evitó la posible confusión de individuos de ambas especies durante los conteos, sea por drones o por personas en tierra, en los 10 sitios de muestreo utilizados.

### **Conteos en tierra.**

Para cada uno de los 10 sitios de muestreo se cubrió a pie un área de aproximadamente 5 kilómetros (Km) a lo largo de la costa, que fue censada por dos personas, las cuales caminaron en direcciones opuestas (cada individuo abarcó 2.5 Km) buscando registrar los lobos de las dos especies antes mencionadas en las poblaciones que allí habitan. Se utilizaron conteos directos con la ayuda de binoculares (8x30 y 10x50), bitácoras de campo y cámaras fotográficas. Para cubrir todos los sitios sin excepción, en los lugares donde se dificultaba el desembarque y su posible caminata, se realizaron los conteos desde una embarcación (*Zodiac*) buscando identificar los individuos en tierra. En caso de que se sumaran ambos esfuerzos, se cubrirían áreas de aproximadamente 8-10 Km a lo largo de la costa, justamente donde se situaba cada colonia (Riofrío-Lazo, Arreguín-Sánchez & Páez-Rosas, 2017).

### **Fotografías tomadas con drones.**

Para cada sitio de muestreo se voló un dron (DJI Phantom 4), con cámara full HD, que tomaba fotos en un área aproximada de 1 km a lo largo de la zona costera, en la misma área que fue contada a pie de acuerdo con lo mencionado en la sección anterior. Cada vuelo tomaba un tiempo entre 25 a 35 minutos y se realizaba a una altura máxima de 40 metros, a excepción de San Cristóbal (vuelos realizados entre los 60 y 80 metros), donde debido al aeropuerto localizado en esta isla, el software del equipo utilizado no permitió realizar vuelos más bajos de 60 metros para no invadir espacio aéreo no autorizado. Para todos los 10 sitios las fotografías fueron tomadas manualmente y se buscó tener un solapamiento de al menos 70% entre cada imagen y en ambas direcciones (delante/atrás, izquierda/derecha).

### **Ensamblaje de mosaico.**

Después de que el dron tomará las imágenes, se utilizaron los softwares One Button (de 115 a 999 imágenes por mosaico) o Agisoft PhotoScan (de 115 a 534 imágenes por mosaico) para realizar el ensamblaje de los mosaicos. Cada sitio de muestreo obtuvo un mínimo 2 mosaicos para analizar, con un promedio de ensamble de ~2 horas y media por mosaico y con un máximo de 9 fallas (Crashed) en todos los ensamblajes realizados.

### **Conteo en pantalla.**

Después de obtener los mosaicos (mismos que son orto-rectificados y georreferenciados) de 1 km para cada sitio en análisis, se trabajó en la identificación de los individuos bajo el siguiente tratamiento. Todas las imágenes fueron transferidas a los programas ArcGIS Pro o ArcMap 10.5, donde fueron analizadas por cuatro observadores distintos. Los observadores utilizaron la herramienta Create Feature Class (de tipo *Point*) dentro de estos programas, buscaban georreferenciar y finalmente contar todos los individuos

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

de las dos especies de lobos marinos observados en los mosaicos. Ninguno de los observadores que realizaron los conteos en los mosaicos tuvo acceso a los resultados de los otros observadores ni a los conteos realizados en tierra. Además de generar los archivos con la localización y número de individuos por sitio y por especie, también se realizó un total de tres rondas de conteo por observador en cada sitio, generando un total de doce replicas (rondas de conteo) por lugar. Se registró el tiempo de las rondas de conteo por observador (por separado), además de incluir una columna para los individuos “seguros” y la cantidad de individuos “probables” en cada conteo por observador. Un individuo “probable” es aquel cuya identificación es confusa y no puede ser determinada. Generalmente, este problema se presenta por la posible baja calidad de la imagen o un error en los armados del mosaico (Prieto Molina *et al.*, 2014).

### **Análisis de la efectividad de los drones.**

Con el fin de determinar si el uso de la tecnología con drones es útil para el conteo de *Z. wollebaeki* y *A. galapagoensis*, y con los datos tabulados de acuerdo con los procesos detallados en las secciones anteriores, se promediaron los datos obtenidos por sitio de todos los observadores en pantalla y se los comparó con aquellos arrojados en el conteo en tierra. En primer lugar, en el software RStudio (versión 3.5.3) se utilizaron los paquetes estándar para señalar si los datos eran paramétricos o no, por ejemplo, se realizó un *var.test* (prueba F;  $p= 0.002019$ ) de manera preliminar y para decidir qué tipo de análisis se usaría a continuación. Igualmente, para definir si los datos de cada variable eran normales o no, se aplicó un *shapiro.test* (prueba de normalidad Shapiro-Wilk, Conteo en Tierra valor  $p =$

0.0426, Conteo en Pantalla valor  $p = 0.002023$ ,  $\alpha = 0.05$ ) de manera independiente a cada variable.

Finalmente, después de determinar que la distribución de los datos no era paramétrica, se aplicó un *chisq.test* (prueba de Chi-cuadrado de Pearson's) para establecer si existe una diferencia significativa entre las dos metodologías (conteos en pantalla y conteos en tierra) y sitios de muestreo. Este primer análisis se lo realizó usando las distancias totales cubiertas por tipo de muestreo (i.e. 5 km para conteos en tierra y 1 km para conteo en pantalla). Así mismo, para establecer si el uso de drones depende de la especie y completar el análisis del objetivo uno, se realizó una sumatoria de todos los individuos separados por especies (*Z. wollebaeki* y *A. galapagoensis*) independientemente del sitio de muestreo, tanto para los conteos en tierra como para los promedios de los conteos en pantalla. Con estos datos, se ejecutó otro *chisq.test* (*correct = TRUE*) paralelo, con la corrección continua de Yates' para una matriz 2x2.

Como segundo paso posterior al análisis de los datos sin estandarizar (utilizando 5 Km en conteos en tierra y 1 Km en conteos en pantalla), se buscó estandarizar las distancias diferentes entre ambas metodologías (con 1 Km de muestreo en pantalla y 1 Km de muestreo en tierra). Se dividieron los resultados obtenidos de los conteos en tierra para cinco y con esos nuevos valores se corrió un *var.test* (Prueba F;  $p = 0.2077$ ), con el fin de comparar las varianzas entre los conteos en tierra por Km y los conteos en pantalla. Posteriormente se aplicó un *shapiro.test* para ambas variables (Prueba Shapiro-Wilk, Conteo en Tierra x Km valor  $p = 0.0426$ , Conteo en Pantalla valor  $p = 0.002023$ ,  $\alpha = 0.05$ ) de manera independiente para determinar si los valores eran normales o no. Luego de aplicar estas pruebas estadísticas, se determinó que *wilcox.test* (*paired = TRUE*; prueba de Wilcoxon pareada) era el estadístico

correcto para comparar los conteos en tierra por Km y los conteos con drones y determinar si existen diferencias significativas o no entre ambas metodologías (conteos en tierra por Km y conteos en pantalla estandarizados a 1 Km).

Finalmente, para buscar evaluar la efectividad neta (porcentaje de efectividad de los conteos en pantalla basándose en a los conteos en tierra x Km) de los drones sobre los conteos en tierra por Km, se realizó una regla de tres, tomando los datos de los conteos en tierra por Km al 100%, para determinar un valor en porcentaje de los conteos en pantalla en referencia a este primer valor. Este valor en porcentaje fue restado de cien (-100) para determinar la efectividad neta del dron en comparación a los conteos en tierra. Se aplicó dicha fórmula para cada sitio de muestreo, se promediaron todos los sitios posteriormente y también se calculó una media aritmética de los lugares por especie (cuatro sitios para *Arctocephalus* y seis sitios para *Zalophus*) para presentar los resultados correspondientes a este objetivo.

### **Valor de Corrección.**

Para determinar el tamaño poblacional de cada especie usando los promedios de los 10 sitios de los conteos en pantalla, se buscó establecer de manera preliminar un valor de corrección que permita a futuro hacer más eficientes los conteos de estas dos especies de lobos usando la metodología rápida de drones en áreas similares a las aquí descritas. Este valor se suma algebraicamente a los resultados de cada conteo en pantalla y determina un valor aproximado a los conteos en tierra en 5 km. Para determinar el valor de corrección, que se enmarca en el objetivo dos de esta investigación, se realizó una regresión lineal simple por especie (usando el comando básico *lm-linear models* en el programa R con los datos de conteos de ambas metodologías sin estandarizar), usando los datos de los conteos en tierra y

conteos en pantalla separados por especie, para finalmente obtener una ecuación de la línea de tendencia de esta regresión que modele la población hipotética por grupo taxonómico. La variable dependiente ( $y$ ) de esta ecuación fue reemplazada por los conteos realizados a pie (los datos completos en 5 Km) de los sitios donde se registraron individuos de estas especies focales y la variable independiente ( $x$ ) fue determinada por los conteos en pantalla de estas. Se aplicó la misma metodología para ambas especies (*Zalophus* en seis sitios y *Arctocephalus* en 4 sitios) donde se contaron los individuos de estas.

### **Análisis del entrenamiento visual.**

Para determinar si el entrenamiento visual provee una mayor eficiencia en la detección de los individuos en las fotografías obtenidas del dron, se utilizaron los datos de los de las rondas uno (primer conteo de los observadores; R1) y tres (tercer conteo de los observadores; R3) de conteos en pantalla. Los datos obtenidos de estas rondas se dividieron en dos grupos: el conteo de los individuos y el tiempo para la ejecución de cada ronda. Cada promedio (tanto para tiempo y conteos) se calculó con cuatro datos, otorgados por cada observador, por ronda y lugar. Únicamente para San Cristóbal, se utilizaron tres datos para obtener los promedios de R1 y R3 en tiempo y conteos respectivamente debido a la falta de un observador para esta localidad.

Utilizando el software R, en el caso de los conteos y para definir el análisis estadístico correcto a realizar, se corrió un *var.test* (Prueba F;  $p = 0.9034$ ) para comparar las varianzas entre los conteos de las rondas (R1 y R3). Posteriormente se aplicó un *shapiro.test* (Prueba de normalidad Shapiro-Wilk, conteos de R1  $p = 0.002407$ ; conteos de R3  $p = 0.002095$ ) para ambas variables y finalmente se determinó que el estadístico correcto para analizar estos datos fue un *wilcox.test* (*paired = TRUE*). En el caso del análisis comparativo de tiempo



usado para el conteo por ronda, se efectuó un *chisq.test* con estos datos de cada observador (de las rondas R1 y R3), con el fin de definir si existen diferencias significativas en el tiempo entre las rondas analizadas (R1 y R3).

## Resultados

### Efectividad de los drones.

Utilizando las extensiones originales de tipos de muestreo (conteo en pantalla 1 Km de muestreo vs. conteo en tierra 5 Km de muestreo) y para responder al objetivo uno de esta investigación, se determinó que existen diferencias significativas entre los conteos en tierra y pantalla (Prueba Chi cuadrado,  $p = 2.2e-16$ ; *Figura 2*; sección *Análisis de la efectividad de los drones* en Métodos). En el caso de los análisis utilizando los datos de sitios, se pudo evidenciar que la efectividad de los drones es diferente entre sitio de muestreo (Prueba Chi cuadrado,  $x^2 = 187.14$ ,  $gl = 9$  con  $\alpha = 0.05$ ,  $x^2 \text{ tabulado} = 16.9190$ ).

En cuanto a la comparación a nivel de especies, que se realizó basándose en el análisis de la sumatoria de todos los individuos (independientemente del sitio de muestreo, para ambas metodologías), el conteo con drones subestimó la cantidad de animales por taxón analizado, es decir, la efectividad de los conteos usando imágenes de drones es diferente entre especies (Prueba Chi cuadrado; corrección de Yates = *TRUE*;  $p=2.2e-16$  ;  $x^2 = 123.84$ ;  $gl = 1$  con  $\alpha = 0.05$ ;  $x^2 \text{ tabulado} = 3.841$ ). El número de lobos marinos detectados por el dron (cuando ambas especies son utilizadas en el mismo análisis) fue en promedio 75.89% menor a lo estipulado por los conteos en tierra. Específicamente, para el caso de *Z. wolfebaeki*, el número promedio de individuos detectados por el dron fue 66.46% menor a lo determinado por los conteos en tierra, mientras que para *A. galapagoensis*, la cantidad promedio de

organismos observados por estas aeronaves fue 90.04% menor a lo registrado por la metodología tradicional.

Una vez realizada la estandarización de las distancias para los conteos en tierra (es decir usando promedio de 1 Km por sitio en lugar de 5 Km derivados de los conteos en tierra) se determinó, contrario a lo anteriormente reportado, que al parecer no existen diferencias significativas entre los conteos en pantalla y los conteos en tierra por kilómetro (Prueba Wilcoxon pareada;  $p= 0.6953$ ; *Figura 3*). A pesar de que el análisis estadístico no apoya este resultado, se buscó establecer la efectividad neta de los drones sobre los conteos en tierra por Km, usando porcentajes para realizar un análisis simple de costo-beneficio. En base a este análisis simple, se pudo encontrar que la efectividad de los drones es en promedio, 20.53% mayor a lo calculado por la metodología en tierra por Km de muestreo. Igualmente se reportaron diferencias en la efectividad de los conteos por especie. Para *Z. wollebaeki*, usar drones para contar a los individuos en las colonias fue 67.69% más efectivo que los conteos en tierra. Sin embargo, no se presenta la misma tendencia para *A. galapagoensis*, debido a que los conteos en pantalla resultaron ser 50.21% menos efectivos que los conteos en tierra por Km.

### **Valor de Corrección.**

Para responder al segundo objetivo de esta investigación, se calcularon los valores de corrección para cada especie aquí utilizada (sección *Valor de corrección* en Métodos), con el fin de entre otras cosas, determinar preliminarmente que con una muestra “n” (número al azar que puede ser remplazado por la variable  $x$ ) de individuos captados por el dron en un kilómetro de muestreo (posibles próximos muestreos), se pueda obtener un aproximado del total de individuos en cinco kilómetros (que normalmente es el largo de los muestreos en

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

tierra). Una vez realizada la regresión lineal por especie, se pudo calcular para *A. galapagoensis* la fórmula  $y = 4.0417x + 175.8654$ , donde  $x$  representa el valor de los conteos con drones (en 1 km), para determinar (al reemplazar este valor) un total estimado y de individuos a lo largo de 5 Km ( $\pm$  un error estándar-EE de 40.0650). En el caso de *Z. wollebaeki*, la fórmula calculada fue de  $y = 2.1297x + 23.8746$ , ( $\pm$  EE de 11.0723; ver *Figura 4* para más detalles).

### **Entrenamiento visual.**

Para responder a el objetivo tres de este trabajo, es decir, evaluar si el entrenamiento visual permite hacer más eficiente los conteos a medida que los observadores realizan más identificaciones de individuos en pantalla (sección *Análisis del entrenamiento visual en Métodos*), los análisis (usando los 10 sitios, es decir, ambas especie) determinaron que no existen diferencias significativas entra las rondas 1 y 3 de entrenamiento, tanto para el tiempo de conteo por ronda como para los conteos o valores totales de individuos identificados (Prueba Chi cuadrado para el tiempo;  $p = 1$ ; *Figura 5*; Prueba Wilcoxon pareada para conteos;  $p = 0.2613$ ; *Figura 6*.)

## CONCLUSIONES

El uso de drones para el monitoreo y conteo de lobos marinos, alrededor de las Islas Galápagos, es promisorio. Los resultados, relacionados con el objetivo uno de esta investigación, permiten concluir que los conteos de las dos especies focales aquí analizadas pueden variar significativamente entre sitios y taxones. Para *Zalophus wolfebaeki*, usar drones para contar a los individuos en las colonias fue 67.69% más efectivo que los conteos en tierra por kilómetro. Al contrario, para *Arctocephalus galapagoensis* los conteos con drones resultaron 50.21% menos efectivos que los conteos en tierra por Km, debido a las características crípticas y elusivas propias del taxón (Trillmich, 2014). Igualmente, y relacionado con este objetivo, este estudio pudo evidenciar que no existieron diferencias significativas entre ambas metodologías (conteo en tierra y pantalla) analizadas para el monitoreo de lobos marinos en Galápagos, cuando se estandarizaron las distancias para un kilómetro de muestreo. Según el caso, el uso de drones puede ser en promedio 20% más efectivo que la metodología tradicional cuando se busca contar individuos de estas especies en las zonas aquí analizadas.

Con respecto al segundo objetivo de esta investigación y puntualmente para calcular los valores de corrección para contar individuos de cada especie de manera más eficiente y usando drones como base, las fórmulas resultantes permiten al momento determinar el número de lobos marinos (en cinco kilómetros), por medio de un valor  $n$  de individuos contados por el dron (en un kilómetro de muestreo). Sin embargo, se sugiere que antes de usar los valores de corrección establecidos por este estudio, se realicen más muestreos de un kilómetro (esfuerzo de muestreo mínimo), tanto en tierra como con los drones y en diferentes épocas del año. Esto permitirá analizar las posibles diferencias de la presencia o ausencia de

individuos en las colonias en las dos estaciones que se presentan en Galápagos y a su vez, generar valores de corrección más precisos para estas especies.

En el caso del objetivo tres de este estudio y para establecer la efectividad de los conteos de las dos especies de lobos marinos de Galápagos en pantalla, se determinó que no existen diferencias significativas entre el tiempo y los conteos por rondas (R1 y R3) aquí evaluados. La efectividad de los conteos en pantalla no se encuentra determinada por las rondas de entrenamiento de un potencial observador. Gracias a esto, se podría incluir a más observadores en pantalla y únicamente aplicar una ronda de conteo para cada sitio de ser necesario, con el fin de hacer aún más eficientes este tipo de herramientas.

En general este estudio también recomienda ajustar las metodologías presentes para incluir sensores más sensibles (térmicos o infrarrojos) y volar drones a alturas menores y estandarizadas de ser posible. También se sugiere realizar un análisis más profundo por sitio, con el fin de entender si, por ejemplo, el tipo de sustrato presente en cada lugar explica las diferencias aquí encontradas. Igualmente, la categorización de los sitios en rocoso, arenoso o mixto facilitará también el cálculo de valores de corrección por lugar, incluyendo las variables biológicas de cada especie.

Además, se recomienda realizar comparaciones de la metodología de conteo con drones usando más censos en tierra de lobos marinos en Galápagos, pero repetidos en años pasados. Según la Universidad Internacional de Florida (FIU), el fenómeno del Niño Oscilación Sur (ENOS) en 2015, ha sido el segundo más fuerte detectado a partir de 1950; lo cual pudo ocasionar que las poblaciones de lobos marinos se vieran afectadas antes y después de dicho evento. Por ejemplo, para 2016 (año donde se tomaron los datos de esta investigación), las poblaciones de lobos aparentemente presentaron incremento de los

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

individuos (Diego Paez-Rosas com. pers.), lo que puede influir en los resultados aquí encontrados y se debe incluir implícitamente en posteriores investigaciones.

Finalmente, este estudio sugiere preliminarmente que se puede adaptar la metodología de conteo de individuos usando imágenes generadas por drones para diferentes especies del archipiélago, tanto terrestres como marinas, sin antes recalcar que se debe así mismo, considerar que existen particularidades para cada especie, que deben ser corregidas por estudios en su biología, ecología y comportamiento y que ayudarán a mejorar las herramientas aquí analizadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alava, J., & Ross, P. S. (2018). *Pollutants in Tropical Marine Mammals of the Galápagos Islands*, Ecuador. *Marine Mammal Ecotoxicology*, 213–234.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812144-3.00008-5>

Barres, L. (2016, 7 noviembre). *Las islas como laboratorio de la evolución*. Recuperado 13 marzo, 2020, de <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/tag/enanismo/>

Berta, A., & Churchill, M. (2011). *Pinniped taxonomy: review of currently recognized species and subspecies, and evidence used for their description*. *Mammal*

*Review*, 42(3), 207–234. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2011.00193.x>

Bonnin, N., Van Andel, A., Kerby, J., Piel, A., Pintea, L., & Wich, S. (2018). *Assessment of Chimpanzee Nest Detectability in Drone-Acquired Images*. *Drones*, 2(2), 17.

<https://doi.org/10.3390/drones2020017>

Camaratta, D., Almeida, R., Rosa de Oliveira, L., Cárdenas, S., Márquez, J. C., García, D., & Bonatto, S. (2008). *Status taxonômico dos lobos marinhos de Isla Foca (Peru): Arctocephalus australis, A. galapagoensis (Carnivora: Otariidae) ou híbridos*. IX Salão de Iniciação Científica Pontificia Universidad Catolica do Rio Grande do Sul, 1(1).

Carlton, J. (2019). *Assessing marine bioinvasions in the Galápagos Islands: Implications for conservation biology and marine protected areas*. *Aquatic Invasions*, 14(1), 1–20.

<https://doi.org/10.3391/ai.2019.14.1.01>

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

- Chamoso, P., Raveane, W., Parra, V., & González, A. (2014). *UAVs Applied to the Counting and Monitoring of Animals*. *Ambient Intelligence - Software and Applications*, 71–80.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-07596-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07596-9_8)
- Chediack, S. (2009). *Monitoreo de biodiversidad y recursos naturales: ¿para qué?* (3ª ed.). Tlalpan, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Chen, Y., Lu, Y., Zhao, P., Xu, F., Huang, X., & Huang, X. (2019). *Seasonal and Interannual Variations of Sea Temperature Influenced by Galápagos Islands in Eastern Tropical Pacific Ocean*. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(5), 3007–3020.
- Clark, T. (1979). *Mammals in the seas: Pinniped species summaries and report on sirenians*. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- DataZone FCD. (2014). *Especies Nativas y Endémicas – Dirección del Parque Nacional Galápagos*. Recuperado 13 marzo, 2020, de <http://www.galapagos.gob.ec/especies-nativas-y-endemicas/>
- Davis, D., & Winstead, R. (1980). *Estimating the numbers of wildlife populations*. In S. Schemnitz (Ed.), *Wildlife Management and Techniques Manual* (2ª ed., pp. 221–247). Washington, D.C, Estados Unidos: The Wildlife Society.
- Dirección Parque Nacional Galápagos. (2018). *Galápagos cumple 40 años como Patrimonio Natural de la Humanidad*. Recuperado 7 de mayo de 2020, de



<http://www.galapagos.gob.ec/galapagos-cumple-40-anos-como-patrimonio-natural-de-la-humanidad/>

Fundación Charles Darwin (FCD) y WWF-Ecuador. (2018). *Atlas de Galápagos, Ecuador: Especies Nativas e Invasoras*. Quito, FCD y WWFEcuador.

<https://doi.org/10.1029/2018jc014523>

Gentry, A. (2006). *Mammal Species of the World. A taxonomic and geographic reference* (2<sup>a</sup> ed.). Baltimore, Estados Unidos: Johns Hopkins University Press.

Herrera, F., & Corrales, L. (2004). *Manual para la evaluación y monitoreo de la integridad ecológica en áreas protegidas*. Recuperado 12 marzo, 2020, de

[https://www.researchgate.net/publication/308202055\\_Manual\\_para\\_la\\_evaluacion\\_y\\_monitoreo\\_de\\_la\\_integridad\\_ecologica\\_en\\_areas\\_protegidas](https://www.researchgate.net/publication/308202055_Manual_para_la_evaluacion_y_monitoreo_de_la_integridad_ecologica_en_areas_protegidas)

Hodgson, A., Peel, D., & Kelly, N. (2017). *Unmanned aerial vehicles for surveying marine fauna: assessing detection probability*. *Ecological Applications*, 27(4), 1253–1267.

<https://doi.org/10.1002/eap.1519>

Hodgson, J. C., Mott, R., Baylis, S. M., Pham, T. T., Wotherspoon, S., Kilpatrick, A. D., . . .

Koh, L. P. (2018). *Drones count wildlife more accurately and precisely than humans*. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(5), 1160–1167.

<https://doi.org/10.1111/2041-210x.12974>

Inman, V. L., Kingsford, R. T., Chase, M. J., & Leggett, K. E. A. (2019). *Drone-based effective counting and ageing of hippopotamus (*Hippopotamus amphibius*) in the*

*Okavango Delta in Botswana*. PLOS ONE, 14(12), 16.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219652>

Jackson, M. (1997). *Galápagos*. Una historia natural. University of Calgary Press, Canada, 319 pp

Jiménez-Uzcátegui, G., Milstead, B., Márquez, C., Zabala, J., Buitrón, P., Llerena, A., . . .

Fundación Charles Darwin. (2007). *Vertebrados de Galápagos: estado de amenaza y acciones de conservación*. Informe Galápagos 2006-2007, pp. 108–114. Recuperado de [http://www.carlospi.com/galapagospark/documentos/DPNG-FCD-INGALA\\_informe\\_galapagos\\_2006-2007.pdf](http://www.carlospi.com/galapagospark/documentos/DPNG-FCD-INGALA_informe_galapagos_2006-2007.pdf)

Koski, W. R., Gamage, G., Davis, A. R., Mathews, T., LeBlanc, B., & Ferguson, S. H.

(2015). *Evaluation of UAS for photographic re-identification of bowhead whales, *Balaena mysticetus**. Journal of Unmanned Vehicle Systems, 3(1), 22–29.

<https://doi.org/10.1139/juvs-2014-0014>

Laso, F. J., Benítez, F. L., Rivas-Torres, G., Sampedro, C., & Arce-Nazario, J. (2019). *Land Cover Classification of Complex Agroecosystems in the Non-Protected Highlands of the Galapagos Islands*. Remote Sensing, 12(1), 65.

<https://doi.org/10.3390/rs12010065>

Mangewa, L. J., Ndakidemi, P. A., & Munishi, L. K. (2019). *Integrating UAV Technology in an Ecological Monitoring System for Community Wildlife Management Areas in*

*Tanzania*. Sustainability, 11(21), 6116. <https://doi.org/10.3390/su11216116>

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

- Mathis, A., & Rose, J. (2016). *Balancing tourism, conservation, and development: a political ecology of ecotourism on the Galapagos Islands*. *Journal of Ecotourism*, 15(1), 64–77. <https://doi.org/10.1080/14724049.2015.1131283>
- Orr, R. T. (1973). *Galápagos fur seal (Arctocephalus galapagoensis)*. Proc. Working Meeting of Seal Specialists on threatened and Depleted seals of the World, 124-128.
- Orr, R.T., Schonewald, J., & Kenyon, K.W. (1970). *The California sea lions (Zalophus californianus californianus): skull growth and comparison of two populations*. *Californian Academy of Science*, 37(11), 381-394.
- Páez-Rosa, D. (2018). *Lobos Marinos*. In WWF Ecuador, & ORG. Fundación Charles Darwin (Eds.), *Atlas de Galápagos: Especies Nativas e Invasoras* (pp. 150–155). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/327655519\\_LOBOS\\_MARINOS/stats](https://www.researchgate.net/publication/327655519_LOBOS_MARINOS/stats)
- Páez-Rosas, D., & Martínez-León, D. (2017). *Filogeografía y genética de poblaciones del lobo fino de Galápagos (Arctocephalus galapagoensis)*. Recuperado 13 marzo, 2020, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6714>
- Piu-Guime, M. (2003). *La Reserva Marina de Galápagos*. Recuperado de <http://www.reservasmarinas.net/divulgacion/eventos/pdf/galapagos.pdf>
- Prieto Molina, R., Méndez, E., Vales, J., Pino, I., Carpintero, I., Granado, L., . . . Moreira, J. (2014). *Aplicación de UAVS a la detección de fauna como soporte a los censos cinegéticos*. *REDIAM. Revista de Teledetección*, 0(41), 121. <https://doi.org/10.4995/raet.2014.2312>

- Riofrío-Lazo, M., Arreguín-Sánchez, F., & Páez-Rosas, D. (2017). *Population Abundance of the Endangered Galapagos Sea Lion Zalophus wolfebaeki in the Southeastern Galapagos Archipelago*. PLOS ONE, 12(1), e0168829.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168829>
- Rivas, A., Chamoso, P., González-Briones, A., & Corchado, J. (2018). *Detection of Cattle Using Drones and Convolutional Neural Networks*. Sensors, 18(7), 2048.  
<https://doi.org/10.3390/s18072048>
- Rivas-Torres, G., Luke Flory, S., & Loiselle, B. (2017). *Plant community composition and structural characteristics of an invaded forest in the Galápagos*. Biodiversity and Conservation, 27(2), 329–344. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1437-2>
- Salazar, S. (2002) *Lobo marino y lobo peletero*. In: Danulat, E. & Edgar, G.J. (eds.): Reserva marina de Galápagos. Línea base de la biodiversidad. Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador, p. 267-285.
- Schofield, G., Katselidis, K. A., Lilley, M. K. S., Reina, R. D., & Hays, G. C. (2017). *Detecting elusive aspects of wildlife ecology using drones: New insights on the mating dynamics and operational sex ratios of sea turtles*. Functional Ecology, 31(12), 2310–2319. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12930>
- Schramm, Y., Mesnick, S.L., De la Rosa, J., Hyde, J., Palacios, D. (2001). *Genetic Structure of California and Galápagos Sea Lions*. Society of Marine Mammalogy. Conferencia biannual en Vancouver. Canada.

Trillmich, F. (2014). *Arctocephalus galapagoensis*. IUCN Red List of Threatened Species.

<https://doi.org/10.2305/iucn.uk.2015-2.rlts.t2057a45223722.en>

Trillmich, F. (1987). *Galápagos fur seal: Arctocephalus galapagoensis*. (eds.): Croxal PL,

Gentry RI. Status, biology, and ecology of fur seals. Proceedings of an international symposium and workshop. Cambridge, (pp. 23-27).

USAID, & FIU. (2015, noviembre 30). *ENSO report 2015*. Recuperado 4 de mayo de 2020,

de <https://drr.fiu.edu/enso-201516/enso-report-dec2015-versin-espaol.pdf>

Vallejo, A.F. (2018). *Arctocephalus galapagoensis* En: Brito, J., Camacho, M. A., Romero,

V. Vallejo, A. F. (eds). Mamíferos del Ecuador. Versión 2018.0. Museo de Zoología,

Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado de

<https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/FichaEspecie/Arctocephalus%20galapagoensis>

Vallejo, A.F. (2018). *Zalophus wollebaeki* En: Brito, J., Camacho, M. A., Romero, V.

Vallejo, A. F. (eds). Mamíferos del Ecuador. Versión 2018.0. Museo de Zoología,

Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

<https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/FichaEspecie/Zalophus%20wollebaeki>

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*

*Animals*. Computer Vision - ECCV 2014 Workshops, 255–270.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-16178-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16178-5_17)

Whittaker, R.J. & Fernández-Palacios, J.M. (2007). *Island biogeography: ecology, evolution, and conservation* (2<sup>a</sup> ed.) Oxford University Press, Oxford.

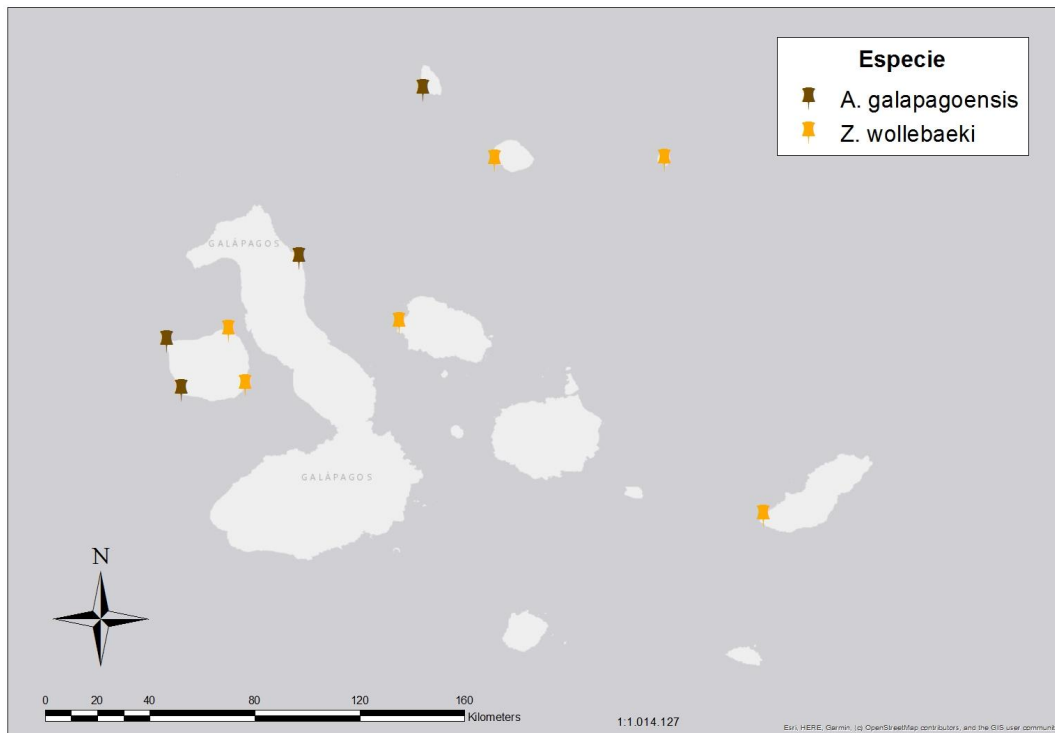
## ANEXO A: TABLAS

**Tabla 1.** Detalles de los sitios, conteos y especies en cada metodología de conteo (conteo en tierra realizado en el año 2016). El número establecido en los conteos de pantalla se determinó mediante el promedio de conteos de los 4 observadores utilizados en este estudio, es decir un total de doce datos por sitio. Se presentan dos valores de conteos en tierra para San Cristóbal debido a que el valor de 579 individuos representa el conteo realizado al mismo tiempo del vuelo del dron y 611 representa el conteo según el censo anual que se realizó en otra fecha diferente a dicho vuelo.

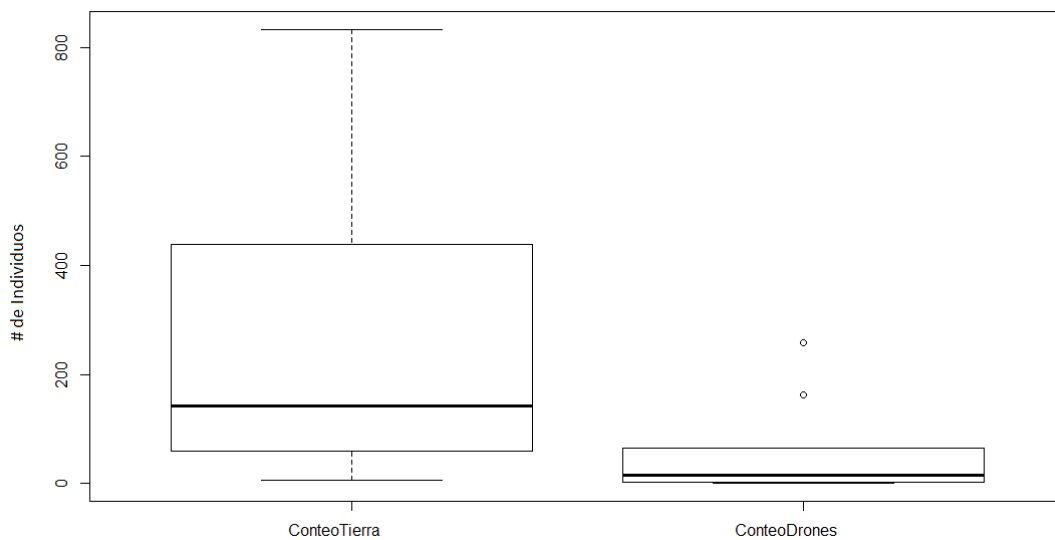
Sitio	Isla	Especie	Conteo Pantalla	Conteo Tierra
Punto Egas	Santiago	<i>Zalophus wollebaeki</i>	24,17	82
Punta Calle	Marchena	<i>Zalophus wollebaeki</i>	1,67	7
Punta Mangle	Fernandina	<i>Zalophus wollebaeki</i>	65,58	144
Punta Espinoza	Fernandina	<i>Zalophus wollebaeki</i>	5	35
Bahía Genovesa	Genovesa	<i>Zalophus wollebaeki</i>	3,17	59
San Cristóbal Mosaic1	San Cristóbal	<i>Zalophus wollebaeki</i>	258,56	579-611
Pinta	Pinta	<i>Arctocephalus galapagoensis</i>	3,25	247
Cabo Hammond	Fernandina	<i>Arctocephalus galapagoensis</i>	162,25	832
Cabo Marshall	Isabela	<i>Arctocephalus galapagoensis</i>	6	140
Cabo Douglas	Fernandina	<i>Arctocephalus galapagoensis</i>	64,67	439

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around these publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

## ANEXO B: FIGURAS



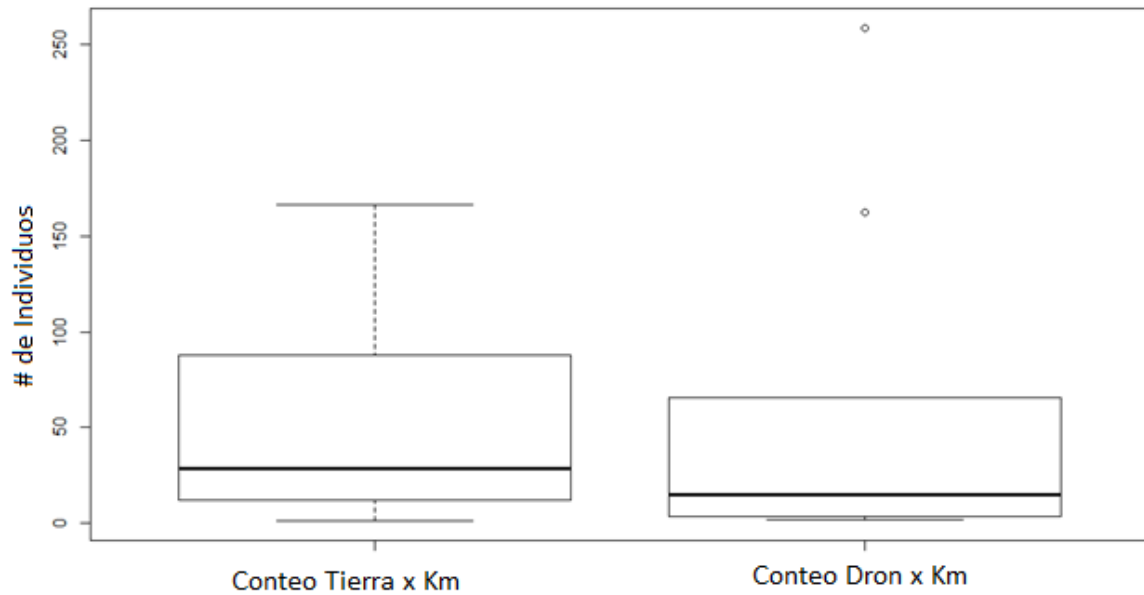
**Figura 1.** Mapa georreferenciado de los 10 sitios de muestreo en las Islas Galápagos. Los diferentes colores representan a las dos especies encontradas en cada sitio de muestreo.



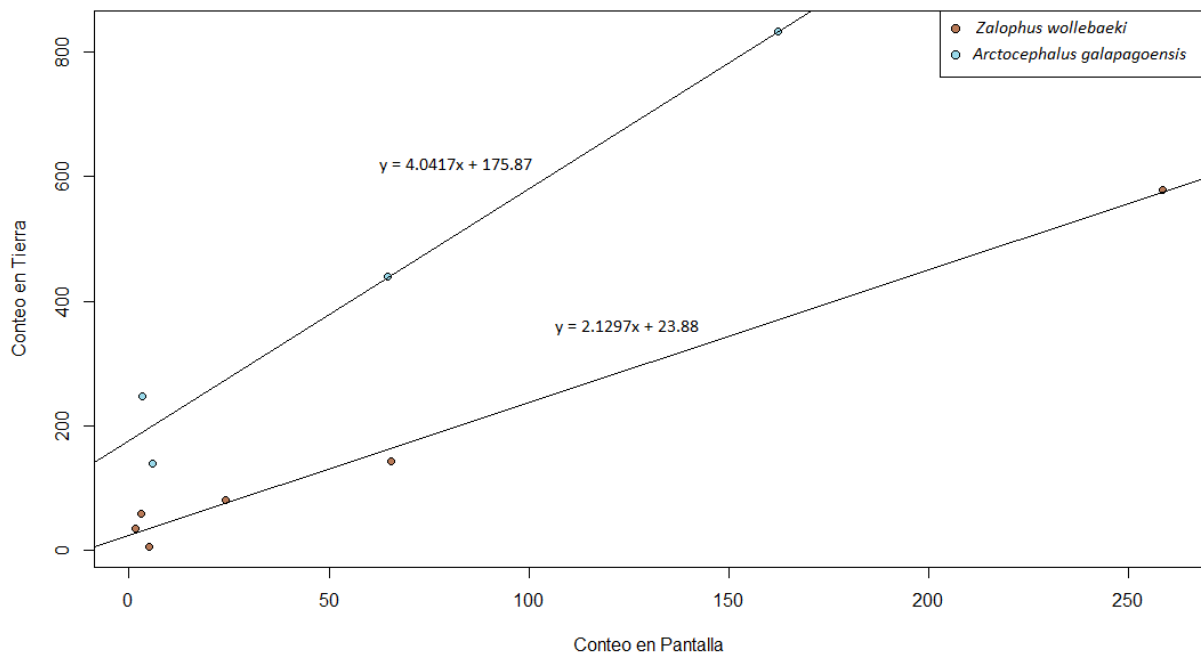
**Figura 2.** Diagrama de caja que compara el número de individuos entre los conteos realizados en tierra y en pantalla (con los drones), y que demostró que existen diferencias significativas entre las medias aritméticas analizadas.

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around these publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.





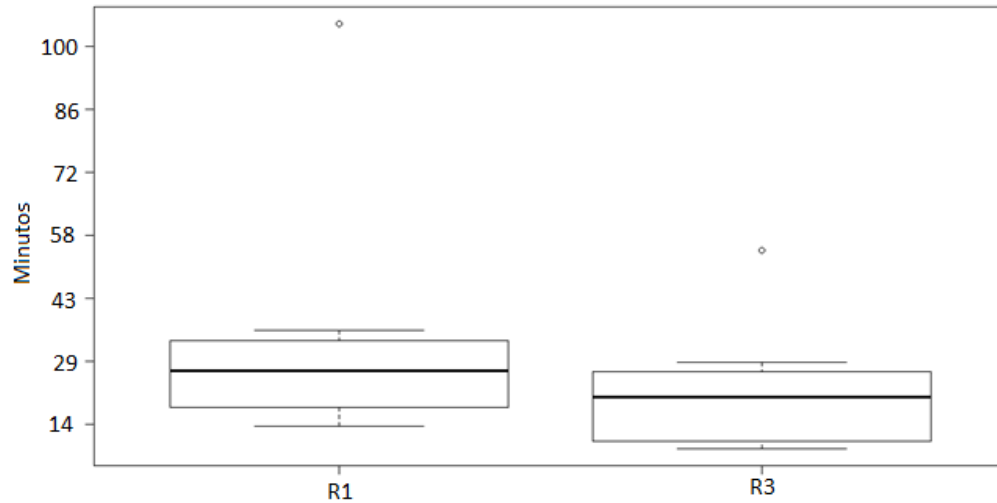
**Figura 3.** Diagrama de caja que compara el número de individuos encontrados entre los conteos realizados en tierra y en pantalla (con los drones), estandarizados por Km de muestreo.



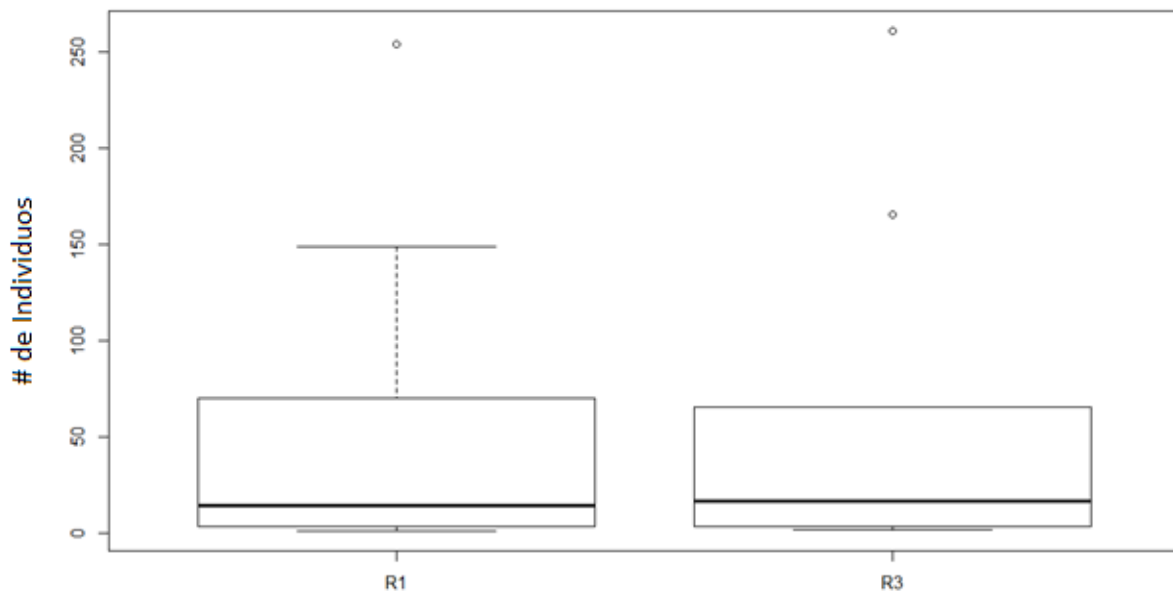
**Figura 4.** Representación gráfica de la regresión lineal calculada para determinar valores de corrección específicos para cada especie. La variable x en ambas ecuaciones de recta puede

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.

ser remplazada por el número de conteos con drones (en 1 Km), donde y resulta en un aproximado a los conteos en tierra por 5 km.



**Figura 5.** Diagrama de caja que compara el tiempo (en minutos) calculado para los 4 observadores entre las rondas 1 (R1) y 3 (R3) analizadas.



**Figura 6.** Diagrama de caja que compara el número de individuos contados en las rondas 1 (R1) y 3 (R3) analizadas.

**Note:** The following document is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this document – in whole or in part – should not be considered a publication. For further information see *Discussion document on best practice for issues around theses publishing* available on <http://bit.ly/COPETheses>.