



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE DOS MÉTODOS DE MONITOREO
POBLACIONAL DE AVES GUANERAS EN EL PERÚ: APOORTE A LA
GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA RESERVA NACIONAL SISTEMA DE ISLAS,
ISLOTES Y PUNTAS GUANERAS”**

Tesis para optar el título de:
INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:
Diana Minerva Luna Rodríguez

Asesor:
Dr. Carlos Braxtzo Phil Zavalaga Reyes

Lima – Perú
2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 30 de octubre de 2018.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Hector Alonso Aponte Ubillús
Integrante: Mg. Mirtha Rosario Nazario Ramirez
Integrante: Blga. Elsa María Del Carmen Piccone Saponara

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

Evaluación de la efectividad de dos métodos de monitoreo poblacional de aves guaneras en el Perú: aporte a la gestión sostenible de la reserva nacional Sistema de Islas, islotes y puntas guaneras.

Presentada por a bachiller:

- **Diana Minerva Luna Rodriguez**

Para optar el Título Profesional de **Ingeniera Ambiental**

Asesorada por:

- **Dr. Carlos Braxtzo Phil Zavalaga Reyes**

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de la bachiller en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

Integrante 1: Diana Minerva Luna Rodriguez			Nota (escrito): <i>dieciocho</i>
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.




Presidente del Jurado



Miembro del Jurado



Miembro del Jurado



Asesor

DEDICATORIA

A mi familia: madre, padre y hermano. Por la vida, transmitir y compartir sus conocimientos y amor, gracias.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis forma parte del Proyecto “Implementación de nuevas técnicas para el monitoreo biológico de las aves guaneras del Perú” FONDECYT N°152-2015, subvencionado por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) y dirigido por Dr. Carlos Zavalaga de la Universidad Científica del Sur.

A mi asesor, el Dr. Carlos Zavalaga, por darme la oportunidad de participar en el proyecto, transmitirme su pasión por la investigación, compartir su conocimiento y guiarme en mi tesis.

Al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) y al Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural (AGRORURAL) por los permisos concedidos para poder recolectar los datos de mi tesis dentro de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras (RNSIIPG).

A cada guardaislas de AGRORURAL de las 11 localidades visitadas: Juan Méndez, Saturnino Ipurre, Juan Ángeles De La Cruz, Moisés Tomairo, Marino Jaime, Alfredo Flores, Mariano García, Walter Luicho, Augusto Idrogo, Mauro Tomairo, Heber Flores, Melchor Llica y Mario Cano, por su compromiso en la conservación de las aves guaneras, enseñarme la metodología utilizada en los censos de aves guaneras, el apoyo desinteresado y la atención brindada en nuestra estadía. De igual manera, a Marco Cardeña y los voluntarios del Centro para la Sostenibilidad Ambiental de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, por su apoyo desinteresado y compromiso profesional con la investigación de aves marinas, y por todas las facilidades brindadas en Punta San Juan. A Judith Figueroa por enseñarme a subir la escalera de gato, por transmitirme su amor por los piqueros y por su total disposición en cualquier consulta que he tenido.

Y a mis amigos, madre y padre quienes tuvieron la apertura de escuchar las historias que les contaba sobre mis experiencias en la RNSIIPG y alentarme a terminar mi tesis. A mi hermano por sus consejos académicos en mi tesis. A Josh, por acompañarme y animarme en el proceso de realizar mi tesis a pesar de la distancia.

Estoy agradecida por esta experiencia que me ha permitido conocer esta hermosa área natural protegida y descubrir una pasión más: el trabajar en proyectos de conservación marina.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	11
ABSTRACT	13
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
II. MARCO TEÓRICO	19
1. Reserva Nacional Sistema Islas, Islotes y Puntas Guaneras (RNSIIPG)	19
2. Aves guaneras	22
2.1. <i>Guanay- Phalacrocorax bougainvillii</i>	22
2.2. <i>Piquero - Sula variegata</i>	23
2.3. <i>Pelícano - Pelecanus thagus</i>	23
3. Monitoreo poblacional de aves marinas	24
4. Monitoreo poblacional de aves guaneras	26
4.1. <i>Método planimétrico</i>	26
4.2. <i>Método de drones</i>	28
5. Evaluación de la efectividad de la gestión de un área marina protegida	29
5.1. <i>Evaluación de la efectividad de un monitoreo de aves marinas</i>	30
III. OBJETIVOS E HIPOTESIS	32
1. Objetivos	32
2. Hipótesis	32
IV. METODOLOGÍA	33
1. Área de estudio	33
2. Procedimiento de los métodos de conteo de aves guaneras	36
2.1. <i>Descripción del método planimétrico</i>	37
2.2. <i>Descripción del Método de drones</i>	40
3. Diseño de la Investigación	43
4. Diseño muestral	43
4.1 <i>Tramo</i>	43

4.2	<i>Recorrido</i>	45
4.3	<i>Subcolonia</i>	45
5.	Recolección y análisis de datos.....	46
5.1	<i>Disturbio</i>	46
5.2	<i>Tiempo requerido para la toma de datos</i>	47
5.3	<i>Precisión de conteo</i>	48
6.	Análisis estadístico.....	49
6.1	<i>Disturbio</i>	50
6.2	<i>Tiempo requerido para la toma de datos</i>	50
6.3	<i>Precisión de conteo</i>	50
V.	RESULTADOS.....	51
1.	Comparaciones de la efectividad del conteo entre el método planimétrico y el método de drones.....	51
1.1	<i>Disturbio</i>	51
1.2	<i>Tiempo requerido para la toma de datos</i>	52
1.3	<i>Precisión de conteo</i>	53
VI.	DISCUSION.....	57
1.	Comparación de la efectividad del conteo de aves guaneras entre el método planimétrico y el método de drones.....	57
1.1	<i>Disturbio</i>	57
1.2	<i>Tiempo requerido para la toma de datos</i>	59
1.3	<i>Precisión de conteo</i>	60
2.	Ventajas y desventajas del método planimétrico y el método de drones.....	63
2.1	<i>Método Planimétrico</i>	63
2.2	<i>Método de drones</i>	66
3.	Aportes a la gestión sostenible de la RNSIIPG.....	67
VII.	CONCLUSIÓN.....	70
VIII.	RECOMENDACIONES.....	71
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
X.	ABREVIATURAS.....	83
XI.	ANEXO 1: PROTOCOLO DE VUELO DE DRONES Y CONTEO DE AVES GUANERAS.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la RNSIIPG	21
Figura 2. Aves guaneras: (a) guanayes adultos en isla Asia, (b) piquero adulto en isla Guañape Norte, (c) pelícano adulto en isla Asia.	24
Figura 3. Mapa planimétrico de la Isla Guañape Sur con colonias de guanayes (negro), piquero (rojo) y pelícano (azul) del 01 de diciembre del 2014.	28
Figura 4. Ubicación de las 11 localidades seleccionadas como área de estudio a lo largo del litoral peruano: LT = Is. Lobos de Tierra, MC = Is. Macabí, GN = Is. guañape Norte, GS = Is. Guañape Sur, MZ = Is. Mazorca, PE = Is. Pescadores, AS = Is. Asia, CC = Is. Chincha Centro, CS = Is. Chincha Sur, BN = Is. Ballestas Norte, SJ = Is. Punta San Juan.	35
Figura 5. Diagrama del procedimiento del método planimétrico: etapa de campo y etapa de gabinete; realizado por los guardaislas.	39
Figura 6. Dron cuadricóptero Modelo Phantom 3 Professional.	41
Figura 7. Diagrama descriptivo del procedimiento del método de drones: etapa de campo y etapa; realizado por el piloto del dron.	42
Figura 8. Diagrama de un recorrido del método planimétrico (color amarillo) y del método de drones (color azul).	44
Figura 9. Subcolonia de guanayes reproductivos de Isla Pescadores.	45
Figura 10. Conteo directo utilizando la herramienta Multipoint del software Image J.	49
Figura 11. Porcentaje de ocurrencia de disturbio (aves perturbadas y no perturbadas) durante los conteos de aves guaneras ya sea con el método planimétrico o con el método de drones.	51
Figura 12. Gráfico de boxplot del tiempo requerido para la toma de datos entre el método planimétrico y el método de drones.	52
Figura 13. Porcentaje de error de conteo entre el método planimétrico (plomo) y el método de drones (negro).	53
Figura 14. Porcentaje de error de conteo entre el método planimétrico y el método de drones por especie: guanay y piquero.	55
Figura 15. Porcentaje de error de conteo entre el método planimétrico y el método de drones por condición: NR: no reproductivo, R: reproductivo.	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número estimado de aves guaneras por m ² en la colonia dependiendo del estado reproductivo de las mismas.....	27
Tabla 2. Ubicación, área y tipo de topografía de las 11 localidades de estudio visitadas entre agosto 2016 y mayo 2017. Se muestra también el número y fechas y horas de visitas por cada localidad.....	34
Tabla 3. Datos sobre la presencia y ausencia de perturbación por tramo en una visita.	47
Tabla 4. Datos sobre el tiempo requerido en un recorrido.....	48
Tabla 5. Porcentaje de error por especie y condición en donde se muestran los promedios y desviaciones estándar de ambos métodos.	54
Tabla 6. Modelo ANOVA de tres factores en donde se muestran los grados de libertad (df), valor estadístico de Fisher (F) y la probabilidad de rechazo o aceptación de la hipótesis nula (P).	56

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Protocolo de vuelo de drones y conteo de aves guaneras.....	83
--	----

RESUMEN

Las aves guaneras en el Perú: el guanay (*Phalacrocorax bougainvillii*), el piquero (*Sula variegata*) y el pelícano (*Pelecanus thagus*) son especies importantes dentro del ecosistema marino de la Corriente de Humboldt. También son considerados elementos de conservación priorizados dentro la Reserva Nacional Sistema Islas, Islotes y Puntas Guaneras (RNSIIPG). Hace décadas, sus poblacionales han sido estimadas utilizando un método práctico, pero poco preciso (método planimétrico). La implementación de un conteo de las aves guaneras preciso; con bajos niveles de perturbación, tecnológicamente actualizada y práctico, es de especial interés para una gestión sostenible de la RNSIIPG. Este estudio incorpora el uso de drones para el conteo de las aves guaneras, pero más importante aún, evalúa la efectividad de ambos métodos (planimétrico y drones) al comparar el disturbio, tiempo de toma de datos y precisión de conteo. Para esto, el estudio se llevó a cabo en 11 localidades a lo largo de la costa peruana que comprenden diez islas y una punta guanera pertenecientes a la RNSIIPG, estas localidades fueron visitadas en 17 oportunidades entre agosto del 2016 y mayo del 2017. Las comparaciones mostraron que la ocurrencia de disturbio en las aves con el método planimétrico fue mayor (70% eventos de disturbio, N = 73) que con el método de drones (33%, N = 73; $\chi^2 = 26.349$, $p < 0.001$, $gl=1$). El tiempo requerido para la toma de datos fue también mayor con el método planimétrico ($X = 77$ min, N = 17) que con el método de drones ($X = 43$ min, N = 17; $t = 5.147$, $p < 0.0001$, $gl=16$). Por último, el conteo con el método de drones fue más preciso (% error de conteo = 16, N = 28) que el método planimétrico (% de error de conteo = 56, N = 28; $t = -4.094$, $p < 0.001$, $gl=27$). Asimismo, cuando se evaluó si las covariables: especie de ave guanera, condición dentro del ciclo

anual y método de conteo tuvieron algún efecto en el porcentaje de error, solo se detectó diferencias significativas en la covariable “método de conteo” (planimétrico vs drones, ANOVA, $F_{7, 55}=3.16$, $p=0.0079$). Adicionalmente, este estudio brinda un protocolo de vuelo de drones y un protocolo de conteo semiautomático de aves guaneras. El uso de drones para la toma de fotografías y de software para la cuantificación semiautomática convierte al método de drones en una tecnología innovadora para realizar el monitoreo poblacional de aves guaneras.

Palabras claves: monitoreo poblacional, aves guaneras, drones, gestión sostenible.

ABSTRACT

The guano birds in Peru: the guanay cormorant (*Phalacrocorax bougainvillii*), the peruvian booby (*Sula variegata*) and the peruvian pelican (*Pelecanus thagus*) are important species within the marine ecosystem of the Humboldt Current. They are also considered priority conservation elements within the National Reserve System of Islands, Islets and Headlands (RNSIIPG). For decades, its population has been estimated using a practical method, but not very precise (planimetric method). The implementation of a precise count of guano birds, with low levels of disturbance, technologically updated and at the same time practical is of special interest for a sustainable management of the RNSIIPG. This study incorporates the use of drones for the counting of guano birds, but more importantly, it evaluates the effectiveness of both methods (planimetric and drone) when comparing their disturbance, time of data collection and accuracy of counting. The study was carried out in 11 localities of the Peruvian coast that include ten islands and one headland guano belonging to the RNSIIPG, these locations were visited in 17 opportunities between August 2016 and May 2017. The comparisons showed that the occurrence of disturbance in birds with the planimetric method's was higher (70% disturbance events, N = 73) than with the drone method's (33%, N = 73, $\chi^2 = 26.349$, $p < 0.001$, $gl = 1$). The time required for data collection was also greater with the planimetric method's (X = 77 min, N = 17) than with the drone method's (X = 43 min, N = 17, $t = 5.147$, $p < 0.0001$, $gl = 16$). Finally, the counting with the drone method's was more accurate (% counting error = 16, N = 28) than the planimetric method's (% counting error = 56, N = 28, $t = -4.094$, $p < 0.001$, $gl = 27$). Likewise, when it was evaluated if the covariables: bird species, condition within the

annual cycle and method of counting had any effect on the percentage of error, just significant differences were detected in the "counting method" variable (planimetric vs. drones, ANOVA, $F_{7, 55} = 3.16$, $p = 0.0079$). Additionally, this study provides a flight protocol for drones and a protocol for semi-automatic counting of guano birds. The use of drones for taking photographs and software for semi-automatic quantification converts the drone method's into an innovative technology for population monitoring of guano.

Keywords: population monitoring, guano-birds, drone, sustainable management.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las aves marinas han sido reconocidas como buenos indicadores de cambios en el ambiente marino (Furness y Camphuysen 1997; Diamond y Devlin, 2003; Croxall et al. 2012). Así, variaciones en diferentes aspectos de su comportamiento, condición reproductiva y alimentación son consecuencia de cambios drásticos en las características oceanográficas en sus zonas de alimentación (Moreno, Stowasser, McGill, Stuart, y Phillips, 2016; Ostrom et al, 2017; Gagne, Hyrenbach, Hagemann y Van Houtan, 2018), el cambio climático (Barbraud y Weimerskirch, 2006; Gremillet y Boulinier, 2009), la sobrepesca (Duffy, 1983a, Furness y Tasker, 2000) y la contaminación por plástico (Gremillet y Charmantier 2010; Bond, Provencher, Daoust y Lucas, 2014; Wilcox, Van-Sebille y Hardesty, 2015). Las investigaciones de aves marinas proporcionan una ventaja para la gestión de espacios costeros y marinos (Lewison et al., 2012; Ronconi, Lascelles, Langham, Reid, y Oro, 2012), ya que son relativamente fáciles de monitorear en grandes escalas espacio-temporales en comparación con otros organismos marinos (Ainley y Hyrenbach, 2009; Paleczny, Hammill, Karpouzi y Pauly, 2015).

Dentro de las múltiples técnicas de monitoreo biológico de las aves marinas, los conteos poblacionales constituyen una de las herramientas más básicas y fundamentales. Los resultados obtenidos de los monitoreos biológicos permiten asegurar una base de información adecuada que influya en la toma de decisiones sobre políticas para la conservación y manejo de áreas marinas en el mundo (Diamond, 2001; Parsons et al., 2008). El mejor ejemplo de este caso es el monitoreo poblacional de pingüinos en la Antártida, cuyos resultados influyen en la toma de decisiones de la Comisión para la

Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (Comisión para la conservación de los recursos vivos marinos antárticos [CCAMLR], 2017).

Así como en otras partes de mundo se cuenta con especies de aves marinas modelo para el seguimiento poblacional a largo plazo (Gregory, Baillie y Bashford, 2004; Wolfaardt y Phillips, 2016) las aves guaneras del Perú: guanay (*Phalacrocorax bougainvillii*, Lesson, 1837), piquero (*Sula variegata*; Tshudi, 1843) y pelícano (*Pelecanus thagus*; Molina, 1782), ofrecen también condiciones ideales para monitoreos poblacionales. Estas aves habitan gran parte de la costa peruana, mayormente dentro de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras (RNSIIPG) (DS N°24-2009-MINAM) y son especies económicamente valiosas por su importante producción de guano (Murphy, 1926; Tovar, Guillén y Nakama, 1987). Asimismo, estas especies son importantes consumidores de la anchoveta, *Engraulis ringens* (Murphy, 1954; Jahncke, 1988), pez pelágico clave dentro del Ecosistema de la Corriente de Humboldt, y por lo tanto estas aves regulan el funcionamiento de la cadena trófica de este ecosistema (Goya, 2000; Tovar y Guillén, 1988), convirtiéndose en excelentes indicadores de su disponibilidad y abundancia (Zavalaga, 2015). Al ser gregarias y al formar colonias compactas de grandes extensiones (Vogt, 1942, Passuni et al., 2016), los primeros investigadores en aves guaneras tuvieron que diseñar conteos innovadores en base a este comportamiento de las aves (Jordán, 1963).

El método actual de conteo de aves guaneras se basa en un modelo planimétrico (Jordán, 1963; Tovar et al., 1987). En este conteo se hace un dibujo en un mapa a escala de la forma y tamaño de la colonia de aves desde el nivel del suelo (usualmente desde la parte más alta de la isla). Una vez estimada el área de ocupación, se multiplica este

valor por la densidad de las aves (Jordán, 1963). En la actualidad, estos conteos son llevados a cabo por los guardaislas de AGRORURAL (Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural del Ministerio de Agricultura – [AGRORURAL], 2012), quienes viven permanentemente en las islas y puntas guaneras. Los conteos se realizan mensualmente y en simultáneo en la mayoría de islas y puntas guaneras, lo que ha permitido contar con una línea de tiempo del número de aves guaneras por más de cinco décadas. Sin embargo, existen algunos problemas metodológicos de la planimetría que deben ser evaluados y se listan a continuación:

- a. No ha cambiado desde 1960 a pesar de que en los últimos años existen nuevos métodos de conteo en diferentes regiones del mundo.
- b. Los conteos no son validados, es decir, no existen estudios rigurosos que determinen la precisión o error del conteo.
- c. No se cuenta con estudios que determinen posibles efectos de disturbios en las aves ocasionados durante el conteo (ej.: atravesar las colonias para alcanzar el punto de avistamiento).
- d. No se ha examinado el esfuerzo requerido para la toma de datos en términos de tiempo y gastos de recursos (ej. circunnavegación en botes en varias islas).

En base a los problemas anteriormente mencionados se plantea la necesidad de contar con una evaluación de la efectividad del monitoreo poblacional de aves guaneras. Asimismo, al ser cada vez más recurrente el uso de drones para el monitoreo de aves (Chabot y Bird, 2015a) se plantea realizar la evaluación de la efectividad a través de la comparación de dos métodos de conteo: método planímetro (Jordán, 1963; Tovar y Cabrera, 2005) vs método de drones. (Ratcliffe, Guihen, Robst, Crofts, Stanworth y

Enderlein, 2015; Hodgson, Baylis, Mott, Herrod y Clarke; 2016b; Brisson-Curadeu et al. 2017). La evaluación de la efectividad de las actividades realizadas en la gestión de una reserva marino-costera es una alternativa, cada vez más utilizada, que permiten identificar problemas e implementar mejoras a partir de los resultados encontrados. Esto se logra a través de un manejo adaptativo (Olsen, Lowry y Tobey, 1999; Heileman, 2006). El manejo adaptativo, es una herramienta que permite el continuo mejoramiento y está alineada a una gestión sostenible e integral.

II. MARCO TEÓRICO

1. Reserva Nacional Sistema Islas, Islotes y Puntas Guaneras (RNSIIPG)

Entre 1909 y 1956, la gestión de las islas, islotes y puntas guaneras estuvo a cargo de la Compañía Administradora del Guano (CAG) (Murphy, 1959). Entre 1957 y 2007 la responsabilidad del manejo de las islas y puntas guaneras pasó a manos de diferentes instituciones gubernamentales tales como CONAFER (Corporación Nacional de Fertilizantes), Pesca Perú Fertilizantes (Ministerio de Pesquería) y PROABONOS (Ministerio de Agricultura y Riego) con el fin de preservar las poblaciones de aves guaneras. Desde el 2008 hasta el 2009 la administración y cuidado de las islas y puntas guaneras pasaron a AGRORURAL (Ministerio de Agricultura y Riego) y finalmente a la RNSIIPG (Ministerio del Ambiente) desde 31 de diciembre del 2009, cuando fue creada como área natural protegida bajo Decreto Supremo N°24-2009-MINAM.

La creación de la RNSIIPG tuvo como fin proteger el ambiente local y contribuir a la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, cuyos objetivos de creación fueron los siguientes: 1) proteger las aves y mamíferos marinos que se refugian en las islas y/o son parte de su ruta de migración; 2) considerar prioritaria la investigación científica que contribuya al mejor conocimiento y monitoreo de la diversidad biológica del ecosistema marino peruano. La RNSIIPG está integrada por un conjunto de 22 islas e islotes y 11 puntas a lo largo de la costa peruana entre Piura y Moquegua (Figura 1). El área que involucra a esta reserva nacional es de 140833,47 hectáreas insular, terrestre y marino. Es un área rica en diversidad marina, que busca conservar los ecosistemas marino-costeros representativos del mar frío de la corriente de Humboldt, así como asegurar que se realice un aprovechamiento sostenible de los

recursos que existen en ella (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas [SERNANP], s.f).

Desde el 2016 hasta el 2021, la RNSIIPG cuenta con un Plan Maestro, instrumento de gestión aprobado a través de la Resolución Presidencial N°048-2016-SERNANP en el 2016. Este es el máximo documento que sirve como guía para la gestión, conservación y aprovechamiento sostenible de la RNSIIPG (SERNANP, 2016). En este documento se plantean tres objetivos principales: objetivo ambiental: la conservación de los ecosistemas terrestres (insular o continental) y marinos; objetivo económico: el desarrollo de actividades sostenibles y objetivo social: la promoción de la participación de los actores locales en la gestión de la RNSIIPG.



Figura 1. Mapa de la Reserva Nacional Sistema Islas, Islotes y Puntas Guaneras

Fuente: SERNANP, 2016.

2. Aves guaneras

Son tres las especies históricamente definidas como aves guaneras: el guanay, el piquero y el pelícano peruano (Coker, 1919; Vogt, 1942). Se encuentran en la Lista de especies amenazadas del Perú (DS N° 004-2014-MINAGRI): el guanay como Casi Amenazado y el piquero y el pelícano como En Peligro. Son endémicas de la Corriente de Humboldt (Murphy, 1926; Hutchinson, 1950) y su distribución está restringida mayormente entre 4° y 38 S (Simeone, Luna-Jorquera, Bernal, Garthe, Sepulveda y Villablanca; 2003). Las tres especies son gregarias, reproduciéndose en grandes colonias que en algunos casos alcanzan cientos de miles de individuos (Vogt, 1942, Tovar et al., 1987, Zavalaga, 2015). La estrecha relación entre el comportamiento de las aves guaneras con la presencia de su principal alimento, la anchoveta (*Engraulis ringens*) (Duffy, 1983b; Jahncke y Paz-Soldán, 1998; Bertrand, Goya y Silvia, 2010), han hecho que los investigadores prioricen sus investigaciones en estas especies. Además, históricamente estas aves son reconocidas por su valor económico al ser productoras de guano (Cushman, 2014) y recientemente, atractivos turísticos (MINAM, 2009a).

2.1. *Guanay- Phalacrocorax bougainvillii*

Entre las tres especies de aves guaneras, el guanay es considerado como el más numeroso (Vogt, 1942). Su plumaje es negro, pero con el pecho y vientre de color blanco (Figura 2a). La zona alrededor de los ojos está descubierta de plumas y tiene una coloración roja, mientras que las patas son de color rosado. La longitud total es en promedio de 76 cm de largo (Schulenberg, Stotz, Lane, Neill y Parker, 2010). Su dieta principal es la anchoveta, aunque pueda alimentarse de más de 79 especies de peces

tanto pelágicos como demersales y crustáceos (Jancke y Goya, 1998). Salen por las mañanas a conseguir su alimento, regresando principalmente por las tardes cuando ya se encontró el alimento (Zavalaga y Paredes, 1999). Ponen entre uno y cuatro huevos en condiciones óptimas, los cuales son incubados durante 27 días (Vogt, 1942). Los guanayes anidan en colonias densas y grandes, mayormente en las superficies planas de las islas y puntas (Murphy, 1926). La población de individuos adultos promedio en el Perú para el 2015 fue de 2.3 millones (SERNANP, 2016). Actualmente, es considerada una especie Casi Amenazada (Decreto Supremo N° 004-2014- MINAGRI, 2014).

2.2. Piquero - *Sula variegata*

Tiene el plumaje blanco con las alas plumizas y jaspeadas de color blanco (*Figura 2b*). Su tamaño promedio es de 74 cm largo (Schulenberg et al, 2010). Su alimento principal es la anchoveta, aunque puede consumir una gran variedad de peces y calamares (Jancke y Goya, 1998). Su dieta está compuesta principalmente por la anchoveta, además de 14 especies de peces y calamares (Vogt, 1942). Ponen entre uno a cuatro huevos, pero lo más común es encontrar tres huevos, los cuales son incubados durante 42 días y tanto esta actividad como la alimentación de los pichones es realizada por ambos padres (Vogt, 1942, Harrison, 1991). La población de individuos adultos promedio en el Perú fue de 1.5 millones en 2015 (SERNANP, 2016). Esta especie se encuentra clasificada como especie En Peligro (Decreto Supremo N° 004-2014- MINAGRI, 2014).

2.3. Pelicano - *Pelecanus thagus*

La característica resaltante de esta ave es que tiene un pico largo y un saco gular extenso (*Figura 2c*). Mide 152 cm de largo (Harrison, 1991). Consume peces pelágicos, siendo la anchoveta su principal alimento (Duffy, 1983b; Guillén, 1990). Además, se alimenta de

descartes que encuentran en botes pesqueros (Zavalaga, Dell'Omo, Becciu y Yoda, 2011). Estas aves aprovechan que los cardúmenes de anchovetas suban hacia la superficie del agua por las noches para alimentarse de ellos (Zavalaga et al, 2011). Se reproduce desde Piura hasta el sur en Chile, se dispersa hacia el norte en números pequeños hasta Ecuador (Schulenberg et al., 2010). Ponen tres huevos por nidada (Vogt, 1942). La población en 2015 en el Perú fue de 56 387 individuos adultos promedio (SERNANP, 2016). Actualmente el pelícano está considerado como especie En Peligro (Decreto Supremo N° 004-2014- MINAGRI, 2014).



Figura 2. Aves guaneras: (a) guanayes adultos en isla Asia, (b) piquero adulto en isla Guañape Norte, (c) pelícano adulto en isla Asia.

Foto (c): Cinthia Irigoien.

3. Monitoreo poblacional de aves marinas

Dentro de las múltiples técnicas de monitoreo biológico de las aves marinas, los conteos poblacionales constituyen una de las herramientas más básicas y fundamentales. Es de relevancia proporcionar estimaciones del tamaño de la población de cada especie presente en una región a través de protocolos donde se presenten métodos de como censar a las aves marinas (Walsh, Halley, Harris, Del Nevo, Sim y Tasker; 1995). Dentro

del contexto de esta tesis un monitoreo poblacional de aves marinas es una revisión secuencial y periódica, a intervalos fijos de tiempo del número de aves dentro de una localidad. El monitoreo tiene que estar necesariamente enmarcado dentro de un protocolo de conteo en donde se detallen los procedimientos, análisis de datos y presentación de resultados.

Un método de monitoreo poblacional es considerado óptimo cuando (a) proporciona un índice preciso de las tendencias demográficas, (b) causa poca perturbación sobre la fauna, (c) es lo suficientemente rápido y (d) es fácilmente transferible a otros observadores (Gaston, Jones y Noble, 1988). Sin embargo, esto dependerá de las condiciones y los recursos disponibles.

A continuación, se describen tres de las cuatro características de un monitoreo poblacional óptimo:

3.1 *Disturbio*

Se define como cualquier actividad o presencia humana que altera el comportamiento normal de los animales. Burger y Gochfeld (1991) definen la tolerancia como la distancia a la que las aves permiten que las personas se acerquen antes de que tengan un cambio visual en su comportamiento. Es decir, antes de que sean perturbadas.

3.2 *Tiempo mínimo*

Es el tiempo que toma recaudar información del número de aves e incluye el tiempo en campo entre el inicio y el final del conteo. (Walsh et al, 1995). Los recuentos nunca deben ser apresurados, esta habilidad de rapidez está relacionada a la práctica y la experiencia, incluida la familiaridad de la zona.

3.3 Precisión

Bibby, C.J. Burgess, N.D. y Hill, D.A (1992) definen la precisión como una medida de cuán cerca está una estimación de la verdadera población. El sesgo ocurre cuando las estimaciones son sistemáticamente más grandes o más pequeñas que el verdadero valor. Es decir, la inexactitud se produce por el sesgo, que es valorado a través de un porcentaje de error.

4. Monitoreo poblacional de aves guaneras

En la actualidad, el método de monitoreo poblacional de aves guaneras oficial es el método planimétrico. Cabe mencionar que el método de drones cada vez está siendo más utilizado a nivel mundial para monitorear aves marinas (Chabot y Bird, 2015a). El método de drones ha sido utilizado dentro de la RNSIIPG en una primera propuesta de monitoreo biológico (Zavalaga, 2015). A continuación la descripción de ambos métodos:

4.1. Método planimétrico

Fue utilizado por primera vez por Forbes (en Murphy 1926); sin embargo, este método fue mejorando de versiones hasta la que hoy existe (Jordán, 1963; Tovar y Cabrera, 2005). En la actualidad, los encargados de realizar los conteos son los guardaislas de AGRORURAL. Esta actividad se realiza el primer día de cada mes, a partir de las 06:00 horas, cuando las condiciones de visibilidad son apropiadas. Consiste en dirigirse a un punto de observación lo suficientemente alto y dependerán de la ubicación de las colonias de aves guaneras y de las observaciones que se realizan diarias. Luego se grafican los contornos que ocupan las colonias de aves guaneras sobre un mapa a escala de la isla o punta guaneras. Se debe indicar para cada especie las zonas ocupadas por

aves en proceso reproductivo o no reproductivo. El área de ocupación se calculaba antiguamente con un planímetro mecánico o digital (aparato de medición utilizado para el cálculo de áreas irregulares) (Tovar y Galarza, 1983; Duffy, 1994); pero hoy en día los guardaislas calculan el área copiando el contorno de las colonias dibujadas en el mapa sobre una mica transparente. Una vez, elaborado el gráfico se introduce el mapa en una mica y se copian las siluetas de las colonias. A continuación, se introduce en la mica un papel milimetrado standard para contar el número de mm^2 cuadrados que tienen cada colonia. El número total de mm^2 es el área sobre el mapa, la cual es convertida a m^2 por medio de un factor de conversión calculado para cada isla obtenida a través de cálculos de escala y topografía del terreno de esa localidad y tabulada. Finalmente, el área de la colonia se multiplica por la densidad de aves en la colonia. La densidad depende de la condición en el ciclo anual de las aves (época reproductiva y no reproductiva) y de las especies (AGRORURAL, 2014) (Tabla 1, Figura 3).

Tabla 1. Número estimado de aves guaneras por m^2 en la colonia dependiendo del estado reproductivo de las mismas.

Especies	Estado Reproductivo	
	Reproductivo	No reproductivo
Guanay	6	10
Piquero	3	5
Pelícano	3	3

Fuente: Adaptado de AGRORURAL (2014). Plan anual de manejo de campaña de extracción de guano de isla – 2014. Perú: Ministerio de Agricultura y Riego. Los mismos valores se reportan en Tovar y Cabrera (2005).

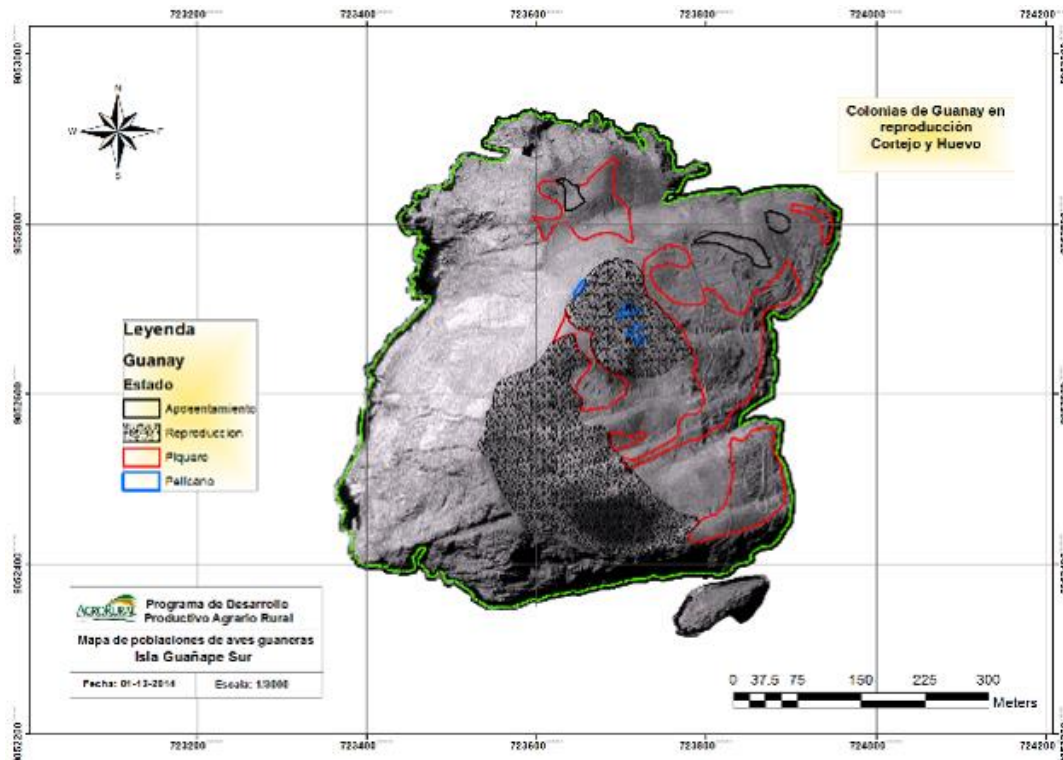


Figura 3. Mapa planimétrico de la Isla Guañape Sur con colonias de guanayes (negro), piquero (rojo) y pelicano (azul) del 01 de diciembre del 2014.

Fuente: AGRORURAL, 2014.

4.2. Método de drones

Dron es el término usado para los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) que surgen al combinar la robótica, visión computarizada y la geomática. Se considera dron a toda nave aérea no tripulada. Si bien los drones surgieron en el ambiente militar como herramienta de vigilancia, en la actualidad se han popularizado para el monitoreo de la fauna (Anderson y Gaston, 2013; Drever, Chabot, O'Hara¹, Thomas, Breault y Millikin, 2015). En la ornitología, se están utilizando para censos y observaciones directas, como es el caso de pingüino papúa (*Pygoscelis papua*) en la península e islas Antárticas (Ratcliffe et al. 2015), gaviotín común (*Sterna hirundo*) en islas Tern en el Parque Nacional Kouchibouguac en Canadá, (Chabot, Craik y Bird, 2015b), fragata común

(*Fregata ariel*) y charrán costero (*Thalasseus bergii*) en islas de una Reserva Marina en Australia (Hodgson et al., 2016b); entre otros.

Los conteos de aves guaneras con drones consisten en dirigirse en una zona alta o libre de obstáculos que permita una adecuada conexión entre el dron y el Smartphone, ya que la interface wifi permite estar conectados a un rango de 5 Km. De esta manera, se puede obtener información sobre las condiciones del vuelo del dron (altura, distancia, orientación, velocidad de vuelo) (DJI, s.f). Una vez identificadas las colonias, el dron se eleva en el punto de despegue a una altura definida y luego se dirige por encima de la colonia donde toma una serie de fotografías secuenciales a lo largo de la colonia, en el caso fuera necesario realizar un segundo vuelo, este se realiza paralelo al anterior. El dron guarda las fotografías en una tarjeta SSD para luego ser descargan a un computador (Zavalaga, 2015). Para la cuantificación del número de aves se necesita descargar los softwares Gimp 2.8 e Image J en un computador y luego editar las fotografías a formato dicromático (Hodgson et al., 2018). Finalmente, se halla el número de aves a través de una herramienta que cuantifica el número de pixeles equivalentes a un ave (Zavalaga, 2015; Hurford, 2017).

5. Evaluación de la efectividad de la gestión de un área marina protegida

El manejo adaptativo consiste en un proceso iterativo de toma de decisiones sólida donde la gestión de recursos es mejorada después del seguimiento del sistema, adaptándose y aprendiendo de los resultados evaluados (GESAMP, 1999; Programa de las Naciones Unidas para El Medio Ambiente [PNUMA], 2015). Busca un equilibrio entre adquirir conocimientos para mejorar la gestión en el futuro y lograr el mejor resultado

a corto plazo basado en el conocimiento actual (Allan y Henry, 2009). Esta herramienta de gestión de áreas marino-costeras es uno de los elementos más importantes de la gestión basada en enfoque ecosistémico o EBM (por sus siglas en inglés de Ecosystem Based Management) (Sheperd 2004; PNUMA, 2015). Este elemento se caracteriza por contar con programas de evaluación de la efectividad de las actividades a nivel administrativo, gobernabilidad y actividades que se realizan en las áreas marinas, permitiendo la mejora continua del manejo de las mismas (Olsen et al, 1999; Heileman, 2006).

En esta tesis la evaluación de la efectividad está restringida a la actividad de monitoreo poblacional de aves guaneras, la cual está basada en una serie de experiencias anteriores.

5.1. Evaluación de la efectividad de un monitoreo de aves marinas

Existen varios estudios en otros países en donde se evaluó la efectividad entre métodos de conteos de aves marinas terrestres y aéreos en las últimas dos décadas:

Entre el río Fraser y el delta Skagit, en Canadá, se realizó una comparación de dos métodos de conteo de gansos de nieve (*Anser caerulescens*) utilizando fotografías aéreas tomadas con una avioneta y conteos por observación directa desde tierra, donde además se buscó encontrar los factores de corrección para poder computarizar la data existente. El resultado de este estudio dio que el sesgo fue significativamente mayor cuando las aves son contadas desde tierra que utilizando las fotografías aéreas, siempre y cuando el número de individuos por colonia era > 2000 individuos. (Boyd, 2000).

Se realizó una comparación de conteos del gaviotín común en islas Tern en el Parque Nacional Kouchibouguac en Canadá. La evaluación se realizó entre conteos con tomas

fotográficas de drones y conteos terrestres en donde se evaluó las fuentes de variación y tasas de error, así como la determinación de un coeficiente de confiabilidad que permita estimar el número de nidos y la perturbación causada por drones. Los resultados muestran que el conteo basado en las fotografías recopiladas por los drones fue similar que el conteo terrestre (90-97%) pero con una menor perturbación a la fauna (Chabot et al., 2015b).

El presente año en Australia se ha demostrado que conteos manuales a partir de fotografías tomadas con drones de charrán dorado (*Thalasseus bergii*) fueron más precisos que los conteos terrestres (43%-96%) y que los conteos semiautomáticos a partir de fotografías con drones permiten conocer porcentajes de error a diferencia de los conteos terrestres, demostrando una ventaja del método de drones frente al método terrestre. También se mencionaron perturbaciones observadas a partir de los tipos de conteos (Hodgson et al., 2018).

En isla Peligrosa en la península Antártica se realizó un censo completo de pingüinos (*Pygoscelis spp*). Se estimó conteos a partir de conteos manual individual, conteos individuales de nidos por fotografías panorámicas y conteos por fotografías de drones. El resultado resalta la utilidad de combinar imágenes aéreas (satelitales y a partir de drones) con recuentos terrestres. Por otro lado, la diferencia promedio entre el conteo automático de imágenes de drones y conteos terrestres fue de 0.6% (Borowicz et al., 2018).

Estos estudios permiten identificar variables utilizadas para realizar una evaluación de la efectividad de los monitoreos poblaciones.

III. OBJETIVOS E HIPOTESIS

1. Objetivos

1.1. *Objetivo general*

Evaluar la efectividad de dos métodos de conteo poblacional de aves guaneras como aporte a la gestión sostenible de la RNSIIPG.

1.2. *Objetivos específicos*

- Comparar la efectividad en términos de disturbio, tiempo requerido para la toma de datos y la precisión del número de las aves guaneras entre el método planimétrico y el método de drones.
- Brindar un protocolo de vuelo de drones y de conteo de aves guaneras en base a los resultados de la comparación de la efectividad de los dos métodos de conteo.

2. Hipótesis

2.1. *Hipótesis alternativa*

-El disturbio, el tiempo requerido para la toma de datos y la precisión del conteo de aves guaneras serán diferentes utilizando el método de drones que el método planimétrico; siendo que el primero tendrá mayor efectividad (menor grado de disturbio sobre las aves, el menor tiempo requerido para la toma de datos y mayor precisión del conteo de aves).

2.2. *Hipótesis nula*

-El disturbio, el tiempo requerido para la toma de datos y la precisión del conteo de aves guaneras no serán significativamente distintos entre ambos métodos.

IV. METODOLOGÍA

1. Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en 11 localidades de la costa peruana que comprenden diez islas y una punta guanera perteneciente a la RNSIIPG. Es importante destacar que dentro de las 33 islas y puntas guaneras que conforman la RNSIIPG, 13 de estas localidades son las de mayor uso y presencia de las tres especies de aves guaneras (Zavalaga, 2015, SERNANP, 2016). En total, estas localidades fueron visitadas en 17 oportunidades entre agosto del 2016 y mayo 2017 (Tabla 2, Figura 4). Parte de este periodo, las condiciones oceanográficas para la costa peruana fueron anómala, con temperaturas superficiales del mar por arriba del promedio, particularmente en el verano de 2016-2017 (Estudio Nacional del Fenómeno del Niño. [ENFEN], 2017). En esta época del año se declaró El Niño costero con consecuencias ecológicas que pudieron tener efectos adversos en las aves guaneras, como la falta de reproducción o bajo éxito reproductivo como ocurrió en otros años (Ávila, 1953). Así, entre enero y marzo 2017, las anomalías en la temperatura superficial del mar alcanzaron hasta los +2°C en la costa centro-norte del Perú, restableciéndose las condiciones normales a partir de abril 2017 (Instituto del Mar del Perú. [IMARPE], 2017). Por tal motivo, es importante precisar que parte de los resultados de este trabajo se enmarcan bajo estas condiciones y se deben interpretar con cautela.

En las visitas a las islas y puntas, y como parte de otras investigaciones que se realizaron en simultáneo a este trabajo, se observaron fallas reproductivas y abandono de las aves guaneras en algunas localidades como Guañape Norte, Pescadores, Chincha Sur, Chincha Centro y Macabí, particularmente piqueros.

Tabla 2. Ubicación, área y tipo de topografía de las 11 localidades de estudio visitadas entre agosto 2016 y mayo 2017. Se muestra también el número y fechas y horas de visitas por cada localidad.

Área de Estudio	Código	Coordenadas ^a		Área ^b (ha)	Topografía ^c	Visitas ^d		
		Sur	Oeste			Número	Fecha	Hora de inicio
Isla Lobos de Tierra	LT	06°26'12" S	80°51'16" O	1570.1	Plana	1	28/08/2016	08:00
Isla Macabí	MC	07°48'47" S	79°29'57" O	6.5	Plana	1	05/05/2017	06:20
Isla Guañape Norte	GN	08°32'08" S	78°57'44" O	35	Inclinada	3	05/09/2016 / 06/11/2016 / 01/05/2017	06:40 / 14:00 / 07.50
Isla Guañape Sur	GS	08°33'58" S	78°57'56" O	24.0	Inclinada	1	05/09/2016	09:00
Isla Mazorca	MZ	11°23'30" S	77°45'00" O	11.8	Inclinada	2	16/12/2016 / 10/02/2017	13:00 / 18:00
Isla Pescadores	PE	11°64'30" S	77°15'53" O	16.2	Moderada	2	10/09/2016 / 10/11/2016	07:10 / 05:20
Isla Asia	AS	12°47'40" S	76°37'00" O	58.3	Moderada	2	29/10/2016 / 31/10/2016	11:30 / 07:00
Isla Chincha Centro	CC	13°23'56" S	76°38'35" O	54.1	Plana	1	12/12/2016	07:00
Isla Chincha Sur	CS	13°39'15" S	76°24'05" O	22.9	Plana	1	13/12/2016	09:00
Isla Ballestas Norte	BN	13°43'56" S	76°23'51" O	12.1	Moderada	1	13/08/2016	09:50
Punta San Juan	SJ	15°22'11" S	75°11'28" O	54.8	Plana	2	10/08/2016 / 01/11/2016	07:10 / 05:30

^aRegistradas con GPS.

^bAdaptado de AGRORURAL. Cartilla de monitoreo de aves guaneras. Perú: Ministerio de Agricultura y Riego.

^cLa topografía de las islas o puntas se basó en la irregularidad del terreno y pendientes.

^dLas visitas se realizaron en el mismo horario para ambos métodos, es decir se ejecutaron simultáneamente.

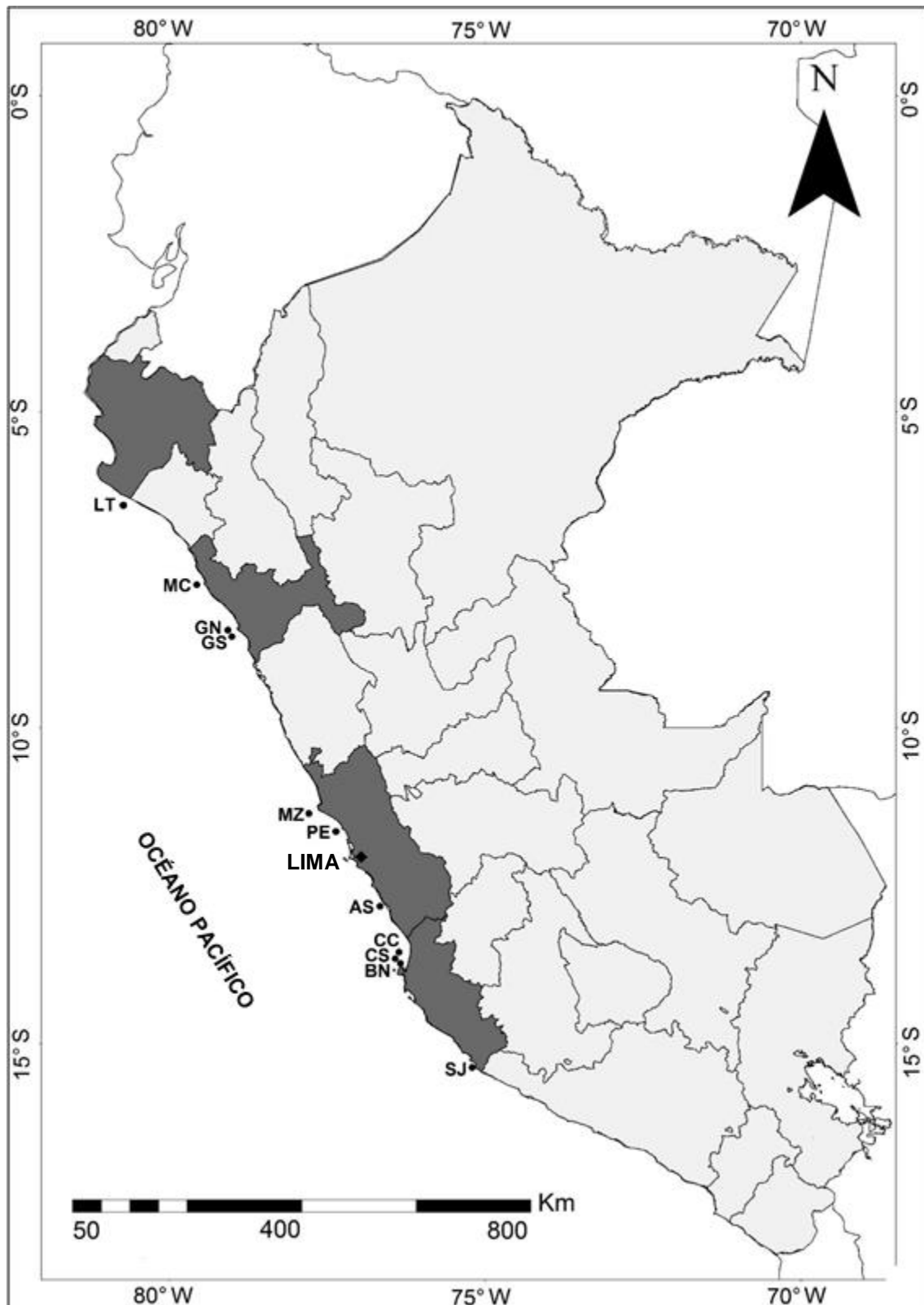


Figura 4. Ubicación de las 11 localidades seleccionadas como área de estudio a lo largo del litoral peruano: LT = Is. Lobos de Tierra, MC = Is. Macabí, GN = Is. Guañape Norte, GS = Is. Guañape Sur, MZ = Is. Mazorca, PE = Is. Pescadores, AS = Is. Asia, CC = Is. Chincha Centro, CS = Is. Chincha Sur, BN = Is. Ballestas Norte, SJ = Is. Punta San Juan.

2. Procedimiento de los métodos de conteo de aves guaneras

El método planimétrico y el método de drones fueron realizados simultáneamente con el fin de que los resultados puedan ser comparables (ver Tabla 2). Si bien hay diferentes horarios en los 17 recorridos realizados y que podría afectar el número de aves, este trabajo no consiste en determinar, en términos absolutos, el número de aves sino más bien en una comparación en simultáneo de dos métodos. También, la recolección de datos (en términos de perturbación y tiempo de toma de datos) fue realizada paralelamente, mientras se realizaban ambos métodos de conteo.

Cabe recalcar que el método planimétrico y método de drones fueron realizados por un equipo de trabajo. El trabajo en gabinete se realizó por un diagramador (guardaisla) para el método planimétrico y un piloto del dron acreditado (asesor) en el caso del método de drones. Mientras que el trabajo en gabinete fue realizado por una misma persona para ambos métodos. Es decir, el cálculo del número de aves fue realizado por el analizador de datos (yo). El cálculo del número de aves se realizó a través de dos softwares por el mismo analizador de datos (yo).

Los gráficos del contorno de las colonias fueron realizados por diferentes guardaislas de AGRORURAL, un guardaisla por localidad visitada. Es importante mencionar que un solo guardaisla no pudo haber hecho el conteo de aves guaneras para cada localidad, debido a que el conteo que se realiza por AGRORURAL se lleva a cabo el primer día de cada mes en cada localidad de la RNSIIPG para evitar conteos repetidos de las aves. Este método ha sido estandarizado por personal de AGRORURAL y SERNANP. Asimismo, los guardaislas reciben capacitaciones constantes de ambas instituciones. Por lo tanto, en este caso el procedimiento del método planimétrico y el método en sí son inseparables.

El error que se generó en el conteo por el diagramador es inherente al método por lo expuesto anteriormente. Si bien es recomendable que los métodos de conteo de aves se realicen por un solo observador (diagramador en este caso), existen varias metodologías que utilizan múltiples observadores para el conteo en aves acuáticas (Steinkamp, Peterjohn, Byrd, Carter y Lowe, 2003).

Para poder registrar la perturbación y tiempo de toma de datos fue necesario contar con un recolector de datos (yo) y un asistente. Ambas personas fueron las mismas para cada visita realizada.

A continuación, la descripción detallada del procedimiento de ambos métodos:

2.1. Descripción del método planimétrico

Para la *etapa de campo* se realizó el procedimiento descrito en la *Figura 5*, técnica utilizada por AGRORURAL. Los gráficos de las subcolonias (ver 4.3.3 para definición de subcolonia) fueron elaborados por los guardaislas de AGRORURAL, haciendo uso de binoculares 10x50 (Pentax) u observaciones a simple vista. En 11 de los 17 recorridos (ver 4.3.2 para definición de recorrido) los conteos de aves se iniciaron entre las 5:20 - 8:00 horas y en el resto se ejecutaron entre las 8:00 y 14:00 horas (Tabla 2). El punto de avistamiento fue seleccionado porque proporcionaba la posición más óptima. El primer punto de avistamiento por lo general fue el faro de la isla o un punto elevado. En la mayoría de los casos fue necesario ir a más de un punto de avistamiento para visualizar por completo la forma y tamaño de las subcolonias. En algunas localidades no fue posible visualizar por completo a las subcolonias de aves por lo que se circunnavegó las islas en botes (Macabí, Guañape Norte, Mazorca, Pescadores, Asia y Ballesta Norte). La selección de las subcolonias para el dibujo y subsecuente análisis de datos dependió

del estado reproductivo en que se encontraran las aves y la distribución que tuvieron en la localidad.

El trabajo de *gabinete* consistió en el cálculo del número de aves siguiendo el método planimétrico (Jordán, 1963; Tovar et al, 1987) modificado, el cual consiste en estimar el número de aves de cada subcolonia usando mapas a escala (Conversaciones personales con AGRORURAL, *Figura 5*). Es preciso mencionar que, si bien los gráficos fueron realizados por diferentes guardaislas, el cálculo del número de aves fue realizado por el recolector de datos (yo) a partir de los contornos graficados en el mapa planimétrico de cada localidad visitada.

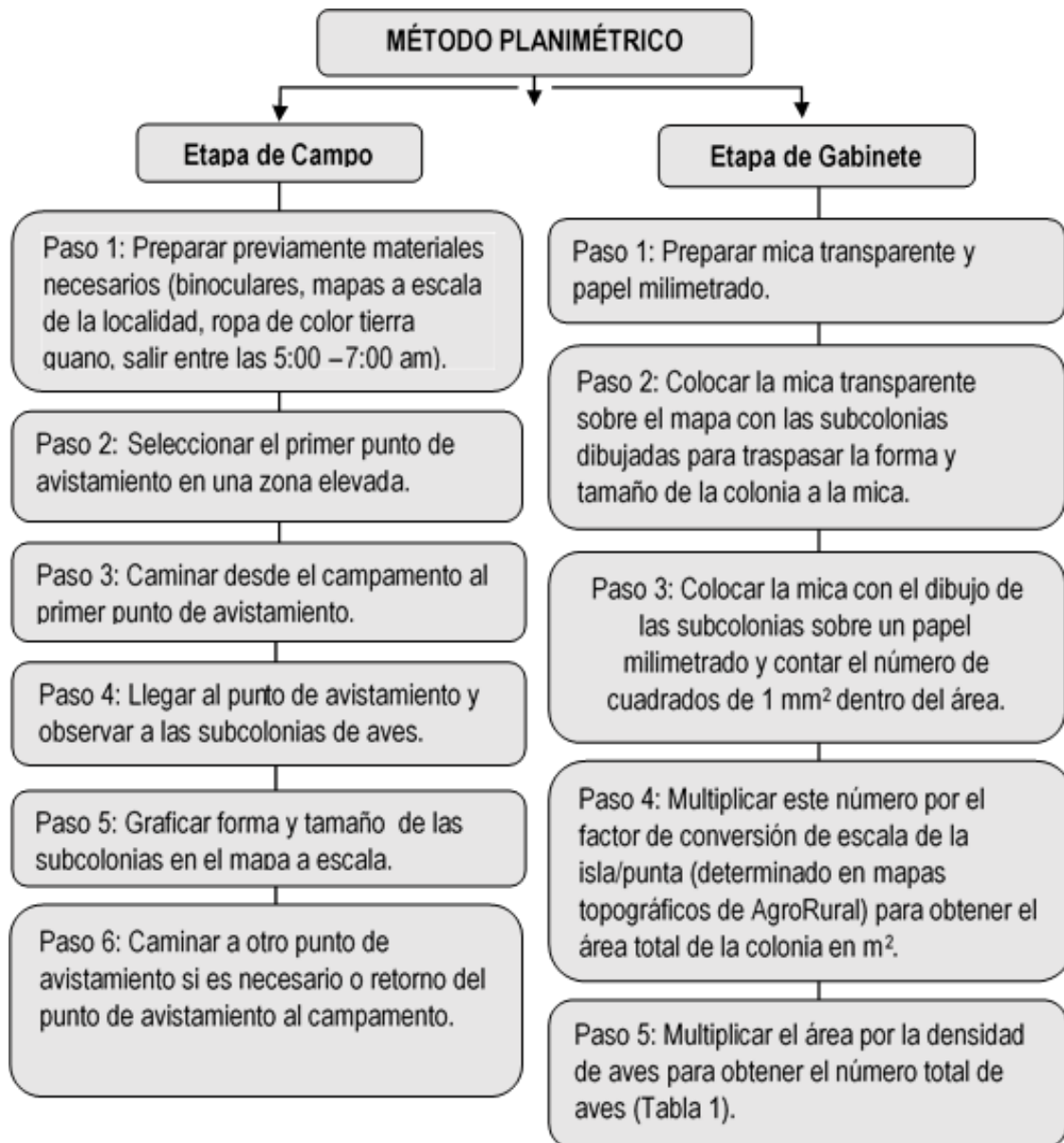


Figura 5. Diagrama del procedimiento del método planimétrico: etapa de campo y etapa de gabinete; realizado por los guardaíslas.

Fuente: Adaptado de mapas y fichas de conteo elaborados por AGRORURAL.

2.2. Descripción del Método de drones

Para la *etapa de campo*, el procedimiento que se utilizó se describe en la *Figura 7*. El punto de despegue del dron generalmente fue el primer punto de observación usado por los guardaislas con el método planimétrico. La hora de los vuelos vario según la localidad entre 05:20 y 14:00 horas (Tabla 2). Para realizar los vuelos, se empleó una plataforma de madera de un m² para el despegue y aterrizaje. Los vuelos se realizaron en trayectos horizontales desde el punto de despegue a lo largo de la colonia. En el caso que la colonia era extensa se realizó un segundo trayecto de vuelo paralelo al primero, pero en dirección opuesta. Las subcolonias se fotografiaron usando un cuadricóptero modelo Phantom 3 Professional (marca DJI) de color blanco (*Figura 6*), el cual fue volado a alturas entre 20 m y 100 m sobre el nivel de la subcolonia (moda=50, n=28 subcolonias). La altura de las fotografías dependió del tamaño de la colonia (más alto mientras más grandes fueron las subcolonias). Las imágenes se capturaron utilizando una cámara HD Sony EXMOR ½.3" (resolución: 12,4 MP, lente: f/2.8, video 4K, con campo de visión 94°) acoplada al dron en un estabilizador en movimiento (jibal) y GPS GLONASS (error < 3 m). El tiempo total de vuelo para cada subcolonia varió entre 02 a 19 minutos. Es importante mencionar que la parte frontal de la cámara estaba mirando hacia abajo. El número de fotografías dependió del tamaño de la subcolonia. Con este método no fue necesario utilizar botes, ni otros puntos de vuelo del dron. Los vuelos fueron realizados de acuerdo a la regulación local y realizados por un piloto con licencia. La *etapa de gabinete* consistió en el cálculo del número de aves siguiendo un método semiautomático (Chabot et al., 2015b; Hodgson et al., 2016b). Este método consiste en estimar el número de aves de cada subcolonia fotografiada utilizando programas de computación de fotografías Gimp 2.8 e Image J (*Figura 7*). (Hurford, 2017). Se utilizaron

las fotografías que se consideraron de mayor nitidez y que el número de fotografías que componían una subcolonia no supero las tres unidades. La selección y cálculo del número de aves también fue realizado por el recolector de datos (yo).



Figura 6. Dron cuadricóptero Modelo Phantom 3 Professional.

Fuente: Dà-Jiāng Innovations (DJI), 2018.

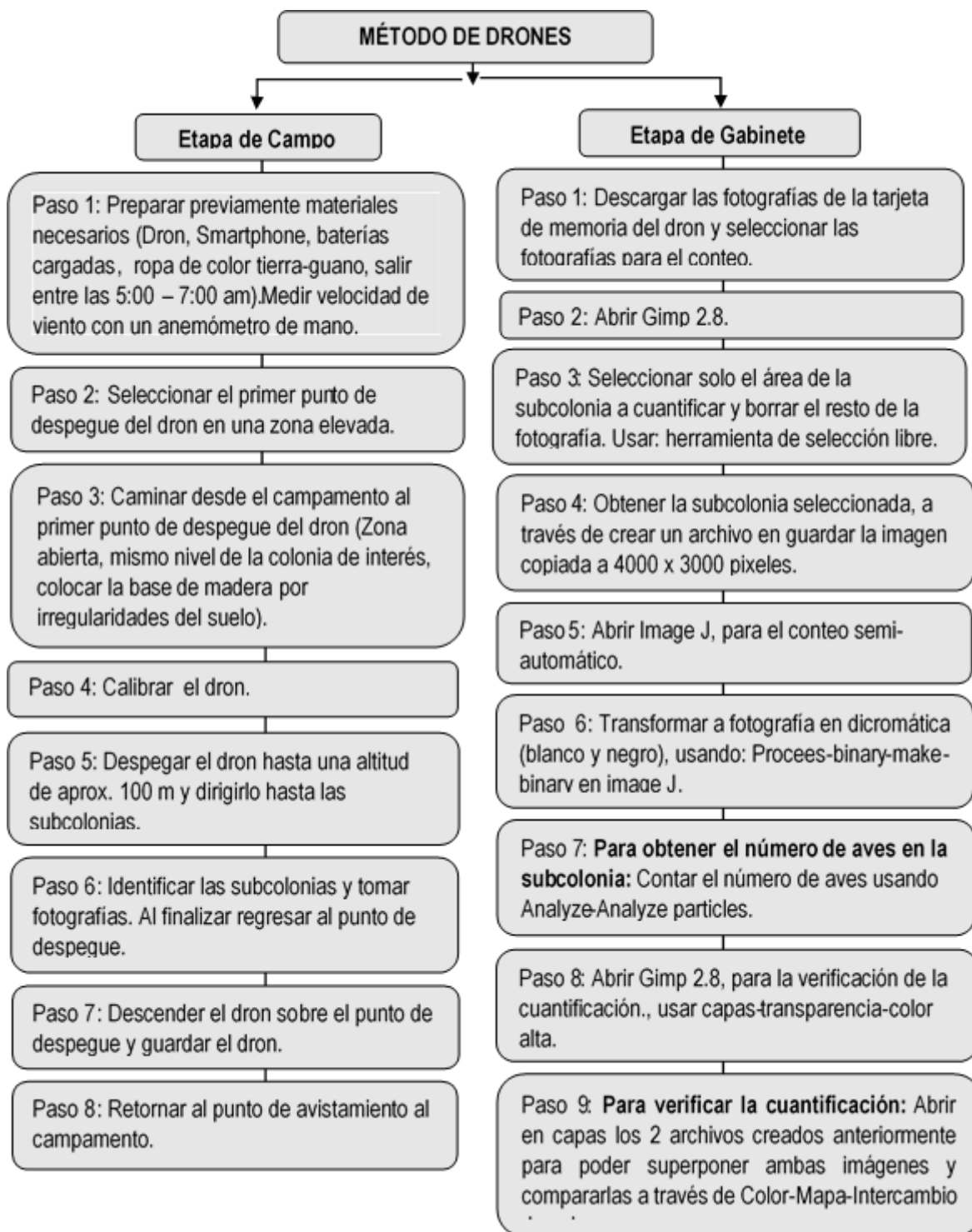


Figura 7. Diagrama descriptivo del procedimiento del método de drones: etapa de campo y etapa; realizado por el piloto del dron.

Fuente: Adaptado de Zavalaga (2015). Informe Técnico Final: Inicio y cierre de campaña de extracción del guano.

3. Diseño de la Investigación

Esta investigación consiste en comparar la efectividad de dos métodos de conteo de aves guaneras: un método tradicional llamado planimétrico y un método más moderno en base a fotografías aéreas tomadas con drones. Las comparaciones se midieron con tres variables: disturbio sobre las aves, tiempo requerido para la toma de datos de conteo y precisión de conteo.

El tipo de investigación que se realizó fue no experimental y descriptiva, la primera porque no se manipularon las variables y la recolección de datos fue realizada en campo (en un contexto natural); y descriptiva porque se definió cuáles son las variables.

El enfoque de la investigación fue mixto (cualitativo y cuantitativo), en virtud de que ambos enfoques que lo caracterizan enriquecieron la investigación. El enfoque cuantitativo se aplicó al determinar resultados numéricos y su análisis estadístico; mientras que el enfoque cualitativo se utilizó al recolectar datos sin medición numérica; tales como la reacción de las aves ante el disturbio (si se asustaron o no).

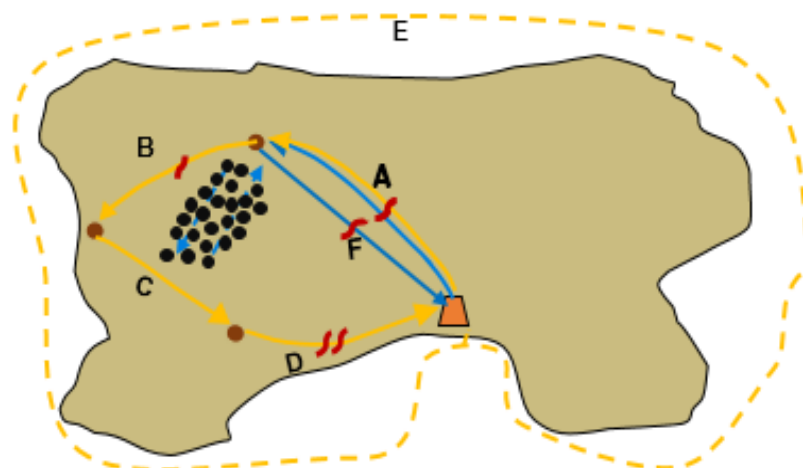
4. Diseño muestral

Para poder realizar la toma de datos, primero se definieron las tres unidades muestrales para las variables evaluadas:

4.1 Tramo

La unidad muestral para el disturbio fue el tramo. Si bien se transitaron 59 tramos con el método planimétrico y 33 tramos con el método de drones, se considera el mismo número de tramos para ambos métodos por visita para que sean comparables (en total fueron *73 tramos procedentes* de las 17 visitas a las 11 localidades). Se define tramo al

trayecto de un punto de avistamiento o despegue del dron hacia otro punto, incluyendo el periodo de ejecución del dibujo (método planimétrico) o vuelo del dron (método de drones), el cual incluye cambio de batería y la calibración del dron. También se consideró el campamento del guardaisla como el primer y último punto de avistamiento. Para el método planimétrico, los tramos podían ser transitados caminando o circunnavegando, mientras que en el método de drones se transitaron caminando y volando el dron. En los tramos, por lo general el grupo de conteo estaba formado de 4 a 5 personas, es decir, las aves estuvieron sometidas a posibles disturbios por la presencia de personas. Ver *Figura 8*.



LEYENDA

- ▲ Campamento del guardaisla.
- Colonia de aves guaneras.
- Punto de avistamiento/ despegue de vuelo.
- Tramos del método planimétrico (caminando).
- - - Tramos del método planimétrico (circunnavegación).
- Tramos del método drones (caminando).
- Tramos del método drones (vuelo de drones).
- Disturbio.

Figura 8. Diagrama de un recorrido del método planimétrico (color amarillo) y del método de drones (color azul).

4.2 Recorrido

La unidad muestral para el tiempo requerido de toma de datos fue el recorrido (en total fueron *17 recorridos* para 11 localidades). Se define como recorrido al trayecto total desde la salida al retorno al campamento. Un recorrido está compuesto por varios tramos. En una localidad se pudo realizar más de un recorrido, pero en diferente día. El criterio para seleccionar el número de recorridos fue determinado por la localidad, el número de aves guaneras y las condiciones reproductivas de las mismas (Zavalaga, 2015).

4.3 Subcolonia

La unidad muestral para la determinación de la precisión del conteo de aves fue la subcolonia (en esta investigación se usaron un total de *28 subcolonias*, obtenidas de los dibujos y fotografías recopiladas realizados en las diferentes localidades). Las subcolonias están definidas como grupos discretos separados uno de otros por una distancia mayor a 20 metros en donde no se encuentran aves (*Figura 9*).



Figura 9. Subcolonia de guanayas reproductivos de Isla Pescadores.

5. Recolección y análisis de datos

La definición de las variables, los equipos y procedimientos utilizados para la evaluación de las tres variables (disturbio, tiempo requerido para la toma de datos y precisión de conteo) fueron:

5.1 *Disturbio*

Es cualquier cambio en el comportamiento de las aves ocasionado por la presencia de las personas o el dron. El disturbio sobre las aves puede ser (movimiento de cabeza, aleteo, correr o volar). Para el caso de esta investigación se define disturbio como la ocurrencia de todos los casos arriba mencionados. Esto se debe a que las aves podrían estar sujetas a estrés sin ninguna señal aparente (Weimerskirch, Prudor y Schull, 2017).

El disturbio ocasionado por los métodos de conteo de aves guaneras, admiten dos condiciones o respuestas posibles que se usaron en esta investigación: perturbación o no perturbación a las aves. Se consideró *perturbación* dentro de un tramo si hubo uno o varios eventos de disturbio. Esto se debió a que los tramos usualmente fueron cortos y los eventos de disturbios fueron concatenados, es decir, un disturbio pudo ocasionar una alerta en otras aves dentro del mismo tramo pero que estuvieron lejos del primer disturbio, de tal forma que los disturbios no fueron independientes dentro de un mismo tramo. El registro de *no perturbación* ocurrió cuando: (a) las aves estuvieron presentes dentro de un tramo ante la presencia de las personas o vuelo del dron, pero siguieron con su comportamiento habitual, (b) no hubo aves en el tramo, (c) no se realizó el tramo en uno de los métodos, a pesar que en el otro sí.

La recolección de datos incluyó todos los tramos necesarios por visita. La presencia o ausencia de perturbación se registró a través de observación directa; sin embargo, la perturbación causada por el dron se observó a través de las imágenes en transmisión

en vivo que mostraba el Smartphone utilizado para pilotear el dron. En la *figura 8*, se muestra un ejemplo de todos los tramos que se deben considerar (seis). En el caso del método planimétrico se anotaron tres eventos de perturbación (no afecta si fueran uno o varios por tramo), mientras que para el caso del método de drones se anotó dos eventos de disturbio perturbación. Es importante resaltar que para fines cuantitativos y comparativos los tramos B, C, D y E (circunnavegación) fueron anotados como de no perturbación para el método de drones, a pesar de que no se caminaron. De igual manera, el tramo F fue anotado como de no perturbación para el método planimétrico y tampoco se caminó (Tabla 3, *Figura 8*).

Tabla 3. Datos sobre la presencia y ausencia de perturbación por tramo en una visita.

Visita	Tramos	Método planimétrico	Método de drones
1	A	1	1
1	B	1	0
1	C	0	0
1	D	1	0
1	E	0	0
1	F	0	1

5.2 Tiempo requerido para la toma de datos

Es el intervalo de tiempo necesario para realizar el conteo de aves en un recorrido dentro de una localidad (desde la partida del campamento hasta el retorno del mismo). Se incluyó también el tiempo que tomó en realizar el gráfico de los contornos de las colonias (para el caso del método planimétrico) y el vuelo del dron con las tomas fotográficas aéreas (para el caso del método de drones) de las aves guaneras.

La toma del tiempo requerido en campo se registró con un cronómetro. En el siguiente ejemplo se observa un recorrido con diferentes tramos caminados (Tabla 4, *Figura 8*).

En el caso del método planimétrico se realizó un recorrido compuesto por los tramos: A, B, C, D, E; para el método de drones los tramos caminados fueron A y F (ida y vuelta a la caseta). Luego de caminar el tramo A, nos posicionamos en el punto de despegue donde se voló el dron hacia la colonia. Cabe resaltar que en algunos casos para el método planimétrico fue necesario realizar un tramo más para circunnavegar la isla guanera en un bote (ej. Tramo: E) con el fin de poder observar y graficar las colonias de aves ubicadas en zonas poco visibles o sin acceso desde tierra.

Tabla 4. Datos sobre el tiempo requerido en un recorrido.

Recorrido	Método planimétrico		Método de drones	
	Tramos caminados	Tiempo (min)	Tramos caminados	Tiempo (min)
1	A, B, C, D, E	45	A, F	20

5.3 Precisión de conteo

La precisión se midió a través del porcentaje de error del conteo de aves por subcolonia obtenida con el método planimétrico y el método de drones. El porcentaje de error del conteo para ambos métodos se obtuvo a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{\text{número de aves obtenido del control} - \text{número de aves con el método a usar}}{\text{número de aves obtenido del control}} \right| \times 100$$

El número de aves obtenido del control se determinó al contar directamente (una por una) en las fotografías tomadas con el dron (imagen digital) todas las aves o nidos presentes en la subcolonia. El conteo directo se realizó con la herramienta “Multipoint” del software Image J, la cual marca cada ave contada, evitando así doble conteo (*Figura 10*). Este procedimiento es el más preciso que se tiene como herramienta de conteo control; sin embargo, requiere de mucho tiempo de análisis (Hodgson et al., 2018).

El número de aves obtenido por ambos métodos ya fue descrito anteriormente (*Figura 5 y Figura 7*) y fueron realizados por el analizador de datos (yo).

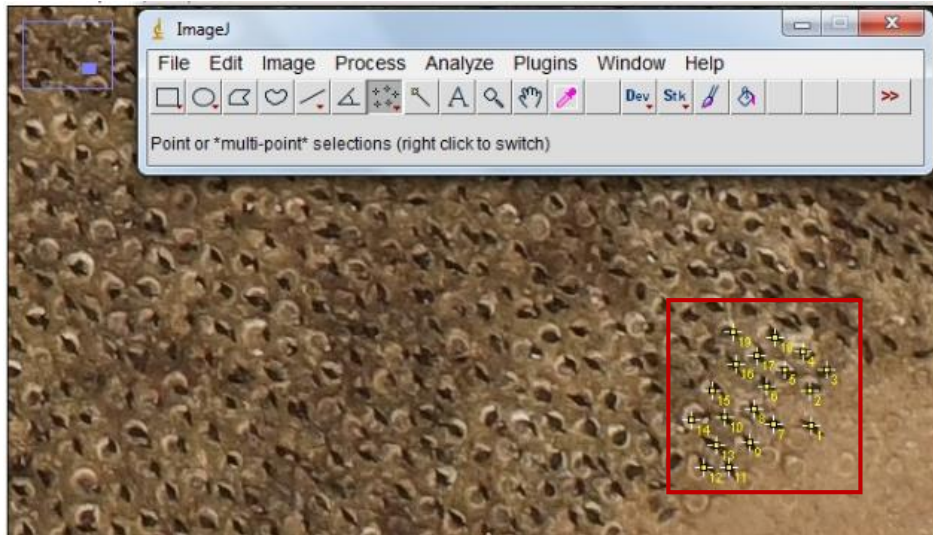


Figura 10. Conteo directo utilizando la herramienta Multipoint del software Image J.

6. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó para cada variable independiente: disturbio, tiempo requerido para toma de datos y precisión de conteo. Todos los análisis se llevaron a cabo con el paquete estadístico SPSS Statistics versión 24 (licencia otorgada por Universidad Científica del Sur). Antes de realizar pruebas estadísticas paramétricas se llevó a cabo un test de homogeneidad de varianzas (Test de Levene) y un test de normalidad (Test Shapiro-Wills, $n < 50$). En caso no existiera homogeneidad de varianzas o normalidad en los datos, éstos se transformaron con diferentes fórmulas matemáticas (log, arcsen, inversa, raíz, etc). Todas las pruebas estadísticas fueron categorizadas como significativas si $p < 0.05$. Los promedios son expresados ± 1 desviación estándar. Los análisis estadísticos variaron según las variables:

6.1 Disturbio

La respuesta medida al efecto del disturbio en las aves fue de tipo binario (perturbación o no perturbación). En este caso se realizó una tabla de contingencia Chi-cuadrado de 2x2 (métodos: planimétrico y drones; respuesta: perturbación o no perturbación).

6.2 Tiempo requerido para la toma de datos

Debido a que los datos para ambos métodos de conteo se recolectaron en simultáneo y dependientes se realizó la prueba T-Student pareado para comprobar si existen diferencias significativas entre ambos métodos.

6.3 Precisión de conteo

Los datos fueron transformados usando la función logarítmica. Se realizó la prueba T-Student pareado para poder comprobar si existen diferencias significativas entre ambos métodos. Adicionalmente se exploró si el porcentaje de error de los conteos con ambos métodos variaron con la especie de aves guaneras (guanay y piquero, se excluyeron los pelícanos debido al bajo número de colonias existentes durante el período de estudio, $n=4$), su condición dentro del ciclo anual (reproductivo y no reproductivo) y sus interacciones. Para esto se usó un ANOVA de tres factores independientes (especie: guanay y piquero; condición: reproductivo y no reproductivo; método de conteo: planimétrico y dron). La respuesta fue siempre el porcentaje de error.

La hipótesis nula para todas las pruebas estadísticas fue rechazada con un nivel de significancia $p < 0.05$.

V. RESULTADOS

1. Comparaciones de la efectividad del conteo entre el método planimétrico y el método de drones

1.1 Disturbio

La ocurrencia de disturbio fue significativamente mayor con el método planimétrico que con el método de drones ($\chi^2 = 26,349$; $p < 0.001$, $gl=1$), con un porcentaje de ocurrencia de disturbio del 73% con el método planimétrico y 30% con el método de drones (Figura 11).

Los tipos de reacción más frecuentes de las aves marinas ante el disturbio fueron: volar = 41.3%, desplazarse en tierra = 34.7% y estado de alerta = 24%. Las aves que resultaron perturbadas fueron: guanay, piquero, pelícano, pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) y gaviotín zarcillo (*Larosterna inca*).

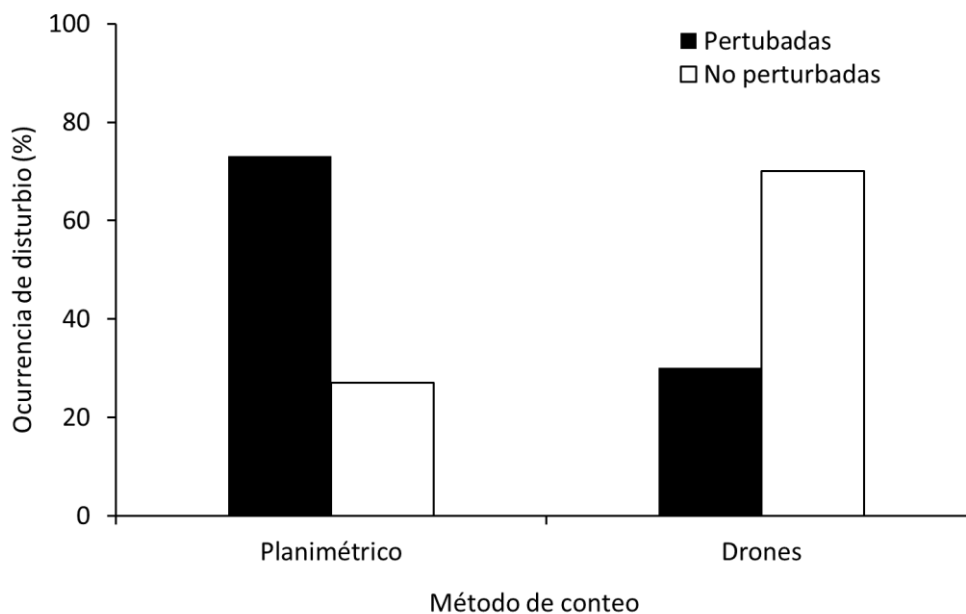


Figura 11. Porcentaje de ocurrencia de disturbio (aves perturbadas y no perturbadas) durante los conteos de aves guaneras ya sea con el método planimétrico o con el método de drones.

1.2 Tiempo requerido para la toma de datos

El test de homogeneidad de varianzas (Levene’s test, $F_{1,32}=1.534$, $p=0.225$, $gl=32$) y el test de normalidad: Shapiro-Wilk’s test (método planimétrico: $W=0.946$, $p=0.397$, $gl=17$; método de drones: $W=0.927$, $p=0.197$, $gl=17$) mostraron que los datos pudieron ser tratados con un test paramétrico.

El tiempo requerido para la toma de datos para el conteo de aves fue significativamente mayor con el método planimétrico (76.88 ± 30.53 min, $n=17$) que con el método de drones (42.24 ± 20.19 min, $n=17$; t-test emparejado: $t = 5.147$, $p<0.0001$, $gl=16$, *Figura 12*).

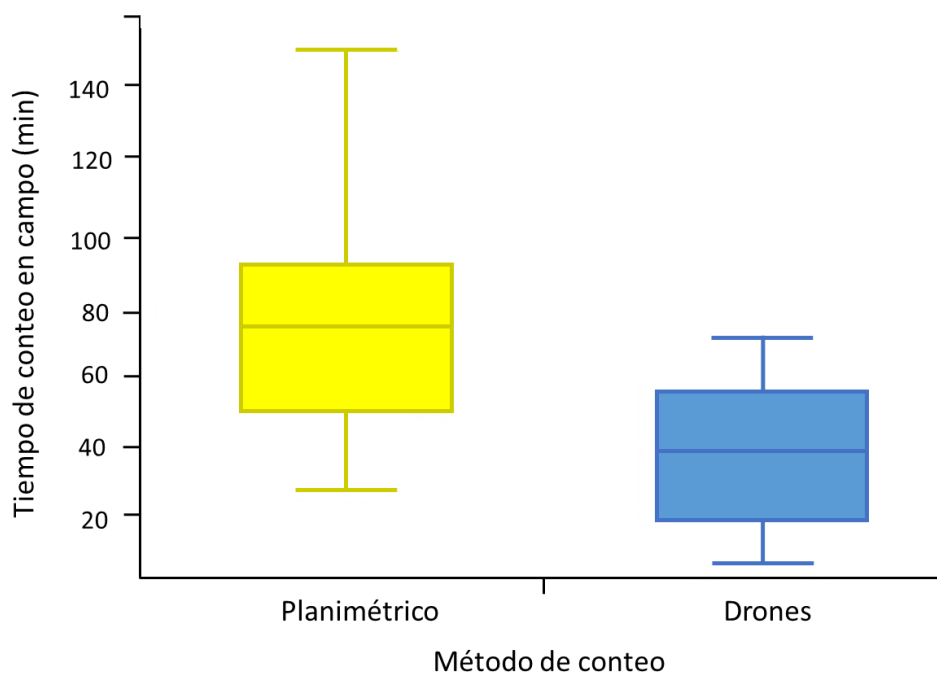


Figura 12. Gráfico de boxplot del tiempo requerido para la toma de datos entre el método planimétrico (amarillo) y el método de drones (azul).

1.3 Precisión de conteo

Las varianzas de los datos del porcentaje de error de conteo no fueron homogéneas (Levene's test, $F_{1,54}=20,929$, $p<0.001$, $gl=54$) y la distribución fue diferente a la normal (método planimétrico: $W=0.835$, $p<0.001$, $gl=28$; método con drones: Shapiro-Wilks: $W=0.959$, $p=0.323$, $gl=28$). Cuando los datos fueron transformados con la función logarítmica, se cumplieron los criterios de homogeneidad de varianzas (Levene's test, $F_{1,54}=4,61$ $p=0.50$, $gl=54$) y normalidad (método planimétrico: $W=0.981$, $p=0.863$, $gl=28$; método de drones: $W=0.927$, $p=0.052$, $gl=28$).

Hubieron diferencias significativas en el error de conteo entre ambos métodos de conteo (t-test emparejado, $t = -4.094$, $p<0.001$, $gl=27$), siendo mayor con el método planimétrico ($55.7 \pm 49.9\%$, $n=28$) que con el método de drones ($15.6 \pm 9.8\%$, $n=28$) (Figura 13).

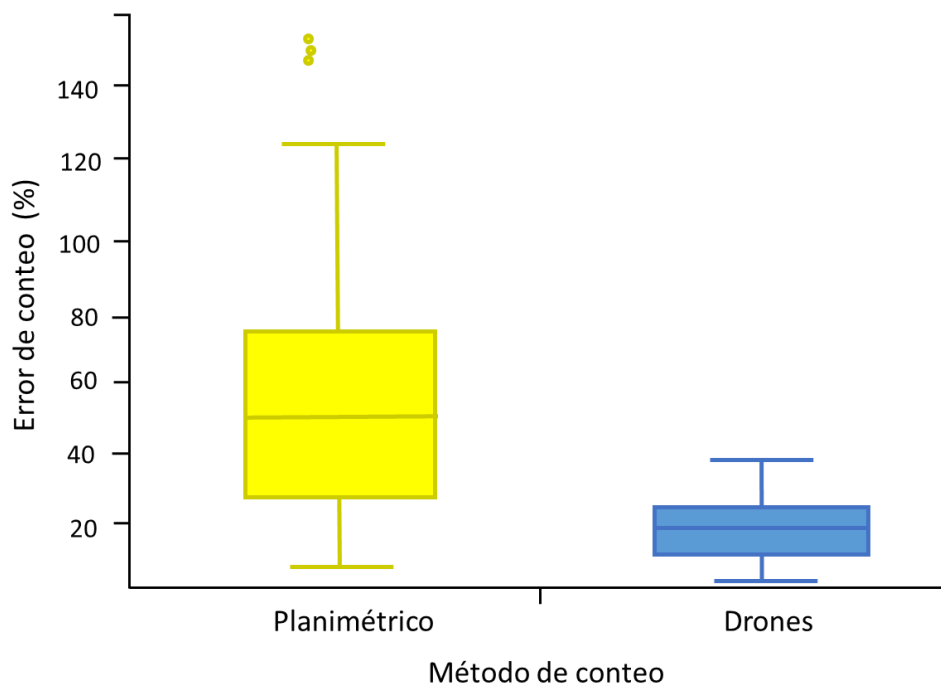


Figura 13. Gráfico de boxplot del porcentaje de error de conteo entre el método planimétrico (amarillo) y el método de drones (azul).

Por otro lado, para evaluar si el error de conteo no solo varía con el método de conteo sino también con la especie de ave (guanay y piquero) y con la condición dentro del ciclo anual (reproductivo y no-reproductivo) se realizó un análisis de varianza de tres factores en donde se encontró diferencias significativas (ANOVA, $F_{7, 55}=3.16, p=0.0079$). Si bien se observó diferencias en las gráficas entre el guanay y piquero (Tabla 5, *Figura 14*) y entre aves reproductivas y no reproductivas (Tabla 5, *Figura 15*), no resultaron ser significativas entre “especie de ave” y “condición dentro del ciclo anual” (Tabla 6). De esta manera queda confirmando que el *método de conteo* que sea usado es la variable que influencia en el porcentaje de error de conteo.

Tabla 5. Porcentaje de error por especie y condición en donde se muestran los promedios y desviaciones estándar de ambos métodos.

Especie-Condición	Planimétrico	Dron
Guanay reproductivo	58.4 ± 60.5	18.5 ± 8.3
Guanay no reproductivo	52.1 ± 26.2	18.7 ± 10.2
Piquero reproductivo	55.3 ± 77.0	14.7 ± 13.1
Piquero no reproductivo	56.9 ± 56.5	12.0 ± 9.5

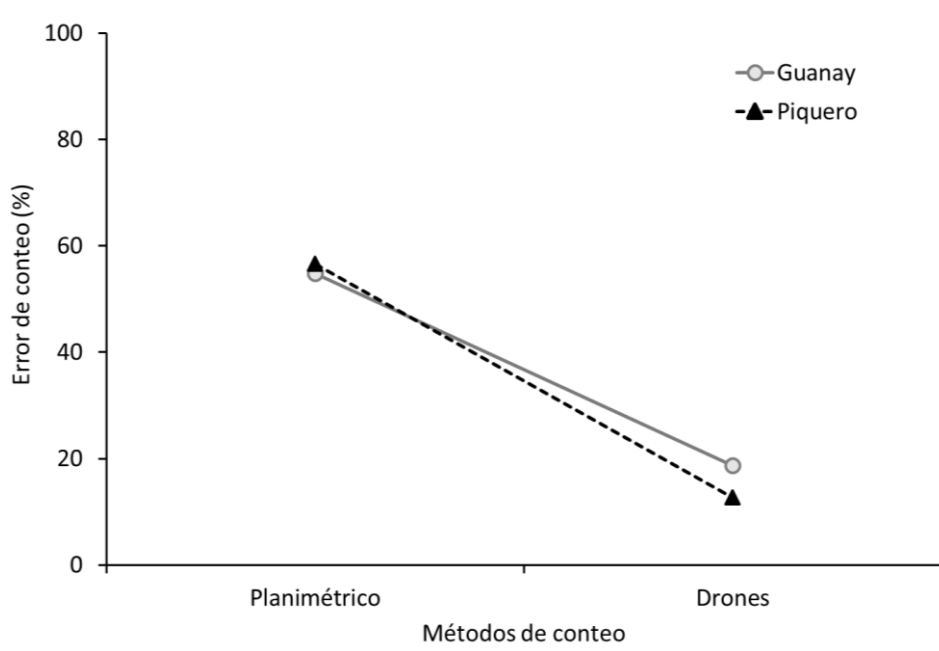


Figura 14. Porcentaje de error de conteo entre el método planimétrico y el método de drones por especie: guanay (círculo) y piquero (triángulo).

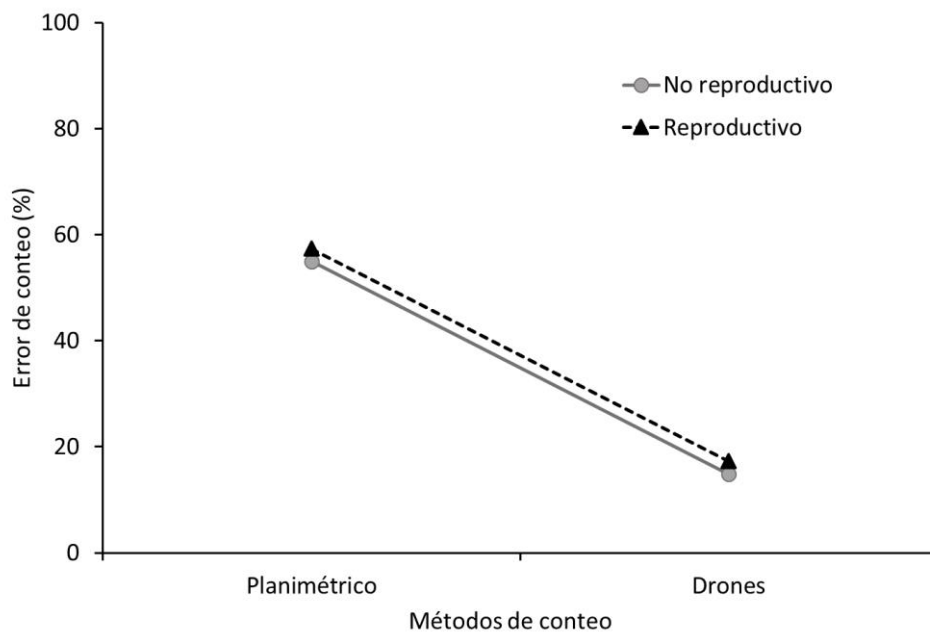


Figura 15. Porcentaje de error de conteo entre el método planimétrico y el método de drones por condición: No reproductivo (círculo), Reproductivo (triángulo).

Tabla 6. Modelo ANOVA de tres factores en donde se muestran los grados de libertad (df), valor estadístico de Fisher (F) y la probabilidad de rechazo o aceptación de la hipótesis nula (P).

Fuente	DF	F	P
Especie de ave	1	0.82	0.369
Condición de las aves	1	0.42	0.521
Método de conteo	1	19.45	<0.001
Especie x condición	1	0.15	0.698
Especie x método	1	0.55	0.464
Condición x método	1	0.69	0.409

$P \geq 0.05$, significativo

VI. DISCUSION

1. Comparación de la efectividad del conteo de aves guaneras entre el método planimétrico y el método de drones.

1.1 *Disturbio*

Este estudio muestra que el disturbio ocasionado con el método planimétrico fue mayor (73% de ocurrencia de disturbio) que con el método de drones (30%). Algo importante de resaltar es que es difícil medir con precisión la respuesta de las aves ante un estímulo externo de disturbio. En esta tesis se optó por cuantificar respuestas observables en las aves ante el disturbio, definidas como vuelo, desplazamiento, aleteo o estado de alerta. Cabe mencionar que existen evidencia que puede haber cambios fisiológicos en las aves, relacionados al estrés, por la presencia humana, que no son detectados a simple vista y que estos pueden afectar su proceso reproductivo (Blackmer, Ackerman y Neviit, 2004; Carey, 2009). Por ejemplo; hay una correlación negativa entre la frecuencia de la presencia de investigadores con el éxito de eclosión de huevos del pelicano pardo (*Pelecanus occidentalis*) y del cormorán de doble cresta (*Phalacrocorax auritus*) (Anderson y Keith, 1980). Asimismo, existen estudios con pingüinos en la Antártida donde se estableció cambios fisiológicos que incluyen alteraciones del latido del corazón (Nimon et al, 1995) y respuestas hormonales (Fowler, 1990). Sin embargo, debido a que en esta tesis se están comparando dos métodos en simultáneo, este posible error se asume que ocurre por igual en ambos métodos y no debería afectar las conclusiones finales.

En esta tesis, los vuelos de drones se hicieron por lo general a altitudes mayores a 50 m sobre el nivel del suelo y no tuvieron impacto sobre las aves. Si bien existen estudios

donde demuestran que pingüinos Adelia presentan cambios en el comportamiento de los aves por la presencia del vuelo del dron (Rummler, Mustafa, Maercker, Peter y Esefeld, 2015), un estudio menciona que algunas especies de aves pueden ser más sensibles que otras frente al vuelo de drones (Borrelle y Fletcher, 2017). Cabe mencionar que nuestra altura promedio de vuelo se encuentra dentro de las alturas sugerida (30 m, 40 m) en otros estudios (Goebel et al., 2015; McEvoy, Hall y McDonald, 2016). Asimismo, la distancia de despegue a las subcolonias nunca fue menor a 50 m, pues puede causar alguna reacción en aves marinas (Rummler et al., 2016).

Por otro lado, puede haber cambios fisiológicos relacionados a estrés que no sean detectados a simple vista y estos difieran entre especies y estado reproductivos (Weimerskirch et al. 2017). En algunos estudios las aves reproductivas con huevos o pichones tienden a quedarse en el nido frente a la presencia de drones (McClelland, Bond, Sardana y Glass, 2016; Brisson-Curadeu et al., 2017), mientras que las aves guaneras no presentan diferencias significativas en el cambio de su comportamiento entre aves reproductivas y no reproductivas.

En algunas ocasiones existió un efecto indirecto de disturbio de los vuelos de drones en las aves guaneras cuando las gaviotas peruanas (*Larus belcheri*) se alertaron ante la presencia del dron y emitieron gritos que ocasionó el disturbio a las aves guaneras. Este efecto indirecto ha sido observado también en gaviotas y águilas (Lambertucci, Shepard y Wilson, 2015; Brisson-Curadeu et al., 2017).

La diferencia en el porcentaje de ocurrencia de disturbio entre ambos métodos en las islas y puntas guaneras radica en que por lo general la planimetría requiere de más tramos transitados y por lo tanto un mayor número de encuentros con las aves. Así, esta

investigación confirma que el uso de los drones disminuye el disturbio de las aves guaneras. Sin embargo, es necesario que se realicen estudios complementarios que permitan conocer las alturas y velocidades adecuadas para el vuelo de drones sobre las aves guaneras y de esta manera poder establecer pautas para la operación de estos artefactos y se minimice su perturbación (Le Maho, 2014; Hodgson y Pin Koh, 2016a).

1.2 Tiempo requerido para la toma de datos

El tiempo en la toma de datos con drones para el conteo de aves se reduce considerablemente en comparación a conteos convencionales debido a que los drones se pueden desplazar a gran velocidad y a distancias de varios kilómetros del punto de despegue lo que dependerá del tipo de dron que se utilice. En este estudio, el método de drones requirió casi la mitad del tiempo para la toma de datos en comparación al método planimétrico por lo que se convierte en una herramienta práctica en el campo. La reducción en tiempo se traduce en que, con los drones, no es necesario hacer largos recorridos por la isla o punta, e incluso hacer uso de botes para circunnavegar la isla en casos en que no se tenga una buena visibilidad de las colonias como ocurrió en algunas islas (Pescadores, Asia y Guañape Norte), lo que representa una ventaja frente a otras metodologías (Brisson-Curadeu et al., 2017). Sin embargo, el tiempo requerido para el procesamiento de datos, con el método de drones fue mayor al utilizar los softwares Gimp e Image J que los cálculos manuales del método planimétrico, (Acosta, comunicación personal). A pesar de que otros estudios mencionan que el tiempo requerido para el procesamiento de datos de manera semiautomática es menor que utilizando conteos tradicionales (Chabot y Francis; 2016).

1.3 Precisión de conteo

Los resultados de esta tesis mostraron que el porcentaje de error del conteo de aves guaneras fue mayor con el método planimétrico (promedio=56%) que con el método de drones (promedio=16%). Estas diferencias en la precisión de conteo entre métodos se deben principalmente a que el método planimétrico introduce algunos errores en sus procesos de cálculos relacionados a la topografía del terreno, precisión de los mapas, densidad de las aves, múltiples diagramadores, experiencia del diagramador, entre otros.

La topografía irregular en algunas islas guaneras, tales como Ballestas Norte, Guañape Norte, Pescadores, Asia, Mazorca y Macabi, es uno de los principales problemas que imposibilita una visibilidad clara y completa de las colonias de aves. Para evitar disturbios en las aves, los guardaislas circunnavegan la isla para tener acceso a una mejor visibilidad de las colonias desde el mar que no pueden ser vistas desde tierra. En otros casos, cuando esto no es posible, los guardaislas tienen que adivinar la extensión de las colonias (extrapolar) en zonas que no pueden ser vistas desde sus puntos de observación (comunicación personal con AGRORURAL). En algunas localidades como Guañape Norte y Lobos de Tierra los mapas no tienen nitidez ni precisión en sus escalas, ocasionando sobreestimaciones de hasta 25 veces el número real (caso de Isla Lobos de Tierra).

En otros casos, al utilizar métodos de conteo tradicional (terrestres) de grandes números de aves, los investigadores utilizan extrapolaciones para cálculos del número total en base a una pequeña porción o área en donde se cuenta el número de aves directamente (Diamond, 2001). Estas extrapolaciones suelen tener errores debido a que la densidad de las aves varía en diferentes segmentos dentro de una misma colonia o entre colonias (Boyd, 2000; Hodgson et al., 2016b). En el caso de la planimetría en islas guaneras, no

existe un consenso sobre la densidad de aves guaneras a utilizar en los cálculos, por ejemplo, para el guanay los valores oscilan entre seis y siete aves/m² (reproductivas) y diez y quince aves/m² (no reproductivas) (Tovar et al., 2005; Figueroa et al., 2017). Inclusive, los guardaislas utilizan sus propios valores en base a observaciones directas, usualmente subjetivas, en el momento del conteo (observ. pers.). Además, cabe resaltar que en el momento de hallar el número de aves de subcolonias de las localidades de Pescadores y Guañape Norte se utilizaron valores de densidades que no eran correspondientes a su condición reproductiva por una errada percepción de los guardaislas que fue contrastada con las fotografías obtenidas.

Un estudio realizado en colonias de Ibis blanco (*Eudocimus albus*) en Estados Unidos obtuvo como resultado que la estimación del número de aves a partir de 18 observaciones diferentes fue 29% en promedio menos que el número real de aves (Frederick, Hylton, Heat y Ruane, 2003). Esto evidencia que la experiencia del diagramador puede ser un factor relevante a considerar en futuros estudios. Sin embargo se debe tener en cuenta que si bien es desafiante realizar conteos de aves con más de un observador (diagramador en nuestro caso), una ventaja es que se evitan conteos repetidos de las aves. Bajo este mismo principio, existen protocolos de monitoreo de captura y recaptura de aves que utilizan múltiples observadores (Johnson, 2015).

Si bien utilizando el método de drones se evitan los inconvenientes mencionados líneas arriba, es importante tener en cuenta ciertas consideraciones a la hora de realizar las tomas fotográficas con el dron en campo, ya que de la calidad de estas fotografías dependerá la precisión del conteo semiautomático. Estudios en otras aves sugieren que para obtener fotografías nítidas se debe de tener en cuenta las condiciones ambientales

del lugar tales como, velocidad de viento, precipitación y luminosidad (Goebel et al., 2015; Ratcliffe et al., 2015), altura del vuelo del dron (Vas, Lescroel, Duriez, Boguszewski, G. y Gremillet 2015; Rummler, 2016; Hodgson et al., 2016b), la capacidad de resolución de la cámara de dron (McEvoy et al., 2016, Hurford, 2017) entre otras. Aunque en esta tesis no se muestra los resultados relacionados a estas variables debido a que va más allá de los objetivos de la investigación, las pruebas de vuelo de drones revelaron que los mejores resultados se obtienen a altitudes de vuelo entre 50 – 80 m sobre las colonias, con tomas al mediodía en días soleados o a primera hora en días nublados (C. Irigoien, comunicación personal).

Una vez obtenidas las fotografías de alta resolución de las colonias, el conteo de las aves se hizo semi-automáticamente con el uso del software Image J (Hurford, 2017). Otros softwares de fotografías han mostrado ser de utilidad en este tipo de estudios tales como Photoshop (Chabot et al., 2015b; Hodgson et al., 2016b) y otros pocos por medio de algoritmos diseñados por los propios investigadores (Buckland, Burt, Rexstad, Mellor, Williams y Woodsward, 2012; Goodship et al., 2015). Para una buena selección de parámetros de identificación de aves en la fotografía hay que tomar en consideración color, forma y tamaño de la existencia de otros elementos en la fotografía que estén en el mismo rango espectral que el de las aves (rocas, casas, sustratos entre otros) (Bajzak y Piatt, 1990). En esta tesis se optó por recortar el área deseada sacando de contexto todos estos inconvenientes como sugieren otros estudios (Chabot et al., 2016).

En esta tesis no se encontraron diferencias significativas entre especies de aves y su condición en el ciclo de vida anual (reproductivo vs no reproductivo). Esto es algo inesperado teniendo en cuenta que la coloración y tamaño de las aves varía y además que sus densidades varían también según su condición reproductiva (Hurford, 2017). Sin

embargo, estas diferencias no fueron suficientes para ser detectadas en los conteos semiautomáticos realizados en este estudio. Si bien los piqueros y pelícanos (blanco y gris) tuvieron un menor contraste con el sustrato que el guanay (negro), se requirió de un mayor tiempo de procesamiento de las fotografías previas al conteo semiautomático. Cabe resaltar que un estudio entre gansos de Canadá (*Branta canadensis*) y gansos de nieve (*Chen caerulescens*) demostró que las aves con menor contraste con el sustrato tuvieron porcentajes menores (< 30%) de confiabilidad de conteo que las aves de mayor contraste (>60%) (Chabot y Bird 2012). Por otro lado, la colonia de pelícanos más grande que se contó (de las 4 que se registraron) tuvo menos de 1600 individuos lo que dificultó y causó un mayor porcentaje de error a la hora de realizar el conteo de manera semiautomática. Existen estudios que sugieren usar una metodología de conteo manual cuando el número de individuos es menor de 3000 (Hurford, 2017).

2. Ventajas y desventajas del método planimétrico y el método de drones

2.1 Método Planimétrico

El método planimétrico como lo conocemos hoy en día se empieza a utilizar a partir de 1960 (Jordán, 1963; Tovar y Cabrera, 2005). Antes de la década de los 60s se utilizaba el método de deyecciones de las aves para la estimación de su número (Hutchinson, 1950), pero este método era muy impreciso y no permitía separar los conteos de las tres especies de aves guaneras (Coker, 1919; Vogt, 1942).

Es importante resaltar que el tipo de monitoreo poblacional de las aves guaneras que se basa en el método planimétrico llevado a cabo por el Estado Peruano es único en el mundo. Se cuenta con una serie de tiempo ininterrumpida del número de aves guaneras

desde 1909, la cual ha sido utilizada por diferentes investigadores para estudios de dinámica poblacional (Jordán y Fuentes, 1966; Paleczny et al., 2015; Barbraud et al, 2017). Asimismo, el Estado Peruano realiza estos conteos mensuales y en forma simultánea en 30 islas y puntas, un monitoreo extremadamente costoso si es que otras instituciones académicas la llevaran a cabo. Por lo tanto, el rol que han cumplido las agencias gubernamentales encargadas de la extracción del guano y la que cumple actualmente AGRORURAL en el monitoreo poblacional es hasta el momento invaluable.

En teoría, el método planimétrico debería ser una herramienta de conteo precisa para las aves guaneras ya que estas tres especies son gregarias, anidan en altas densidades y ocupan grandes extensiones de terreno. Sin embargo, en la realidad de las islas y puntas guaneras del Perú existen diferentes cuellos de botella, discutidos anteriormente, que impiden que el método planimétrico sea lo suficientemente preciso como una herramienta de investigación; aunque este siendo usado como herramienta de monitoreo, manejo y conservación. Estos inconvenientes están relacionados a:

- **Disturbio.** - Para alcanzar los mejores sitios de avistamiento de las colonias de aves guaneras es necesario a veces perturbar a las aves que se encuentran en el camino. Esto puede ocasionar destrucción de los nidos y huevos, abandonos temporales de los nidos y depredación de huevos o pichones pequeños por parte de gaviotas.
- **Tiempo de conteo.** - Se requiere de más tiempo debido a que es necesario realizar un recorrido más largo e inclusive circunnavegar algunas islas.
- **Visibilidad de las colonias.** - No siempre las colonias son completamente visibles para el observador lo que conlleva a posibles errores en la diagramación (forma y tamaño de la colonia). Para poder contar con una mejor visibilidad de las colonias fue

necesario dirigirse a una zona alta de la isla que terminó ocasionando disturbio en las aves.

- Experiencia del diagramador. – Los contornos de las colonias los grafican los guardaislas de AGRORURAL, quienes tienen diferentes niveles de experiencia relacionados al tiempo de trabajo en las islas. Si bien AGRORURAL y SERNANP brindan capacitaciones periódicas (AGRORURAL, 2016), no es suficiente para cálculos precisos del número de aves guaneras y se recomienda utilizar métodos que involucren tomas fotográficas de las colonias (Frederick et al, 2003).
- Precisión del mapa a escala. - Si bien los mapas a escala que se utilizan han mejorado sustancialmente en las últimas décadas, quedan aún algunas islas (Guañape Norte y Lobos de Tierra) que necesitan mapas con mayor nitidez.
- Densidad de las aves. - Para obtener el número de aves se requiere multiplicar el área de la colonia por la densidad de las aves. Este parámetro es extremadamente sensible para el cálculo de aves. Distintos autores reportan valores diferentes de densidad (Tovar et al., 2005; Figueroa et al., 2017). Incluso los guardaislas utilizan sus propios valores por lo que no hay un consenso (comunicación personal con AGRORURAL). La densidad de las aves depende de su condición reproductiva, no reproductiva, variables ambientales, ectoparásitos, entre otros (Forbes, 1914; Tovar et al, 1987, Wille, 1934).
- Error de conteo. - El método planimétrico no reporta valores del porcentaje de error de conteo, es decir, se asume que los números del conteo son absolutos.

Estos cuellos de botella pueden ser subsanables al tener una mayor capacitación de los guardaíslas, introducir nuevas formas de conteo, estandarización de los métodos de conteo y estudios sobre cambios en la densidad de las aves guaneras.

2.2 Método de drones

El método de drones se basa en fotografías de alta resolución que luego son analizadas en software especializados para el conteo de aves (Hurford, 2017). El conteo de aves con drones es una técnica cada vez más utilizada y aceptada mundialmente, ha tenido una gran acogida gracias a la precisión y el bajo grado de disturbio en las aves (Chabot et al., 2015b; Hogdson et al., 2018). Para el caso de las islas y puntas guaneras del Perú permite observar los contornos de las colonias y los estados reproductivos en que se encuentran las aves guaneras con bastante nitidez. Esto debido a que el dron puede tener mejor accesibilidad a zonas de geografía compleja (Chabot et al., 2015a). Una ventaja cuantitativa del conteo de aves guaneras por el método de drones es que permite el cálculo del error de conteo ya que la fotografía contiene el número real de aves (Hogdson et al, 2016b). Asimismo, el conteo de aves en las fotografías no requiere de los valores de densidad de las colonias. Sin embargo, existen todavía algunas desventajas en este método. Si bien los drones hoy en día son accesibles al público en general, pueden ser costosos para algunas entidades públicas. Se necesita también de capacitación para el pilotaje del dron, permisos de vuelo y habilidades de computación para el cálculo final del número de aves (Watts et al., 2010). Estos inconvenientes se pueden sobrellevar con capacitaciones, estudios colaborativos como instituciones académicas y con nuevos métodos combinados que incorporen tanto al método planimétrico como al método de drones (Banco Mundial, 2013). Asimismo, se deben de

proponer protocolos y regular el vuelo del dron (Watts et al., 2010; Hodgson et al., 2016a) para evitar perturbaciones a la fauna marina.

3. Aportes a la gestión sostenible de la RNSIIPG

La RNSIIPG forma parte de “El gran ecosistema de la corriente del Humboldt” (GEMCH), considerado uno de los 66 Grandes Ecosistemas Marinos del mundo (NOAA, *s.f*; PNUMA, 2016). Este gran ecosistema es una zona que representa el 20% aproximadamente de la productividad pesquera mundial y alberga una alta biodiversidad (Salgado, 2015). Para conservar este ecosistema marino costero y proteger su biodiversidad, el Estado Peruano busca fortalecer la gestión sostenible de la RNSIIPG (Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, Ley N°28793-2006; Banco Mundial, 2013; Resolución Ministerial N° 189-2015-MINAM; Resolución Presidencial N°048-2016-SERNANP; Comisión multisectorial de gestión ambiental del medio marino-costero [COMUMA], 2016).

Un conteo de las aves guaneras tecnológicamente actualizado, con menor perturbación a la fauna, y al mismo tiempo práctico, así como el desarrollo de protocolos de vuelo de drones y conteo de aves, y la realización de comparaciones de la efectividad entre métodos actuales y métodos tradicionales de conteo son de especial interés para la protección de la biodiversidad y gestión de un área marino-costera protegida (Vieira y Serafini; 2015, Chabot et al., 2015a) porque se ajusta a diferentes normativas, lineamientos y estrategias desarrolladas en los últimos 10 años:

- La ley N° 28793-2006: “Ley de Protección, Conservación y Repoblamiento de las Islas, Rocas y Puntas Guaneras” la cual resalta la importancia de conocer el tamaño poblacional de las aves guaneras.

- El proyecto GEF-HUMBOLDT "Hacia un Manejo con Enfoque Ecosistémico del Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt (GEMCH)" realizado entre 2011 y 2016 que buscó desarrollar por primera vez el enfoque de gestión adaptativa en una reserva marino costera previamente descrita (punto 2.4.1).
- El proyecto GEF-GUANERAS "Fortalecimiento en la gestión sostenible de la RNSIIPG" financiado por el Banco Mundial busca trabajar bajo el enfoque de gestión adaptativa (Banco Mundial, 2013; Lapeyra, 2013) y dónde el *componente 3: "Evaluación y monitoreo"* recomienda la implementación de monitoreos poblacionales de la fauna marina.
- Los "Lineamientos para el manejo integrado de las zonas marino costeras" (Resolución Ministerial N° 189-2015-MINAM, 2015) que sugiere el establecimiento de acciones estratégicas. Estas acciones buscan fortalecer la gestión ambiental en las zonas marino costeras peruanas, donde el lineamiento estratégico 4.F menciona *"establecer un sistema de monitoreo integrado...a fin de verificar el estado del ambiente, sus recursos naturales y servicios ecosistémicos"*.
- La Comisión multisectorial de gestión ambiental del medio marino-costero (COMUMA) creada con el Decreto Supremo N° 096-2013-PCM, viene desarrollando desde el 2016 el "Plan Estratégico para la Gestión y Manejo de los Ecosistemas Marino Costeros y sus Recursos". En este plan se identificó la problemática sobre la ausencia de monitoreos y mecanismos de evaluación del desempeño (COMUMA, 2016), para lo cual se planea soluciones a través del objetivo estratégico 3: *"Al 2021 se evalúa periódicamente el desempeño de la gestión de los bienes y servicios ecosistémicos..."* y se debe *"Proponer estándares, directivas, protocolos, indicadores y guías de procesos... para el intercambio de información y la toma de decisiones..."*.

- El modelo conceptual del Plan Maestro de la RNSIIPG (2016-2020) menciona que el tamaño poblacional de las aves guaneras es un indicador importante para la gestión sostenible de la RNSIIPG (AGRORURAL, 2014; SERNANP, 2016). Esto debido a que las aves guaneras son elementos de conservación priorizados e interaccionan o responden a diferentes factores de origen antrópico y ambiental de interés para la conservación y manejo de los recursos dentro de la RNSIIPG. Por ejemplo, el tamaño poblacional de las aves guaneras responde al manejo del guano en islas y puntas guaneras, actividades de turismo, actividades de pesquería artesanal, contaminación por residuos sólidos, introducción de especies invasoras, caza furtiva, entre otros (SERNANP, 2016).

VII. CONCLUSIÓN

Al haber realizado una evaluación comparativa entre el método planimétrico y el método de drones, este último resultó ser más eficiente porque ocasionó menos disturbio en las aves, requirió de menor tiempo para la colecta de datos y fue más preciso. A partir de esta evaluación y de los resultados obtenidos, se propone un protocolo de vuelo de drones y conteo semiautomático de aves guaneras para su uso adecuado.

Esta tesis contribuye a brindar información necesaria para conocer la efectividad del monitoreo poblacional de aves guaneras que se utiliza hoy en día por AGRORURAL y SERNANP (método planimétrico). Y a su vez, proponer el uso de una nueva herramienta de monitoreo poblacional de aves guaneras (método con drones), con el fin de aportar para una gestión sostenible de la RNSIIPG.

VIII. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios que permitan obtener mapas de las islas de mejor calidad, principalmente para las localidades de Guañape Norte y Lobos de Tierra.
- Re-evaluar el procedimiento para el cálculo de la densidad de las aves y examinar los factores que la afectan, ya que este valor influye considerablemente en la estimación de la cantidad de aves con el método planimétrico.
- Determinar la altura mínima y velocidades máximas de aproximación del vuelo del dron sobre las tres especies de aves guaneras.
- Desarrollar estudios que permitan conocer el rango de altura más óptimo para obtener fotografías de calidad y a su vez, proponer el uso de herramientas más específicas de acorde a las especies y estados reproductivos para el uso del software Image J.
- Realizar estudios que propongan el uso de otros softwares que permitan cuantificar a las aves de manera automática.
- AGRORURAL y SERNANP, podrían utilizar ambos métodos de monitoreo poblacional hasta lograr adaptarse a la nueva tecnología con drones.
- Implementar capacitaciones sobre el vuelo del dron y uso de softwares al personal de AGRORURAL y SERNANP a través de proyectos colaborativos y fondos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ainley, D. G. y Hyrenbach, K.D. (2009). Top-down and bottom-up factors affecting seabird population trends in the California current system (1985-2006). *Progress in Oceanography*, 84 (3), 242-254. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.10.001>
- Allan, C. y Heny, G. (2009). *Adaptive Environmental Management: A Practitioner's Guide*. Springer Science y Business Media. Recuperado de: https://books.google.com.au/books?id=EMxPZu99B_MC&lpg=PA2&lr&pg=PA2#v=onepage&q&f=false
- Anderson, K. y Gaston, K.J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *The Ecological Society of America*, 11 (3), 138-146. DOI: <https://doi.org/10.1890/120150>
- Anderson, D.W. y Keith, J.O. (1980). The Human Influence on seabird nesting success: conservation implications. *Biological Conservation*, 18 (1), 65-80. DOI: [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(80\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0006-3207(80)90067-1)
- Ávila, E. (1953). El Niño en 1953 y su Relación con las Aves Guaneras: Problemas básicos referentes a la Anchoveta. Lima, Perú. *Boletín de la Compañía Administradora del Guano* 29 (5): 13-19.
- Bajzak, D. y Piatt J.F. (1990). Computer-aided procedure for counting waterfowl on aerial photographs. *Wildlife Society Bulletin*, 18 (2), 125-129.
- Banco Mundial (2013). Perú-Proyecto de Fortalecimiento en la gestión sostenible de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras. Documento de evaluación inicial del proyecto. Informe PAD6.
- Barbraud, C. y Weimerskirch, H. (2006). Antarctic birds breed later in response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103 (16), 6248-6251. DOI: <http://doi.org/10.1073/pnas.0510397103>
- Barbraud, C., Bertrand, A., Bouchon, M., Chaigneau, A., Delord, K., Demarcq, H.,...Bertrand, S. (2017). Density dependence, prey accessibility and prey depletion by fisheries drive Peruvian seabird population dynamics. *Ecography*, 41 (7), 1092-1102. DOI: <http://doi.org/10.1111/ecog.02485>
- Blackmer, A.L., Ackerman, J.T. y Neviit, G.A. (2004). Effects of investigator disturbance on hatching success and nest-site fidelity in a long-lived seabird, Leach's storm-petrel. *Biological Conservation*, 116 (1), 141-148. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00185-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00185-X)

- Bertrand, S. Goya, E. y Silvia, J. (2010). Pescadores y aves marinas compitiendo por el mismo recurso: estrategias de forrajeo, interacciones y consecuencias. Callao, Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 25 (1-2) 39-44.
- Bibby, C.J. Burgess, N.D. y Hill, D.A. (1992). *Bird Census Techniques*. United Kingdom: Editorial Academic Press. (1).
- Bond, A.L., Provencher, J.F., Daoust, P-Y. y Lucas, Z.N. (2014). Plastic ingestion by fulmars and shearwaters at Sable Island, Nova Scotia, Canada. *Marine Pollution Bulletin*, 87 (1-2), 68-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.010>
- Borowicz, A., McDowall P., Youngflesh., C., Sayre-McCord, T., Clucas., G., Herman, R.,...Lynch, H.J. (2018). Multi-modal survey of Adélie penguin mega-colonies reveals the Danger Islands as a seabird hotspot. *Scientific Reports: 8 (3926)* DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22313-w>
- Borrelle, S. y Fletcher, A. (2017). Will drones reduce investigator disturbance to surface-nesting birds? *Marine Ornithology*, 45, (1), 89–94.
- Boyd, S. W. (2000). A comparison of photo counts versus visual estimates for determining the size of Snow Goose flocks. *Journal of Field Ornithology* 71 (4), 686–690. DOI: <https://doi.org/10.1648/0273-8570-71.4.686>
- Brisson-Curadeu, E., Bird, D., Burke, C., Fifield, D. A., Pace, P., Sherley, R. B., y Elliott, K. H. (2017). Seabird species vary in behavioural response to drone census. *Scientific Reports*, 7(17884). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18202-3>
- Buckland, S.T., Burt, M.L., Rexstad. E.A, Mellor, M., Williams, A.E. y Woodward, R. (2012). Aerial surveys of seabirds: the advent of digital methods. *Journal of Applied Ecology. British Ecology and Society*, 49 (4), 960-967. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02150.x>
- Burger, J. y Gochfeld. M. (1991). Human distance and birds: tolerance and response distances of resident and migrant species in India. *Environmental Conservation*, 18 (2), 158-165.
- Carey, M.J. (2009). The effects of investigator disturbance on procellariiform seabirds: a review. *New Zealand Journal of Zoology*, 36 (3), 367-377. DOI: <https://doi.org/10.1080/03014220909510161>
- Chabot, D. y Bird, D.M. (2012). Evaluation of an off-the-shelf Unmanned Aircraft System for Surveying Flocks of Geese. *Waterbirds*, 35 (1), 170-174. DOI: <https://doi.org/10.1675/063.035.0119>

- Chabot, D. y Bird, D. M. (2015a). Wildlife research and management methods in the 21st century: Where do unmanned aircraft fit in? *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3 (4), 137-155. DOI: <https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0021>
- Chabot, D. Craik, SR. y Bird. D.M. (2015b). Population census of a large common tern colony with a small unmanned aircraft. *PLoS ONE*, 10 (4), e0122588. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122588>
- Chabot, D. y Francis C.M. (2016). Computer-automted bird detection and counts in high-resolution aerial images: a review. *Journal Field Ornithologists*, 0 (0), 1- 17. DOI: <https://doi.org/10.1111/jofo. 12171>
- Coker, R. (1919). *Habits and economic relations of the guano birds of Peru*. Proceedings U.S. National Museum, 56 (2298), 449-511.
- Comisión para la conservación de los recursos vivos marinos antárticos [CCAMLR]. (2017). *Informe de la trigésima sexta reunión de la comisión*. Hobart, Australia.
- Comisión multisectorial de gestión ambiental del medio marino-costero [COMUMA]. 2016. *Plan Estratégico para la Gestión y Manejo de los Ecosistemas Marino Costeros y sus Recursos*. Ministerio del Medio Ambiente. Lima, Perú.
- Congreso de la República. (21 de julio del 2006). Ley de Protección y Repoblamiento de las Islas, Rocas y Puntas Guaneras del país. [Ley Nº 28793, 2006]. Diario Oficial El Peruano.
- Croxall, J.P., Butchart, S.H.M., Lascelles, B., Stattersfield, A.J., Sullivan, B., Symes, A. y Taylor, P. (2012). Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation International*, 22 (1), 1-34. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0959270912000020Published>
- Cushman, G. (2014). *Guano and the opening of the Pacific world*. New York, United State. Cambridge University Press.
- Diamond, A.W. (2001). Marine Biodiversity Monitoring. Protocol for Monitoring Seabirds. A report by the marine biodiversity monitoring committee (Athantic maritime ecological science cooperative, huntsman marine science center) to the ecological monitoring and assessment network of environment Canada. University of New Brunswick. Canada.
- Diamond, A.W. y Devlin C.M. (2003). Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: Ecological monitoring on Machias Seal Island. *Environmental Monitoring and Assessment*, 88 (1-3), 153-181. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1025560805788>

- Drever, M.C., Chabot, D., O'Hara, P.D., Thomas, J.D., Breault, A. y Millikin, R.L. (2015). Evaluation of an unmanned rotorcraft to monitor wintering waterbirds and coastal habitats in British Columbia, Canada. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3 (4), 256-267. DOI: <https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0019>
 - Duffy, D.C. (1983a). Environmental uncertainty and commercial fishing: effects on Peruvian guano birds. *Biological Conservation* 26: 227-238. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(83\)90075-7](https://doi.org/10.1016/0006-3207(83)90075-7)
 - Duffy, D.C. (1983b). The foraging ecology of Peruvian seabirds. *Institute of African Ornithology, University of Cape Town*. South Africa, 100, 800-810.
- Duffy D. (1994). The guano islands of Peru: the once and future management of a renewable resource. *Birdlife Conservation Series*, 1, 68-76.
- DJI. (f.s). Phantom 3 Professional. Especificaciones. Recuperado de: <http://www.dji.com/es/phantom-3-pro/info#downloads>
 - Estudio Nacional del Fenómeno del Niño. [ENFEN]. (2017). *Informe Técnico Extraordinario Nº 001-2017/ENFEN El Niño Costero 2017*. Dirección de Hidrología y Navegación de la Marina de Guerra del Perú. Recuperado de: https://www.dhn.mil.pe/nota_tecnica_enfen
 - Figueroa, J., Tomairo, M., Flores, A., Jaime, M., Melgarejo, I., Hernández, W...Ulloa, R. (2017). *Línea Base Biológica de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras: Isla Guañape La Libertad: Caracterización de la fauna silvestres: aves, mamíferos y reptiles*. SERNANP.
 - Forbes, HO. (1914). Puntos Principales del informe presentado al Supremo Gobierno por el ornitólogo H.O. Forbes sobre el estudio de las aves guaneras. *V Memoria del Directorio de la Compañía Administradora del Guano* 57-105.
 - Fowler, G. (1990). Behavioral and hormonal responses of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) to tourism and nest site visitation. *Biological Conservation*, 90 (2), 143-149. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00026-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00026-9)
 - Frederick, P.C., Hylton, B., Heat, J.A. y Ruane, M. (2003). Accuracy and variation in estimates of large numbers of birds by individual observers using an aerial survey simulator. *Journal Field Ornithology*, 74 (3), 281-287.
 - Furness, R. W. y Camphuysen, C. J. (1997). Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science*, 54 (4), 726-737. DOI: <https://doi.org/10.1006/jmsc.1997.0243>

- Furness, R.W. y Tasker, M.L. (2000). Seabird-fishery interactions: quantifying the sensitivity of seabirds to reductions in sandeel abundance and identification of key areas for sensitive seabirds in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 202 (1), 253-264. DOI: [10.3354/meps202253](https://doi.org/10.3354/meps202253)
- Gagne, T.O., Hyrbach, K. D., Hagemann, M.E., y Van Houtan, K.S. (2018). Trophic signatures of seabirds suggest shifts in oceanic ecosystems. *Science Advances*, 4 (2), eaao3946. DOI: [10.1126/sciadv.aao3946](https://doi.org/10.1126/sciadv.aao3946)
- GESAMP [Grupo Mixto de Expertos OMI/FAO/UNESCO-COI/OMM/OMS/OIEA/Naciones Unidas/ PNUMA sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino]. (1999). *La Contribución de la Ciencia al Manejo Costero Integrado*. Informes y Estudios GESAMP (61). Recuperado en: <http://www.fao.org/3/a-w1639s.pdf>
- Gaston, A.J., Jones, I.L. y Noble, D.G. (1988). Monitoring Ancient Murrelet breeding populations. *Colonial Waterbirds. Waterbird Society*, 11(1). 58-66.
- Goebel, M.E., Perryman, W.L., Hinke, J.T, Krause D.J., Hann, N.A, Gardner S. y Leroi, D.J. (2015). A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators. *Polar Biology*, 38 (5), 619-630. DOI [10.1007/s00300-014-1625-4](https://doi.org/10.1007/s00300-014-1625-4)
- Goodship, N.R., Caldow, S., Clough, R., Korda, S., McGovern, S., Rowlands, N. y Rehfish, M. (2015). Survey of Red-throated Divers in the Outer Thames Estuary SPA. *British Birds*, 1 (8), 506- 513.
- Goya, E. (2000). Abundancia de aves guaneras y su relación con la pesquería de la anchoveta peruana de 1953 a 1999. Callao, Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú*. 19(1-2), 125-131.
- Gremillet, D. y Boulinier, T. (2009). Spatial ecology and conservation of seabirds facing global climate change: a review. *Marine Ecology Progress Series*, 391 (1), 121-137. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps08212>
- Gremillet, D. y Charmantier, A. (2010). Shifts in phenotypic plasticity constrain the value of seabirds as ecological indicators of marine ecosystems. *Ecological Applications*, 20 (6), 1498-1503. DOI: <https://doi.org/10.1890/09-1586.1>
- Gregory, R.D., Baillie S.R. y Bashford, R.I. (2004). *Monitoring breeding birds in the United Kingdom*. Pamu, Estonia. Bird Census News 13, 101-112.
- Guillén, V. (1990). Alimentación del pelicano o alcatraz (*Pelecanus thagus*) en la isla Macabí. Lima, Perú. *Boletín de Lima* (67).

- Harrison, P. (1991). *Seabird and identification guide*. New York, United States. Editorial Houghton Mifflin Company Boston.
- Heileman. (2006). *Manual para la medición del progreso y de los efectos directos del manejo integral de costas y Océanos. Manuales y Guías de la COI*. París, Francia. Dossier ICAM, 2, 46. UNESCO.
- Hodgson, J.C. y Pin Koh, L. (2016a). Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. *Current Biology*, 26 (10), R404–R405. DOI: [10.1016/j.cub.2016.04.001](https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.04.001)
- Hodgson, J.C., Baylis, S.M., Mott, R., Herrod, A. y Clarke, R.H. (2016b). Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific Reports. Nature Publishing Group* 6, 22574. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep22574>
- Hodgson, J.C., Mott, R., Baylis, S.M., Pham, T.T., Wotherspoon, S., Kilpstrick, A.D., ...Pin Koh, L. (2018). Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *British Ecology and Society, Methods in Ecology and Evolution*, 9, (5). 1160-1167. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12974>
- Hurford, C. (2017). Improving the Accuracy of bird counts using manual and automated counts in ImageJ: An open-source image processing program. *Springer: The Roles of Remote Sensing in Nature Conservation*. 249-276. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-319-64332-8_13
- Hutchinson, G. (1950). *Survey of contemporary knowledge of biogeochemistry- The Biogeochemistry of vertebrate excretion*. New York, United States. *Bulletin of the American Museum of Natural History* (96) 1-554.
- Instituto del Mar del Perú. [IMARPE]. (2017). Diagnóstico seminal del mar peruano: Semana 03: 15-21/01/2017. Callao, Perú. *Boletín Semanal Oceanográfico y Biológico-Pesquero*, 2 (3). Ministerio de la Producción.
- Jahncke J. (1988). Las poblaciones de aves guaneras y sus relaciones con la abundancia de anchoveta y la ocurrencia de eventos el niño n el mar peruano. Callao, Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 17 (1-2), 1-15.
- Jahncke, J. y Goya, E. (1998). Las dietas del guanay y del piquero peruano como indicadoras de la abundancia y distribución de anchoveta. Callao, Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú* 17 (1-2), 15-33.
- Jahncke, J. y Paz-Soldán. (1998). La biología reproductiva de las aves guaneras y sus relaciones con la disponibilidad de anchoveta. Callao, Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú* 17 (1-2), 55-66.

- Johnson, D.H. (2015). In Defense of Indices: Te Case of Bird Surveys. *The Journal of Wildlife Management*, 72 (4), 857-868. URL: <http://www.jstor.org/stable/25097626>
- Jordán, R. (1963). Resultados de los censos gráficos de las aves guaneras efectuados en noviembre 1960 y enero 1962. Lima, Perú. *Informe Instituto de Recursos del Mar* 12, 1-21.
- Jordán, R. y Fuentes, H. (1966). Las poblaciones de aves guaneras y su situación actual. Callao, Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú* 10.
- Lambertucci , S., Shepard , E. y Wilson, R. (2015). Human-wildlife conflicts in a crowded airspace. *Science*, 348 (6234), 502-504. DOI: [10.1126/science.aaa6743](https://doi.org/10.1126/science.aaa6743)
- Lapeyra, T. (2013). Análisis ambiental del proyecto “Fortalecimiento en la gestión sostenible de la Reserva Nacional del Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras (RNSIIPG)”. *Informe Técnico*.
- Le Maho (2014). Rovers minimize human disturbance in research on wild animals. *Nature Methods* 11 (1), 1242–1244. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmeth.3173>
- Lewison, R., Oro, D., Godley, B.J., Underhill, L., Bearhop, S., Wilson, R.P. y Yorio, P.M. (2012). Research priorities for seabirds: improving conservation and management in the 21st century. *Endangered Species Research*, 17 (2), 93-121. <http://dx.doi.org/10.3354/esr00419>
- McClelland, G.T.W., Bond, A.L., Sardana, A. y Glass, T. (2016). Rapid population estimate of a surface-nesting seabird on a remote island using a low-cost unmanned aerial vehicle. *Marine Ornithology*, 44 (2), 215–220.
- McEvoy, J., Hall, G., y McDonald, P. (2016). Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: disturbance effects and species recognition. *Peer J* 4:e1831. DOI: [10.7717/peerj.1831](https://doi.org/10.7717/peerj.1831).
- Ministerios de Agricultura y Riego. (04 de abril del 2014). Decreto Supremo que aprueba la actualización de la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre legalmente protegidas [DS N° 004-2014-MINAGRI]. Recuperado de: <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretosupremos/2014/ds04-2014-minagri.pdf>
- Ministerio del Ambiente (31 de Diciembre 2009a). Decreto Supremo que aprueba el establecimiento de la Reserva Nacional Sistema Islas, Islotes y Puntas Guaneras. [DS N°24-2009-MINAM]. Recuperado de: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/decreto_supremo_024-2009.pdf

- Ministerio del Ambiente (23 de mayo de 2009). Decreto Supremo que aprueba la Política Nacional del Ambiental. [DS N°012-2009-MINAM]. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/Política-Nacional-del-Ambiente.pdf>
- Ministerio del Ambiente (04 de agosto de 2015). Resolución Ministerial que aprueba los “Lineamientos para el manejo integrado de las zonas marino costeras” [RM N°189-2015-MINAM]. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/129/2017/02/Lineamientos-para-el-Manejo-Integrado-de-las-Zonas-Costeras.pdf>
- Moreno, R., Stowasser, G., McGill R.A.R., Stuart, B. y Phillips R.A. (2016). Assessing the structure and temporal dynamics of seabird communities: the challenge of capturing marine ecosystem complexity. *Journal of Animal Ecology*, 8 (1), 199-212. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12434>
- Murphy R.C. (1926). El ave más valiosa del mundo. Lima, Perú. *Boletín de la compañía administradora del guano*, 2 (10), 515-536.
- Murphy, R.C. (1954). El guano y la pesca de anchoveta. American Museum of Natural History New York., United State. Compañía Administradora del guano. *Informe Oficial*.
- Murphy R.C. (1959). Peru profits from sea fowl. *National Geographic Magazine* 115 (3), 395-413.
- Nimon, A., Schroter, R., y Stonehouse, B. (1995). Heart rate of disturbed penguins. *Nature International Journal of Science*, 374, 415.
- National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA] (s.f). *Large Marine Ecosystems of the world*. Recuperado: <http://lme.edc.uri.edu/index.php/lme-modules>
- Olsen, S., Lowry, K. y Tobey, J. (1999). *Una guía para evaluar el progreso en el manejo costero*. Ecuador. Ed. Ecuador. Ecocostas.
- Ostrom, P.H., Wiley, A.E., James, H.F., Rossman, S., Walker, W.A., Zipkin, E.F. y Chikaraishi, Y. (2017). Broad-scale trophic shift in the pelagic North Pacific revealed by an oceanic seabird. *Proceedings Royal Society*, 284, 20162436. DOI: 10.1098/rspb.2016.2436
- Paleczny, M., Hammill, E., Karpouzi, V. y Pauly, D. (2015). Population Trend of the World’s Monitored Seabirds, 1950-2010. *PLoS ONE* 10 (6): e0129342. DOI:10.1371/journal.pone.0129342

- Parsons, M., Mitchell, I., Butler, A., Ratcliffe, N., Frederiksen, M., Foster, S. y Reid, J.B. (2008). Seabird as indicators of the marine environment. *Journal of Marine Science*, 65 (8), 1520-1526. <https://doi.org/10.1093/icesims/fsn155>
- Passuni, G., Barbraud, C., Chaigneau, A., Demarcq, H., Ledesma, J., Bertrand, A... Bertrand, S. (2016). Seasonality in marine ecosystems: Peruvian seabirds, anchovy, and oceanographic conditions. *Ecological Society of America*, 97 (1), 182-193. <https://doi.org/10.1890/14-1134.1>
- Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural [AGRORURAL]. (2012). Plan Anual De Manejo-Campaña de Extracción de Guano de Isla- 2013. Lima, Perú. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural [AGRORURAL]. (2014). Plan anual de manejo de campaña de extracción de guano de isla – 2014. Lima, Perú. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Programa de las Naciones Unidas para El Medio Ambiente [PNUMA]. (2015). Medidas para la gestión ecosistémica de las zonas marinas y costeras. Guía de Introducción.
- Programa de las Naciones Unidas para El Medio Ambiente [PNUMA]. (2016). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (s.f). Hacia un manejo con enfoque ecosistémico del Gran Ecosistema Marino de la Corriente del Humboldt (GEMCH). Documento de Proyecto del PNUD Gobierno de Chile y Perú.
- Ratcliffe, N., Guihen, D., Robst, J., Crofts, S., Stanworth, A., y Enderleina, P. (2015). A protocol for the aerial survey of penguin colonies using UAVs. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3 (3): 95-101. DOI: <https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0006 95-101>
- Ronconi, R.A., Lascelles, B.G., Langham, G.M., Reid, J.B. y Oro, D. (2012). The role of seabirds in Marine Prtected Area identification, delineation and monitoring: Introduction and synthesis. *Biological Conservation*, 154 (1), 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.02.016>
- Rummler, M-C., Mustafa, O., Maercker, J., Peter H-U y Esefeld, J. (2016). Measuring the influence of unmaned aerial vehicles on Adelie penguins. *Polar Biology*, 39 (7), 1329-1334. DOI: [10.1007/s00300-015-1838-1](https://doi.org/10.1007/s00300-015-1838-1)
- Salgado, H., Gonzáles, C., Sueiro, JC., De la Puente, S., (2015). Informe Final: Estimación del Valor Económico Total (VET) de los Bienes y Servicios Ecosistémicos del Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt (GEMCH).Chile/Perú. *Informe Técnico*.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas [SERNANP] . (29 de febrero del 2016). Resolucion Presidencial que aprueba el Plan Maestro de la Reserva Nacional

Sistema Islas, Islotes y Puntas Guaneras, período 2016-2020 [RP N°048, 2016]. Recuperado de: <http://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-plan-maestro-reserva-nacional-sistema-islas-islotes-puntas>

- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas [SERNANP]. (s.f). Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras. Perú. Recuperado de <http://www.sernanp.gob.pe/sistema-de-islas-islotes-y-puntas-guaneras>
- Shepherd, G. (2004). *The Ecosystem Approach: Five Steps to Implementation*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK. IUCN, (6) 30.
- Simeone, A., Luna-Jorquera, G., Bernal, M., Garthe, S., Sepulveda, F. y Villablanca, R., (2003). *Breeding distribution and abundance of seabirds on islands off north-central Chile*. *Revista Chilena de Historia Natural* (76), 323-333.
- Schulenberg, T., Stotz, D., Lane, D., O Neill, J. y Parker, T. (2010). *Aves del Perú*. Lima: Centro de Ornitología y Biodiversidad COLIBRI.
- Steinkamp, M., Peterjohn, B., Byrd, V., Carter, H., y Lowe, R. (2003): Breeding Season Survey Techniques for Seabirds and Colonial Waterbirds throughout North America. DRAFT.
- Tovar, H. y Cabrera, D. (2005). Conservación y manejo de aves guaneras. Lima, Perú. UNALM.
- Tovar, H. y Galarza, N. (1983). Fluctuaciones Mensuales de las Poblaciones de Aves Guaneras durante El Niño de 1972. Callao, Perú. *Informe Instituto del Mar del Perú* 83: 1-38.
- Tovar, H.V., Guillén y Nakama M.E. (1987). Monthly population size of three guano bird species of Peru, 1953 to 1982. The Peruvian anchovy and its upwelling ecosystem: three decades of change. Callao, Perú. *Instituto del Mar del Perú*. 208-218.
- Tovar, H. y Guillén, V. (1988). Comportamiento alimenticio del piquero (*Sula variegata*), ave guanera peruana. Lima, Perú. *Boletín de Lima* 60: 85-90.
- Vas, E., Lescroel, A., Duriez, O., Boguszewski, G. y Gremillet, D. (2015). Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines. *Biology Letters*, 11 (2), DOI: 10.1098/rsbl.2014.0754.
- Vieira, B. y Serafini, P.P. (2015). Guidelines for managing and monitoring seabirds in the Arvoredo Marine Biological Reserve, Southern Brazil. *Biodiversidade Brasileira*, 6 (1), 174-189.

- Vogt, W., (1942). Aves Guaneras. Informe sobre las aves guaneras por el ornitólogo americano señor William Vogt. Lima-Perú. *Boletín de la Compañía Administradora del Guano*. 18 (2), 3-132.
- Walsh, P.M., Halley, D.J., Harris, M.P., Del Nevo, A., Sim, I.M.W. y Tasker, M.L. (1995). Seabird monitoring handbook for Britain and Ireland. Peterborough. JNCC / RSPB / ITE / Seabird Group.
- Watts, A., Perry, J.H., Burgess, N.A., Wilkinson, B.E.Szantoi, Z., Ifju, P. y Percival, H.F. (2010). Small Unmanned Aircraft Systems for Low-Altitude Aerial Surveys. *Wildlife Management*, 74 (7), 1614-1619. DOI: <https://doi.org/10.2193/2009-425>
- Weimerskirch, H., Prudor, A. y Schull, Q. (2017). Flights of drones over sub-Antartic seabirds show species-and status-specific behavioural and physiological responses. *Polar Biology, Springer Verlag*, 41 (2), 259-266. DOI: [10.1007/s00300-017-2187-z](https://doi.org/10.1007/s00300-017-2187-z)
- Wilcox, C., Van Seville, E. y Hardesty, B.D. (2015). Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive and increasing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (38), 11899-11904. DOI: [10.1073/pnas.1502108112](https://doi.org/10.1073/pnas.1502108112)
- Wille, J. (1934). Aves guaneras. Algunas observaciones entomo-parasitológicas sobre los pajaros guaneras. Lima, Perú. *Boletín de la compañía administradora del guano*, 10 (9).
- Wolfaardt, A. y Phillips, R. (2016). *Guideline census methodologies for albatrosses and petrels*. Agreement on the Conservation of Albatrosses and Petrels. Recuperado de: <http://www.acap.aq/index.php/en/resources/acap-conservation-guidelines>
- Zavalaga, C.B. y Paredes, R. (1999). Foraging behaviour and diet of the guanay cormorant. *South African Journal of Marine Science*, 21 (1), 251-258. DOI: <https://doi.org/10.2989/025776199784125980>
- Zavalaga, C., Dell'Omo, G., Becciu, P., y Yoda, K. (2011). Patterns of GPS tracks suggest nocturnal foraging by incubating Peruvian pelicans (*Pelecanus thagus*). *Plos One* 6: e19966. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019966>
- Zavalaga, C.B. (2015). Índices para el inicio y cierre de las campañas de extracción de guano en la RNSIIPG: Especial atención a los aspectos reproductivos de las tres especies de aves guaneras y considerando como caso de estudio a la isla Guañape Sur. Lima, Perú. Proyecto GEF-Humboldt –UNDP. Inf. téc.

X. ABREVIATURAS

AGRORURAL	Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural.
CCAMLR	Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources. Comisión Multisectorial de Gestión Ambiental del Medio Marino-costero.
COMUMA	Corporación Nacional de Fertilizantes.
CONAFER	Ecosystem Based Management.
EBM	Estudio Nacional del Fenómeno de El Niño.
ENFEN	Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
FONDECYT	Compañía Administradora del Guano.
GAC	Global Environment Facility.
GEF	Gran Ecosistema Marino de la Corriente del Humboldt.
GEMCH	Group of Experts of Scientific Aspects of Marine Environmental Protection.
GESAMP	Instituto del Mar del Perú.
IMARPE	Ministerio Nacional del Ambiente.
MINAM	Ministerio Nacional de Agricultura y Riego.
MINAGRI	National Oceanic and Atmospheric Administration.
NOAA	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
PNUND	Proyecto Especial de Promoción del Aprovechamiento de Abonos provenientes de Aves Marinas.
PROABONOS	Proyecto Fortalecimiento de la Gestión Sostenible de la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras.
GEF GUANERAS	Proyecto Hacia un manejo con enfoque ecosistémico del Gran Ecosistema Marino de la Corriente del Humboldt.
GEF HUMBOLDT	
RNSIIPG	Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras.
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado.

XI. ANEXO : PROTOCOLO DE VUELO DE DRONES Y CONTEO DE AVES GUANERAS

PROTOCOLO DE VUELO DE DRONES Y CONTEO DE AVES GUANERAS

CON UN DRON DJI PHANTOM 3 PROFESIONAL



POR DIANA MINERVA LUNA RODRÍGUEZ

PROTOCOLO DE VUELO DE DRONES Y CONTEO DE AVES GUANERAS

Este protocolo de vuelo de drones y de conteo de aves guaneras por medio de fotografías aéreas es el resultado de múltiples ensayos, pruebas de campo y procedimientos de cuantificación del número de aves desarrollados durante esta tesis. Asimismo, este protocolo surge de la necesidad no solo de actualizar los métodos de conteo de aves guaneras en la RNSIIPG, sino también de hacerlos más precisos, con menor impacto sobre las aves y en un menor tiempo posible. Es importante precisar que el protocolo sirve para el conteo de aves guaneras sobre superficies planas o pampa. No se ha diseñado aún un protocolo para acantilados. Por último, si bien este protocolo se realizó utilizando un dron quadcopter de marca DJI modelo Phantom 3 Professional, su procedimiento pueden ser extrapolados a otros tipos de drones con ligeras variaciones.



VUELO DE DRONES

TRABAJO DE CAMPO

Preparación de equipos:

1. Descargar el aplicativo de DJI GO ubicada en Play Store para Android o App Store para IOS en el Smartphone o Tablet que se utilizará como dispositivo de control de vuelo.
2. Asegurar de que los firmwares del dron, control remoto, dispositivo y baterías estén actualizados. Para esto, buscar en la página web de DJI las actualizaciones.
3. Cargar por completo el control remoto, el Smartphone o Tablet y las baterías del dron antes de salir al campo. Si es posible se debe de contar con varias baterías extra para el dron (mínimo cuatro).
4. Asegurar de que la tarjeta de memoria SD del dron este vacía antes de salir al campo.

Pasos previos a la salida de campo:

1. Salir a campo con mínimo dos personas: el piloto y el asistente.
2. Llevar binoculares, libreta de campo, reloj, y en caso de que el terreno sea irregular llevar también una plataforma plana de despegue y aterrizaje del dron una tabla de triplay (50 cm x 50 cm).
3. Usar ropa de color guano (tonalidades de marrón, gris, negro) para reducir el impacto de disturbio sobre las aves.
4. Seleccionar en un mapa y en conversaciones previas con el guardaisla los posibles puntos de despegue del dron.
5. Es aconsejable usar una mochila para llevar el dron desarmado. Bajo ninguna circunstancia llevar el dron ensamblado desde la casa o campamento hacia el punto de despegue debido a que el terreno usualmente es resbaloso y los investigadores podrían resbalarse y romper el dron.

Recorrido desde el campamento al punto de despegue:

1. Es difícil determinar una hora precisa para el conteo con drones debido a que podría haber condiciones climáticas adversas en el momento del vuelo. Por ejemplo, muy temprano en la mañana podría haber neblina, garúa o vientos intensos. Usualmente, los conteos realizados en este estudio fueron entre 6:00 – 8:00 am, donde hay condiciones de visibilidad y presencia de aves.
2. Bajo ninguna circunstancia volar el dron con vientos mayores a 30 Km/h, con presencia de neblina o garúa. Asimismo, no es aconsejable volar el dron muy temprano con cielo despejado y alto brillo solar debido a que las aves proyectan una sombra extensa que interfiere con los conteos. Así, es preferible volar el dron antes de la partida de las aves en un día nublado y con poco viento.
3. En caso sea necesario, caminar desde el campamento al primer punto de despegue en compañía de los guardaislas. Escoger preferencialmente un sendero pre establecido con el fin de evitar a las aves. En otros casos el dron se puede volar desde zonas aledañas a la casa de los guardaislas.
4. Recorrer el sendero o ruta hasta el punto de despegue lentamente cuando se encuentren aves en las proximidades. El punto de despegue del dron debe preferentemente encontrarse en una zona alta, libre de obstáculos para tener un mejor control, visión y señal de comunicación.

Ensamblaje y calibración

1. Una vez en el punto de despegue, ensamblar el dron:
 - a. Colocar hélices: asegurar de que giren en la dirección correcta según indicaciones y ajustarlas.
 - b. Colocar batería.
 - c. Remover seguro de la cámara.
2. Calibrar el giroscopio (sistema de navegación) del dron:
 - a. Estar alejado de cualquier fuente electromagnética (hierro, cables eléctricos, etc.). El sistema de alerta del dron indicará si existen estos problemas.
 - b. Alzar el dron con las manos sobre la cabeza y rotar el dron sobre su eje en sentido anti horario dos o tres veces hasta que la indicación de calibrado esta lista.
 - c. Colocar el dron con las manos extendidas 90° con la parte delantera del dron apuntando hacia el piso, en esta posición rotar el dron sobre su eje en sentido anti horario dos o tres veces hasta que la indicación de calibrado esta lista.
 - e. En caso de falla de calibración repetir los pasos *a-d*. Si hay una fuente de interferencia electromagnética moverse del lugar y calibrar en otro sitio.

- d. Colocar el dron en posición normal sobre la plataforma de despegue.

Despegue, vuelo y aterrizaje

1. Elevar el dron sobre el punto de despegue a alturas sobre 80 m.
2. Dirigir el dron hacia la colonia deseada (*Figura 1*).
 - a. La altitud y la velocidad son controladas por el dron y estas variables son visibles en la Tablet o Smartphone.
 - b. Volar horizontalmente a una velocidad entre 1- 3 m/s.

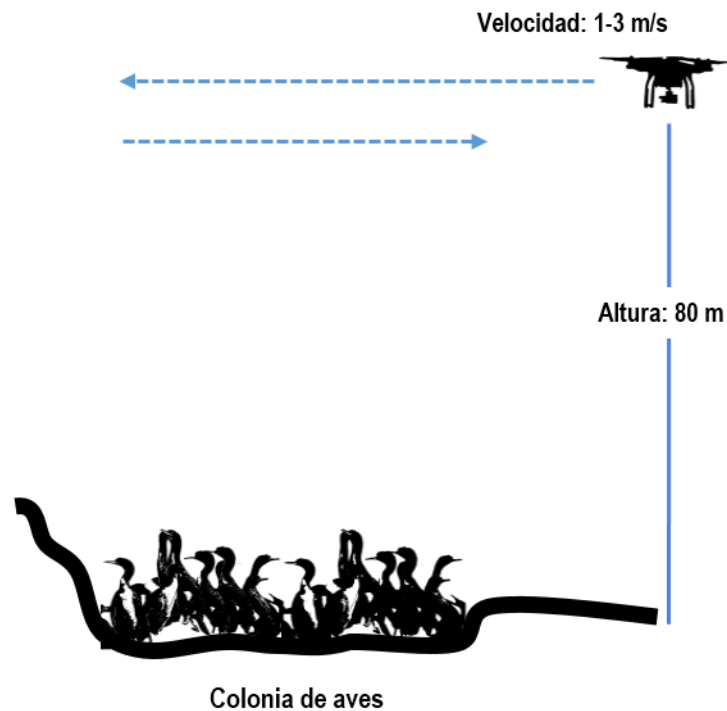


Figura 1. Diagrama del vuelo del dron hacia las colonias de aves guaneras.

3. Una vez, sobre la colonia, fotografiarlas.
 - a. Acomodar la altitud del dron dependiendo del tamaño de la colonia. Usualmente las alturas óptimas para las fotografías están en el rango entre 50-80m. Sin embargo, si la colonia es muy grande (> 50 000 nidos) alturas hasta 150m es aceptable.
 - b. Acomodar la cámara con la lente en posición a 90° (el máximo ajustable y que estaría perpendicular al terreno) de tal forma que se obtengan ortofotos con menor distorsión.

- c. Una vez elegida la altitud para las tomas fotográficas, se hace un barrido para capturar toda el área de la colonia en tomas secuenciales o superpuestas. Se recomienda que la superposición de las fotos consecutivas no sea $<$ al 50%.
- d. El tiempo del vuelo del dron no debe exceder los 15 minutos, si es necesario más tiempo regresar el dron al punto de despegue y reemplazar la batería con otra cargada.
- e. Una vez reemplazada la batería del dron repetir los pasos *a-b*.
4. Una vez terminada la sesión fotográfica con las tomas para las colonias se retorna el dron al punto de despegue y se aterriza sobre la plataforma.
5. Apagar el dron, el control remoto y el Smartphone.
6. Desarmar y guardar el dron en la mochila.
7. Regresar al campamento por la misma ruta.

¡No volar el dron!

- En presencia de neblina, lluvia o garúa.
- Con vientos mayores de 30 Km/h.
- Si no hay señal en el Smartphone o Tablet.
- Con poca batería en el Smartphone o Tablet.



¡No fotografiar las colonias!

- Cuando las aves no generen sombra, ya sea en un día soleada temprano en la mañana o antes de la puesta de sol.

CONTEO DE AVES

TRABAJO DE GABINETE

Preparación previa:

1. Instalar los softwares en una computadora.
 - a. Descargar Gimp 2.8 e Imagen J (ambos son de libre descarga).
2. Preparar la fotografía:
 - a. Descargar las fotografías en una computadora.
 - b. Abrir Gimp 2.8.
 - c. En el menú principal ir a **Archivo-Abrir** y seleccionar la foto a analizar. Se abrirá la foto seleccionada.
 - d. En el menú principal seleccionar **Herramientas-Herramientas de Selección** y luego **Selección Libre**. En este punto y con el mouse seleccionar el área que engloba a las aves (o colonia) que van a ser contadas. Este paso tiene la finalidad de seleccionar el área de trabajo, descartando todo aquello que pertenece a los cálculos (*Figura 2*)

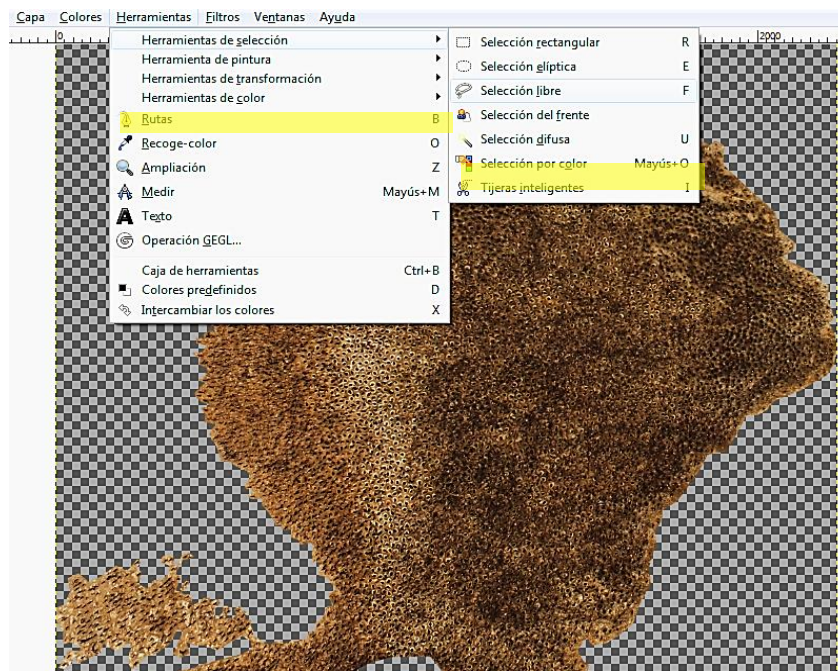


Figura 2. Secuencia para lograr obtener el área seleccionada de la colonia.

- e. Una vez que el área ha sido seleccionada, copiar y cortar el área trabajada previamente. Hacer **CRTL C** para copiar esta área.
- f. ir a **Archivo – Nuevo** y colocar en Anchura y Altura: 4,000 x 3,000 pixeles. Este paso permite crear un archivo en blanco en donde se pegará el área copiada.
- g. Una vez que se ha creado la plantilla (en blanco) ir al Menú y seleccionar **Editar – Pegar como Nueva Imagen**.
- h. Elegir un nombre para el archivo (ej. AAA.png) y guardarlo haciendo clic en **Archivo – Exportar como**. Elegir un nombre para tu nueva imagen. Dar máxima resolución.

Conteo Semiautomático

1. Abrir Image J.
2. Ir a **File-Open** y seleccionar el archivo AAA.png desde el folder de trabajo que se guardó para abrir el archivo a trabajar.
3. Ir a menú **Image-Adjust-Color Threshold** para transformar la fotografía en dicromático, es decir en blanco y negro para resaltar el contraste (*Figura 3*).

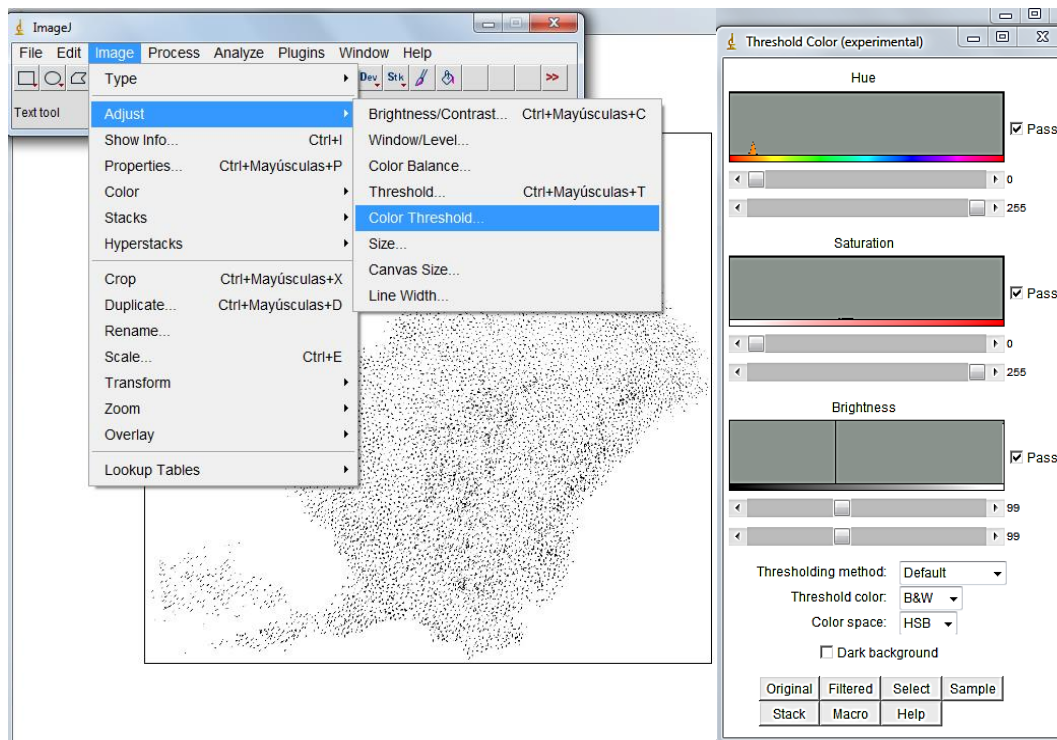


Figura 3. Secuencia para preparar el contraste de la foto.

4. Dirigirse al menú **Process-Binary-Make Binary** para transformar la fotografía en dicromático que pueda ser identificado como blanco y negro para el análisis.
5. Hacer **Zoom In** usando el **ícono de la lupa** en la ventana de opciones. Contar el número aproximado de pixeles de diferentes entidades (aves seleccionadas).
6. Contar el número de individuos yendo a **Analyze – Analyze Particles**. Luego aparecerá una ventana con diferentes parámetros a considerar. En la opción de size considerar un rango parecido al número obtenido previamente. Dejar la opción de **Circularity** como está. En la opción Show seleccionar elipses. Presionar OK (*Figura 4*).

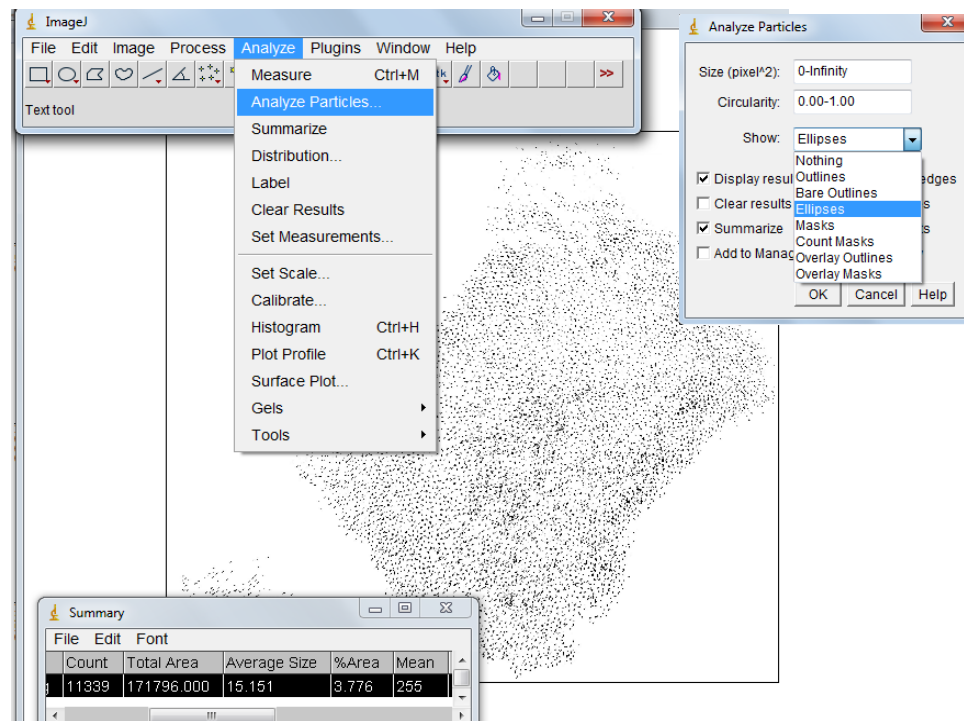


Figura 4. Secuencia para lograr obtener el número de aves o nidos de una colonia.

7. Luego aparecerá dos ventanas con el resultado que significa la cantidad de aves o nidos, juntamente con la imagen de selección de elipses que engloba a cada ave (o nido). Si no es un número prudente se vuelve a repetir desde el paso 3 del conteo automático y modificar el rango de pixeles (por lo general, se disminuye el número inferior del rango).
8. Una vez que crean que han ajustado el conteo a la realidad, anotar el número del conteo en una libreta u hoja.
9. Guardar el archivo con la foto de la colonia representada por elipses. (File – Save As – JPEG).
10. Guardar el archivo trabajado BBB.jpeg.

Verificación del conteo

1. Abrir Gimp 2.8.
2. Abrir la foto inicial. **Archivo – Abrir** (seleccionar AAA.png, la foto a color).
3. Abrir la imagen recientemente creada en Image J (la de las elipses). **Archivo – Abrir como capas** (se abre de esta forma para superponer ambas fotos). Buscar y seleccionar BBB.jpeg
4. Las dos capas están superpuestas, pero solamente se ve la BBB.jpeg (elipses). Hay que hacer el fondo transparente para que se puedan ver ambas capas.
5. Desde el Menú Principal entrar a **Capas – Transparencia – Color a Alfa – Aceptar**. Ahora si se pueden ver ambas capas (*Figura 5a*).
6. Para que se vea mejor, se cambiará el color de las elipses.
7. Desde el Menú Principal entrar a **Colores – Mapas – Intercambio de Color**. En el lado derecho cambiar la barra de negro a violeta y poner **Aceptar** (*Figura 5b*).
8. Ahora las elipses se transformaron a color violeta.
9. Hacer Zoom a la imagen para ver mejor la superposición y elección.

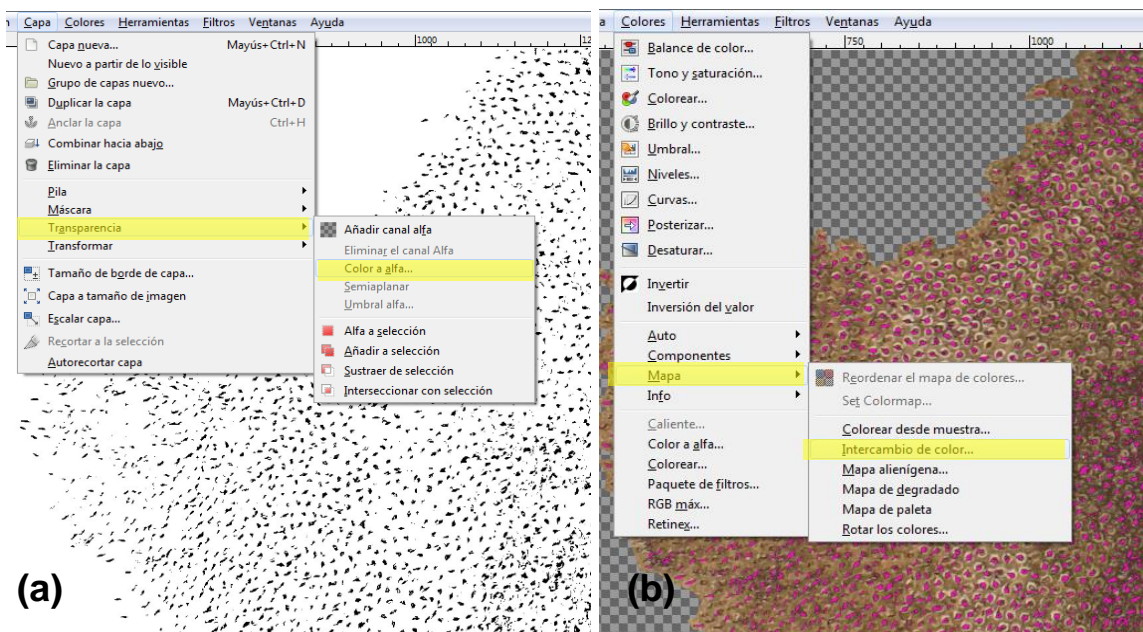


Figura 5. Pasos para obtener una mejor superposición y elección de la imagen: (a) Paso para observar ambas capas. (b) Paso para cambiar a color violeta.

Calcular el porcentaje de error

1. Seleccionar Archivo – Exportar como. Salvar su nuevo archivo con capas superpuestas en su folder de trabajo CCC.png.
2. Abrir este nuevo archivo en Gimp 2.8
3. Seleccionar un área rectangular al azar que contenga aproximadamente 100 nidos.
Herramientas – Herramientas de Selección – Selección rectangular.
4. Seguir los pasos del 2.c al 2g de la sección preparando la fotografía (Figura 6).
5. Abrir la nueva foto rectangular y contar los nidos y las elipses. Calcular un índice de error: $(\text{Número de elipses} - \text{número de nidos}) / (\text{número de nidos})$.
6. Hacer esto por triplicado.

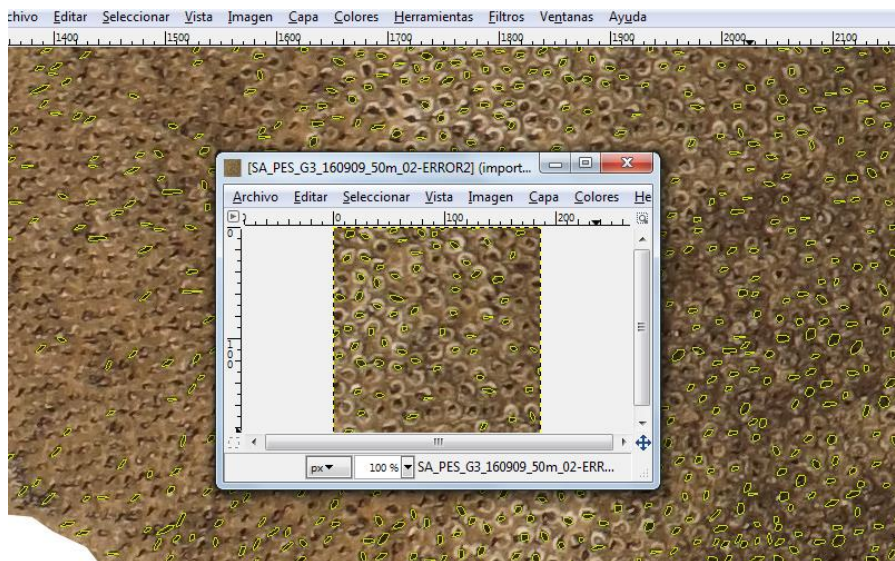


Figura 6. Se observa la probabilidad de la coincidencia de las elipses con las aves.

Recomendaciones en IMAGE J:



- No cuantificar semiautomáticamente cuando: las colonias son pequeñas y están ubicadas en acantilados con un alta pendiente.
- Para el caso de los pelicanos se recomienda usar el método planimétrico, con apoyo de las fotografías tomadas con los drones.
- El conteo debe realizarse solo 1 vez al mes.