



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**  
ESCUELA DE POSGRADO VÍCTOR ALZAMORA CASTRO

**ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN  
ESPACIAL DE LAS AVES GUANERAS  
EN RELACIÓN CON LA ANCHOVETA  
EN EL MAR PERUANO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR**

**RENATO ALONSO ESPINOSA PELAEZ**

**LIMA – PERÚ**

**2016**



**Asesor**

Dr. Yann Tremblay PhD

Unidad de investigación de Biodiversidad Marina, Explotación y Conservación

Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD)

A mis padres,  
por su cariño, apoyo y paciencia.

## **Agradecimientos**

A mi asesor Dr. Yann Tremblay por su guía, sus muchas sugerencias y asistencia en programación.

A la Dra. Elisa Goya y el laboratorio de depredadores superiores de IMARPE por permitirme el acceso a los datos que colectan durante los cruceros de la institución.

A los miembros del jurado Dr. Jorge Tam, Dr. Pepe Espinoza y Dra. Ana Alegre por sus valiosas sugerencias.

A CONCITEC y su programa Cienciaactiva por la beca que permitió financiar tanto la presente investigación como mis estudios de la maestría.

A la Dra. Rocío Joo y el Dr. Daniel Grados por su asesoría en estadística y programación y algunas ideas en el camino.

A mis compañeros de la maestría y laboratorio por su apoyo y camaradería, y a Carlos Calvo por su asesoría en los diferentes tramites y procedimientos del proceso.

A la maestría en Ciencias del Mar por dar un espacio para el estudio de la ciencia marina en el Perú, a sus múltiples profesores por la inspiración y gran cantidad de conocimientos impartidos y al Dr. Dimitri Gutiérrez por el impulso a seguir avanzando y no dilatar los plazos.

Al IRD e IMARPE por darme un espacio donde desarrollar mi investigación.

## Índice

<b>Resumen/Abstract</b>	
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Planteamiento de la investigación</b>	<b>5</b>
<b>Marco teórico</b>	<b>8</b>
<b>Ecosistema de Humboldt</b>	<b>8</b>
<b>Variabilidad climática</b>	<b>11</b>
<b>Efectos de la escala en oceanografía</b>	<b>13</b>
<b>Ecología y biología de la anchoveta</b>	<b>15</b>
<b>Aves guaneras</b>	<b>19</b>
<b>Forrajeo central</b>	<b>21</b>
<b>Ecología del forrajeo en aves marinas</b>	<b>23</b>
<b>Justificación</b>	<b>25</b>
<b>Objetivos</b>	<b>26</b>
<b>Metodología</b>	<b>27</b>
<b>Diseño de estudio</b>	<b>27</b>

<b>Población</b>	<b>27</b>
<b>Muestra</b>	<b>28</b>
<b>Operacionalización de variables</b>	<b>30</b>
<b>Plan de análisis</b>	<b>31</b>
<b>Resultados</b>	<b>33</b>
<b>Discusión</b>	<b>49</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>61</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>62</b>

## **Anexos**

**I. Formato de la tabla de datos estándar usada para los diferentes cruceros.**

**II. Áreas protegidas en el mar del Perú**

**III. Lista de figuras**

**IV. Lista de tablas**

## **Análisis de la distribución espacial de las aves guaneras en relación con sus presas en el mar peruano**

### **Resumen**

Las aves guaneras, símbolo del mar peruano, han sufrido en el último siglo graves impactos por actividades humanas mal reguladas y hoy en día aun no se las considera completamente en su planificación. Precisamente sus actividades en el mar es donde existe una mayor falta de conocimiento, en especial de cómo interactúan con otros depredadores y la anchoveta durante el forrajeo. Se evalúan las interacciones entre el cormorán, el pelícano, el piquero peruano, el piquero de patas azules (referidas en general como aves guaneras) y la anchoveta (*Engraulis ringens*) con datos recolectados en varios cruceros de IMARPE realizados entre 1998 y 2013 a lo largo de la costa peruana. Las poblaciones de aves se concentran en algunas zonas próximas a ciertas islas principalmente en los primeros 20 Km desde la costa y los piqueros de patas azules también entre los 45 y 70 Km. Las coincidencias entre las especies de aves y la anchoveta no se evidencian en escalas menores dada la alta movilidad de las especies consideradas, la naturaleza efímera de los eventos de forrajeo y el proceso complejo de búsqueda de alimento por el que pasan las aves. En cambio al observar escalas cada vez mayores se ve un aumento exponencial en las relaciones entre cada especie de ave y la anchoveta, reflejando la alta movilidad de los depredadores aéreos.

## **Abstract**

Guano birds, a staple of the Humboldt ecosystem, have been gravely impacted at various points in the last century by poorly regulated human activity, and today are still not completely taken into account in sea activities. Precisely is at sea where knowledge of their ecology is most lacking, especially of their interactions with other predators and anchovy in foraging. The present work aims to elucidate the interactions between guanay cormorants, pelicans, Peruvian boobies, blue footed boobies (collectively referred to as guano birds) and peruvian anchovies, using data collected during cruises carried out by IMARPE between 1998 and 2013. Sea bird populations concentrate in certain areas in the proximity of island, mostly in the first 20 Km from the coast, blue footed boobies also appear between 45 and 70 Km. Birds and anchovies could not be said to be related at small scales, which appears to be due to the high mobility of this species, the ephemeral nature of foraging aggregations and the complex process birds go through to find feeding opportunities. On the other hand, in increasing scales the relation of all bird species with anchovies grows exponentially, reflecting the high mobility of avian predators.

## **Palabras Clave**

Aves guaneras, depredadores marinos, relaciones predador presa, forrajeo en el mar.

## Introducción

Actividades humanas en el mar como la pesca industrial de anchoveta, la extracción de guano y el transporte marítimo han tenido un impacto histórico significativo sobre las poblaciones de aves guaneras (1,2,3). De manera que sus poblaciones se vieron gravemente afectadas en varias ocasiones durante el siglo XX en especial cuando se dio en conjunto con la presión de eventos climáticos desfavorables como el fenómeno del Niño. Y en un futuro podrían sumarse los efectos de derrames petroleros con su ya planteada extracción del suelo marino. Además de los efectos del cambio climático, que podría llevar a condiciones del mar más similares a las de El Niño, aumentando su frecuencia e intensidad (4), en perjuicio de las aves y el ecosistema en general. Un mejor conocimiento de la distribución de estas aves y, las relaciones entre sus especies y con la anchoveta como principal fuente de alimento ayudará a evaluar y proponer medidas de manejo y protección para asegurar su continua existencia.

El sistema de corrientes de Humboldt, zona de gran riqueza biológica, alimenta a una importante biomasa de aves. Entre estas aves resaltan por sus grandes poblaciones y colonias el cormorán peruano o guanay (*Leucocarbo bougainvillii*), el pelícano peruano (*Pelecanus thagus*), el piquero peruano (*Sula variegata*) y el piquero de patas azules (*Sula nebouxii*), en conjunto denominados aves guaneras (Fig. 1). Aproximadamente en el Perú se cuenta con: 0.21 millones de pelícanos, 1.76

millones de piqueros peruanos y 2.33 millones de cormoranes (datos de 1997), aunque en 1954 sus números fueron de 0.44, 2.4 y 21.28 millones respectivamente (2). Sus grandes poblaciones se sostienen gracias a la inmensa abundancia de su principal alimento, la anchoveta. Estas se encuentran bajo un monitoreo continuo desde cruceros e islas, conociéndose su población y composición de especies. Pero se sabe poco de las actividades que realizan en el mar, de los factores que los conducen a una zona en particular sobre otra y como se relacionan con el ambiente y sus presas (5).

Los depredadores marinos como las aves guaneras deben enfrentar el problema de encontrar su alimento en un medio en permanente movimiento y variación. Mientras que los cardúmenes de peces buscan evadir a sus depredadores a la vez que procuran su propio alimento (6). Diversos procesos físicos pueden directa o indirectamente condicionar la agregación de organismos de toda clase, facilitando el encuentro de presas en densidades importantes (7). De manera que el accionar de tanto el predador como la presa va a afectar las perspectivas del otro y la distribución de cada uno va a ser en parte una respuesta tanto a las acciones del otro como del ambiente (6). Las particularidades de esta relación ave-anchoveta son poco conocidas, así como también la forma en que la distribución de cada una se relaciona con los rasgos físicos del océano (8).

En la continua confrontación entre predador y presa las aves marinas cuentan con la considerable ventaja de que se desplazan en un medio de muy baja densidad y que permite una alta visibilidad, lo que les permite identificar agregaciones de otros

predadores como atunes y delfines a grandes distancias, y dirigirse rápidamente hacia ellas con poco esfuerzo (9,10). Lo que las hace más flexibles que otros depredadores al buscar su alimento y respondan con rapidez a eventos de alimentación cercanos. Sin embargo al desplazarse por un medio ajeno a sus presas no van a poder detectarlas directamente a distancia y van a depender de indicadores indirectos como la presencia de otros depredadores en su búsqueda (8), haciéndoles vagar por el mar en busca de una señal favorable. Esta imposición de su naturaleza va a afectar la forma en que se desplazan por el mar y cómo interactúan con sus presas y otros predadores. Como resultado de estos procesos se altera la distribución de las aves marinas que con alta movilidad y baja probabilidad de encontrar alimento en un punto equis recorren el mar, así como también la distribución de sus presas que reaccionan a la presencia de las aves eludiéndolas.

El presente estudio busca describir los patrones de distribución del cormorán, pelícano, el piquero peruano y el piquero de patas azules en el mar peruano e identificar como cada una se ve afectada por la distribución de la anchoveta.

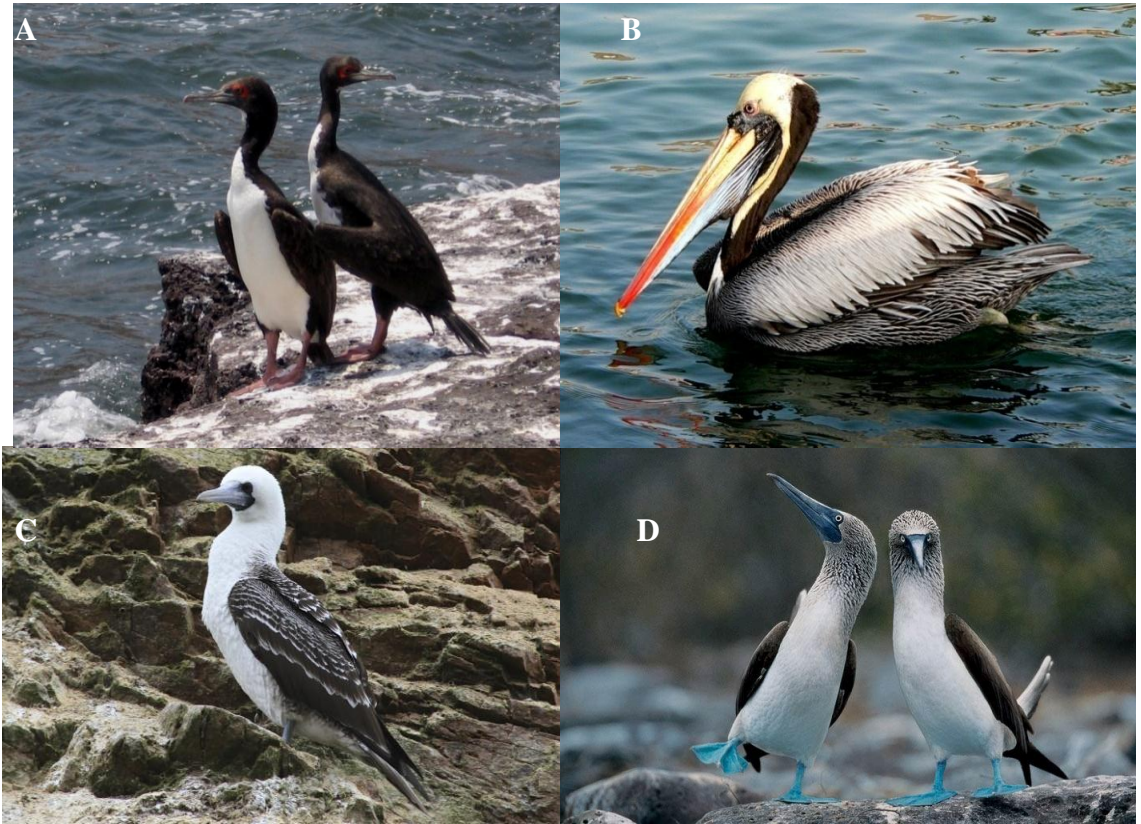


Fig. 1– Las aves guaneras del Perú: A.- Cormorán peruano (*Leucocarbo bougainvillii*); B.- Pelícano peruano (*Pelecanus thagus*); C.- Piquero peruano (*Sula variegata*); D. Piquero de patas azules (*Sula nebouxii*).

## **Planteamiento de la investigación**

Las aves guaneras se alimentan de organismos marinos (5) cuya distribución varía en el espacio y el tiempo, en función mayormente de procesos oceanográficos (11).

Tratando de explicar la distribución de las aves marinas, muchos estudios han explorado las relaciones existentes entre las aves y estructuras físicas oceanográficas basándose en la hipótesis de que estas tienen un efecto de concentración sobre sus presas; como frentes o remolinos (7,12,13), resultando las olas internas las más influyentes entre estas estructuras, operando a una menor escala ( $< 1$  Km) que las otras (14). Aunque, si bien estas estructuras aumentan la probabilidad de que estén presentes las presas, no hacen evidente su presencia y el efecto que tengan sobre las aves solo se darán a través de la relación que tengan estas con sus presas.

Si suponemos que las aves pasan la mayoría de su tiempo en el mar cazando, entonces la distribución de sus presas debe influir sobre su distribución (6). Por lo que se podría plantear que existe una relación directa entre la cantidad de presas y la cantidad de aves presentes en una zona en un mismo momento. En especial considerando que tanto las anchovetas como las aves forman grandes agregaciones, propiciando la coocurrencia de ambas poblaciones, en especial durante la alimentación de las aves.

Anteriormente en la región no se ha usado una serie de datos a través de varios años para el estudio de las poblaciones de aves guaneras y su relación con los cardúmenes de presas, en especial con datos directos de ambas partes tomados en el mismo momento. La variabilidad interanual del clima y los forzantes físicos en el mar peruano implica que se observaría el área general que utilizan las aves a través de los años y como varia su distribución bajo diferentes condiciones. Presentándose la oportunidad de estudiar el comportamiento de sus poblaciones a partir de los datos son recolectados por los diferentes cruceros que realiza el IMARPE.

En el juego espacial entre aves y presas se considera también la accesibilidad que tienen las aves a sus presas, sufriendo las primeras de algunas limitaciones que pueden dar refugio a las presas, como la distancia en el plano que han de recorrer las aves hasta estas o el espacio vertical de la columna de agua que han de atravesar para alcanzarlas (6). Se debe considerar así la dificultad que implica para las aves el encontrar a sus presas y la capacidad de estas para evadir a sus depredadores, al considerar la relación entre ambos.

En el ecosistema de Humboldt una gran cantidad de depredadores y una presión pesquera conviven alimentándose mayormente de la gran abundancia de la anchoveta, desarrollando los depredadores sus propias formas de forrajeo para su mejor aprovechamiento (15,16). En el caso de las aves, cada una utiliza estrategias particulares en la ubicación y captura de sus presas (comportamiento social, capacidad de buceo, tiempo y distancia de viajes de forrajeo). Así como cada ave tiene una capacidad y una estrategia diferente para el forrajeo de la anchoveta, estas

responderían de forma diferente a la variación de los cardúmenes de anchoveta, ya sea en su tamaño, posición en la columna de agua o distancia de las colonias de aves (5). Por ejemplo la disponibilidad de las presas por su posición vertical en la columna de agua, afectará de forma diferente a un guanay capaz de bucear hasta 74 m (17) que a un piquero que solo llega alcanza una profundidad de 10 m o al pelícano que forrajea desde la superficie (18).

1. ¿Cómo varía la distribución de las poblaciones de aves guaneras en los diferentes estados climáticos del mar peruano (El Niño, La Niña y normal)?
2. ¿Cómo se relacionan las diferentes especies de aves guaneras con las anchovetas?
3. ¿Cómo se relacionan las diferentes especies de aves guaneras con las otras aves, se ve una predominancia de la cooperación o la competencia?

## **Marco teórico**

### **Ecosistema de Humboldt**

Tanto la anchoveta como las aves guaneras, a excepción del piquero de patas azules que se expande desde el golfo de California hasta Galápagos y el norte del Perú, son endémicas del ecosistema de Humboldt (2,19). Siendo este el ambiente en el que se desarrollan y que ha dado forma a gran parte de las conductas e interacciones entre ambos, resulta relevante el detallar algunas de sus características.

El ecosistema de Humboldt es uno de los 4 grandes centros de afloramiento, junto con California, Benguela y Canarias. Son ambientes conocidos por sus aguas ricas en nutrientes, de alta productividad y menor temperatura que otras aguas de la misma latitud. En el caso de Perú, puede pasar de 16°C en superficie cerca a la costa a 25°C mar adentro (4). También son notables y en particular el sistema peruano por poseer muy bajos niveles de oxígeno y condiciones de hipoxia subsuperficial conocidas como zonas mínimas de Oxígeno (20). Las condiciones especiales de estos sistemas surgen por acción de la fuerza de coriolis que junto a fuertes vientos costeros producen un transporte de las aguas superficiales hacia mar abierto, creado un vacío que es llenado por el ascenso de aguas más profundas y ricas en nutrientes (4).

El mar peruano es conocido por tener la pesquería mono-específica más prolífica del mundo, con una producción hasta veinte veces superior a la que se obtiene en los otros centros de afloramiento, a pesar de que su productividad primaria no es tan alta como la de algunos de estos (16) (Fig. 2). Esto se debe principalmente a la posición

privilegiada del sistema de Humboldt cerca a la línea ecuatorial, ya que a menores latitudes el viento produce un afloramiento progresivamente mayor, mientras que la turbulencia no es afectada, lográndose un afloramiento intenso con turbulencia moderada, resultando en un ambiente alto en nutrientes que se mantiene en la ventana óptima ambiental para el desarrollo de larvas (4,21,21). Además al aproximarse al ecuador también aumenta el radio de deformación de Rossby y como consecuencia de esto el área de influencia del afloramiento tiene una mayor extensión hacia el océano. Esto aumenta el tiempo de residencia de partículas y organismos en suspensión en sus aguas, permitiendo el desarrollo de especies de zooplancton con ciclos largos, más grande y nutritivo, que alimenta la gran biomasa de la anchoveta (4).

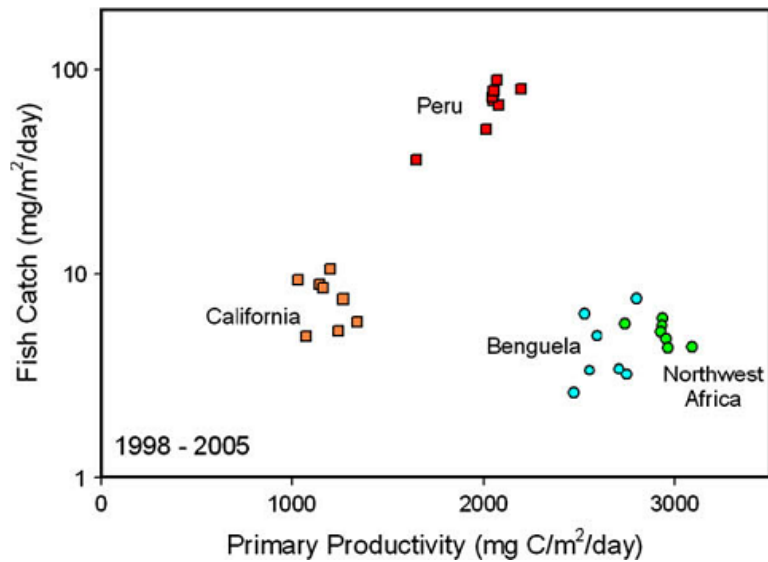


Fig. 2- Comparación entre la productividad primaria y pesquera en los diferentes centros de afloramiento (16).

En el mar peruano se presentan diversos fenómenos y perturbaciones físicas de menor escala. Entre los más comunes tenemos los frentes que constituyen una frontera entre dos masas de agua y los remolinos, ambos marcan fuertes cambios en las condiciones oceánicas locales. Estos procesos constituyen centros de proliferación de biomasa con una alta producción primaria debido al aumento de nutrientes y a que las corrientes congregan organismos plantónicos en forma pasiva. Luego otros de mayor nivel trófico acuden por el aumento de oportunidades de alimentación, hasta llegar a depredadores superiores como las aves, en especial cuando estos son predecibles en el espacio y tiempo (7,13). Además de olas internas, entre distintas capas de agua, que expanden el hábitat disponible y congregan al plancton y peces en su interior, atrayendo a los depredadores en forrajeo; estas funcionan a menores escalas que las anteriores, pero llegan a tener una mayor influencia en la estructuración del ecosistema pelágico (14).

Entre las características más notables del afloramiento de Humboldt está la presencia de una gran zona mínima de Oxígeno (ZMO) y una oxiclina superficial. Condiciones que se encuentran más pronunciadas cerca a la costa por la influencia de las aguas profundas y se normalizan al extenderse mar adentro. Estas características favorecen la proliferación de la anchoveta en el mar peruano, principal presa de las aves, proliferando la sardina mar adentro en condiciones más oxigenadas. La oxiclina también actúa como una barrera física que contiene a los organismos en la capa superficial del mar, dando a las aves una mayor accesibilidad a sus presas (20). (Fig. 3)

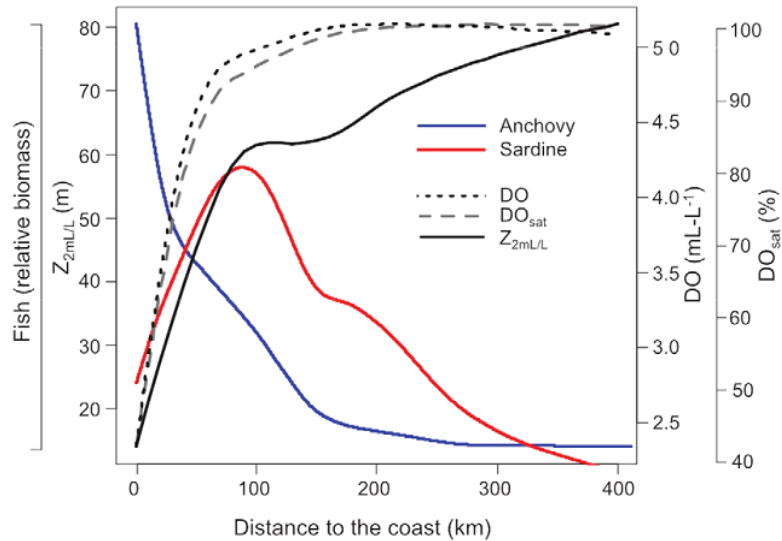


Fig. 3- Abundancia relativa de anchoveta y sardina desde la costa peruana según los niveles de oxígeno:  $Z_{2mL/L}$  profundidad de la oxiclina, DO oxígeno disuelto en el agua y  $DO_{sat}$  porcentaje de saturación del oxígeno en el agua (20).

### Variabilidad climática

Periódicamente se presenta una alteración general de las condiciones ambientales en el ecosistema de Humboldt, con un influjo de condiciones tropicales como una mayor temperatura superficial y la profundización de la termoclina, conocido como el fenómeno de El Niño (Fig. 4). Los vientos costeros y el afloramiento pueden aumentar, pero por el cambio en la termoclina ya no se eleva agua fría y rica del fondo, sino que recircula el agua superficial.

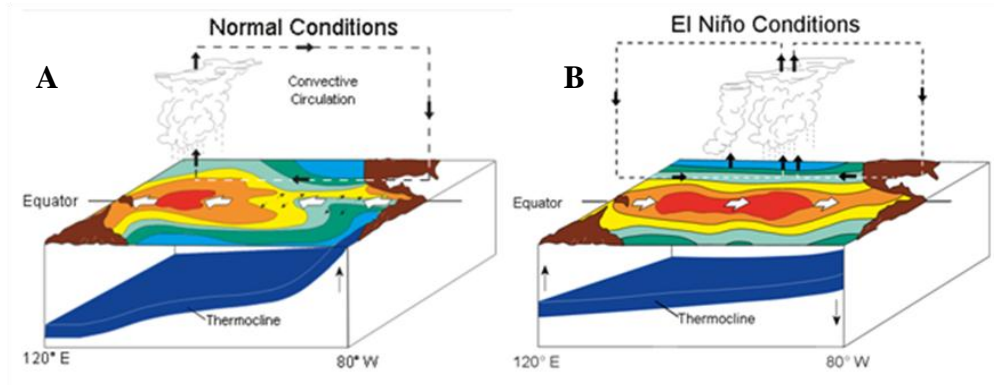


Fig. 4- Condiciones normales (A) y durante El Niño (B) en el océano Pacífico tropical

El fenómeno se da por la relajación de la circulación atmosférica que permite la dispersión del calor acumulado en el oeste del Pacífico hacia las costas de Sudamérica a través de una o más ondas de Kelvin. Su intensidad puede variar desde casos leves en que no alcanza el mar peruano, hasta casos extremos como los recordados en 1982-83 y 1997-98 en que tiene una gran influencia en el ecosistema de Humboldt (22,23).

El ecosistema de Humboldt se ve afectado por un cambio general en su funcionamiento, la anchoveta y otros peces de aguas frías no soportan las condiciones cálidas sufren mortalidades masivas y/o tienden a migrar. La sardina y especies tropicales cobran predominancia, pero esta no es capaz de reemplazar las colosales

poblaciones de la anchoveta. Además la extensión de condiciones cálidas y oxigenadas en la columna de agua hace que los peces que estén presentes puedan resguardarse a mayor profundidad disminuyendo aun más la disponibilidad del poco alimento que se encuentra presente en el mar (4). Las aves se ven obligadas a seguir los desplazamientos de sus presas, dentro de lo posible, pero también ven una reducción de sus poblaciones.

La contraparte del fenómeno de El Niño es el fenómeno de La Niña con condiciones inversas, fortalecimiento de la corriente de Humboldt y los vientos alisios, termoclina más superficial y enfriamiento del mar. El continuo paso entre condiciones normales y la entrada en acción de uno u otro fenómeno le da una alta variabilidad al sistema del mar de Humboldt en una escala anual.

### **Efectos de la escala en oceanografía**

La escala de un proceso da un marco de referencia sobre el rango en el que este se desarrolla y en el que se puede apreciar y medir su variabilidad, pudiendo aplicarse en un ámbito tanto espacial como temporal. La escala aporta un marco conceptual alrededor del cual se estudian los fenómenos físicos y biológicos que se dan en el océano. Esta da la posibilidad de poder comparar entre especies o ámbitos diferentes y hallar patrones en común para un determinado proceso ecológico (24).

Dado que los diferentes mecanismos oceánicos tienen rangos espacio-temporales particulares, influyen el comportamiento y distribución de los organismos de forma diferente según la escala a la que suceden (25). Igualmente al en el estudio de los océanos se podrán estudiar fenómenos y relaciones distintas según la escala en que se decida realizar las observaciones (Fig. 5). De manera que la distribución de las aves podría responder a forzantes distintas a diferentes escalas, teniéndose en general que en el plano local priman las interacciones biológicas como la competencia, mientras que a mayores escalas se imponen los requerimientos ambientales del organismo y procesos evolutivos a un nivel biogeográfico (24).

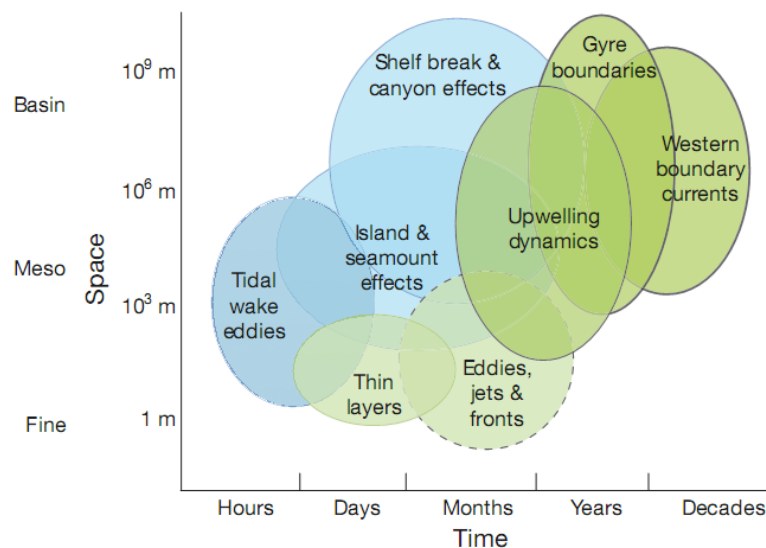


Fig. 5- Extensión de diferentes procesos físicos oceánicos a través de diferentes escalas en el tiempo y el espacio (25).

Las aves en su búsqueda de alimento aplican una búsqueda restringida en el espacio en forma anidada, donde a mayor escala les será más difícil encontrar un parche de alimento, teniendo un mayor tiempo de búsqueda y mayor permanencia en pequeñas zonas ricas en alimento que van encontrando en su recorrido (26).

Las relaciones espaciales entre las aves y sus presas se encuentran condicionadas por una serie de factores ambientales, ecológicos y conductuales. Cada uno de estos opera dentro de su propia escala espacio-temporal, entre los que se pueden dar relaciones jerárquicas en las que unos factores son condicionados por otros de mayor escala (6). Esto se debe a que los procesos de escalas mayores modelan el escenario en el que transcurren los eventos de escalas menores. Por ejemplo elementos mayores como la ocurrencia de un fenómeno del Niño pueden alterar completamente el funcionamiento de procesos ecosistémicos de mediana y pequeña escala como la distribución de los cardúmenes de peces y de los eventos de alimentación de las aves marinas.

### **Ecología y biología de la anchoveta**

La anchoveta (*Engraulis ringens*) es un pequeño pez pelágico endémico de la corriente de Humboldt, ocupando áreas a con aguas frías del afloramiento cercanas a la costa (Fig. 6). Cuenta con un ciclo de vida corto y una gran capacidad reproductiva le permiten alcanzar poblaciones enormes y recuperarse de significativas caídas de sus números durante periodos adversos (4,11). La alta capacidad de recuperación de la anchoveta permite a las poblaciones de depredadores que dependen de ella

recuperarse luego de periodos adversos y caídas poblacionales, aunque toma un mayor tiempo y puede ser impedido por la sobrexplotación pesquera (2,4).



Fig. 6- Anchoveta peruana (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842)

En efecto este pequeño pelágico es la base de la mayor pesquería del mundo, sosteniendo capturas de varios millones de toneladas. A la vez son el alimento principal de una gran cantidad especies en el mar peruano, desde aves y mamíferos hasta una gran variedad de peces, muchos de ellos de importancia comercial (16). De manera que esta especie actúa como un nexo entre la base de la red trófica con su dieta de eufáusidos y copépodos grandes, y múltiples peces, aves y mamíferos en los niveles tróficos superiores (Espinoza Bertrand 2008 y 2014). Pudiendo considerarse como el nexo a través del que las privilegiadas condiciones del ecosistema de Humboldt se expresan como una gran riqueza biológica.

La organización de sus poblaciones se encuentra basada en el cardumen como unidad de vida, dentro del que se realizan todas las funciones básicas de sus individuos (alimentación, reproducción y evasión de predadores) de manera comunitaria. Por debajo del nivel del cardumen predomina la organización social, con la prioridad de mantener la cohesión del grupo. Mientras que en niveles superiores son más importantes los factores ambientales en su agregación y distribución pudiendo separarse o juntarse diferentes cardúmenes según las condiciones y las necesidades de cada uno (11). La distribución del cardumen va a depender de un compromiso entre sus distintas funciones básicas, la premura y riesgo de cada una (6). También se puede dar casos de que en distintas partes del cardumen primen distintas estrategias, dando lugar a alteraciones en la forma del grupo como una mayor extensión vertical, o una separación ligera o parcial del grupo (27). (Fig. 7)

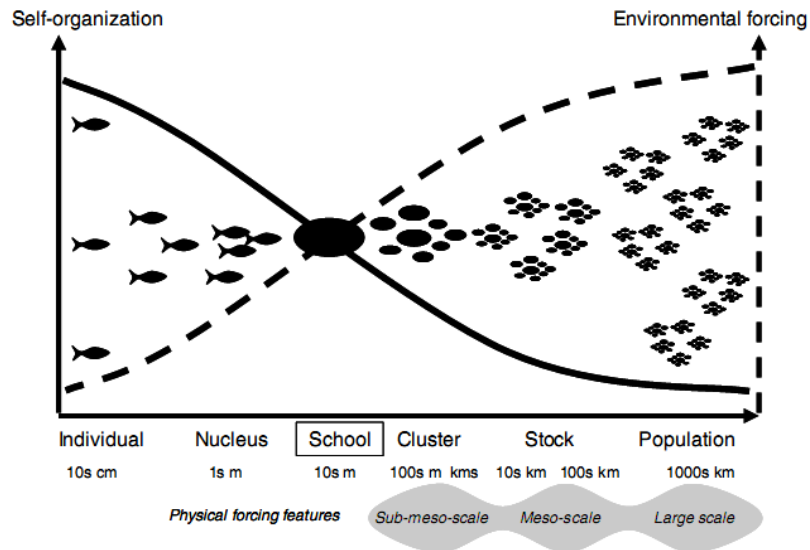


Fig. 7– Organización espacial de las poblaciones de anchoveta (11).

En la realidad las poblaciones de anchoveta se encuentran en continua reorganización, pasando por varios ciclos de cambios. En el ciclo diario, durante el día se las encuentra en densas agregaciones cerca a la ZMO, sobre la isooxígena de 2 ml/l para resguardarse de sus predadores, mientras que durante la noche se encuentran más dispersas a través de la capa de mezcla en busca de alimento (11). El ciclo diario genera una separación por tanto entre el pelícano que se alimenta en la superficie y las demás aves guaneras capaces de bucear varios metros bajo la superficie (28).

En una escala anual El Niño tiene un fuerte impacto negativo sobre las poblaciones de anchoveta, pero por su gran capacidad de recuperación vuelven a sus niveles previos dentro de uno o dos años, incluso frente a eventos extremos (4). A mayor escala se dan fluctuaciones decadales conocidas como regímenes en los que se alterna entre la dominancia de la anchoveta y la de la sardina, aunque esta última alcanza biomasa mucho menores hasta en los momentos más favorables. Observándose una predominancia de la anchoveta durante periodos de aguas frías, pobres en oxígeno, con bastantes nutrientes y predominancia de zooplancton grande (29). Las aves se encuentran por tanto sujetas a estas variaciones temporales, ocasionando cambios en el tamaño y distribución de sus poblaciones.

## **Aves guaneras**

En el Perú se encuentran poblaciones importantes, de varios millones, de algunas especies de aves marinas conocidas como aves guaneras (2,30). Aunque no están emparentadas cercanamente entre sí, comparten el anidar en grandes colonias, el aprovechamiento de la anchoveta como principal fuente de alimento y el producir grandes cantidades de deposiciones en sus zonas de anidamiento (18). De este último punto proviene su nombre colectivo que hace referencia al guano que producen, ampliamente usado y muy apreciado como fertilizante orgánico.

En su historia reciente sus poblaciones han recibido duros golpes, primero por la sobreexplotación del guano hasta principios del S. XX, luego por el colapso de la anchoveta a inicios de los 70's y más recientemente por los eventos El Niño extremos (1983 y 1998) y otros menores. A pesar de eso sus poblaciones han logrado prevalecer y han obtenido una importante abundancia, gracias a la implementación de un manejo más responsable de la explotación del guano y la anchoveta. Aunque aún no han logrado recuperarse hasta los niveles de decenas de millones que tuvieron antes del colapso de la anchoveta (2).

Las poblaciones de aves guaneras continúan siendo amenazadas por el exceso de pesca industrial, que aun no logra incorporar los principios ecosistémicos en el cálculo de cuotas de pesca como la porción que es consumida por los diferentes depredadores. Así como por la interacción con las poblaciones humanas que limitan el número de zonas en las que son capaces de anidar. Y también la creciente

contaminación del mar, principalmente por plásticos y aparejos de pesca, que al ser consumidos o atrapar a las aves, respectivamente son causas de mortalidad. De las tres clases de aves se encuentra que el cormorán ha sido la más afectada por las fluctuaciones de la anchoveta, mientras que el pelícano y el piquero han mantenido una mayor estabilidad ante la variación de la cantidad de recursos (2,3,31).

Las aves guaneras del Perú, corresponden a tres formas particulares, cada una en sí misma una solución al problema evolutivo de ubicar y capturar su alimento en el mar, y cada una lleva a una forma distinta de aprovechar el mar, pudiendo influir en su distribución. En primer lugar están los guanayes con las mayores poblaciones y también la mayor capacidad buceadora, capturan a sus presas buceando, pudiendo llegar hasta los 74 m y forman grandes grupos de búsqueda de alimento (17). Este posee un cuello largo y flexible que le permite maniobrar en el agua, facilitando la captura. (Fig. 8-A)

El piquero, especialista en lanzarse en picada al agua para capturar a sus presas en una inmersión rápida y sorpresiva, alcanza hasta los 10 m de profundidad. Son las de menor tamaño entre las tres y su cuerpo es más hidrodinámico, facilitando un rápido ingreso al agua. Tiene una menor asociación social valiéndose también de experiencias propias (32). (Fig. 8-B)

Por último el pelicano, el de mayor en tamaño, pero con muy poca capacidad de sumergirse se dedica a ubicar presas desde la superficie, que captura haciendo uso de su largo pico. A diferencia de las anteriores es de hábitos más nocturnos, momento en

que las anchovetas se encuentran dispersas en la columna de agua y próximas a la superficie. También presenta una mayor flexibilidad en sus modos de alimentación, habiendo sido observado robando presas de otras aves y frecuentan los puertos donde aprovechan los descartes de la actividad pesquera (28). (Fig. 8-C)



Fig. 8– Métodos de caza de las aves guaneras: A.-buceo (guanay), B.- inmersión en picada (piquero) y C.- captura en superficie (pelicano).

### **Forrajeo central**

Uno de los aspectos más relevantes sobre la biología de las aves marinas y la forma en que utilizan su ambiente es que estas aves son forrajeadores centrales durante la época de cría y en esta se encuentran obligadas a regresar a la colonia diariamente para alimentar a sus pichones y relevar a sus parejas en el cuidado del nido. Esta condición impone un limitante espacial al área del océano a la que tienen acceso, reduciendo las oportunidades de forrajeo a las que pueden acceder, ya que si exceden cierta distancia el costo energético del viaje va a exceder la cantidad de energía

obtenida del alimento (6). Lo que se expresaría como un área con mayor presencia de aves en la proximidad de sus colonias contra áreas alejadas de estas y fuera de alcance.

La gran concentración de aves en las islas durante la época reproductiva produce un significativo aumento de la presión de depredación alrededor de estas, llegando a formar una zona depletada de recursos alrededor de la colonia, fenómeno conocido como un halo de Ashmole (33,34). La evasión natural de los peces también contribuye a reducir la cantidad de presas disponibles cerca a las islas (35). Este fenómeno obliga a las aves a ir más lejos en busca de alimento y reduce su éxito reproductivo, siendo mayor su intensidad alrededor de las más pobladas (33). Actúa como un control poblacional que evita el crecimiento excesivo de las poblaciones, que afecta principalmente a los polluelos, pudiendo los adultos abandonar sus nidos a favor de su supervivencia y la posibilidad de futuras nidadas.

Esta condición coloca a las aves guaneras en una disyuntiva entre permanecer mayor tiempo en el mar y alimentarse mejor a costa de brindar una menor atención y alimentación a los polluelos o hacer mas viajes de menor duración para llevar la mayor cantidad de alimento al nido sacrificando su propia condición física (36). Siguiendo este principio se ha encontrado que algunas aves marinas tienen una tendencia bimodal en sus viajes, alternado viajes largos y cortos para satisfacer tanto sus propias necesidades como las de sus polluelos (36). Lo que podría detectarse como dos zonas de mayor ocurrencia de aves una a mayor distancia que la otra de la colonia.

## **Ecología del forrajeo en aves marinas**

El mayor reto que enfrentan las aves marinas al alimentarse en el mar es el de encontrar a sus presas en primer lugar, tratándose de un medio homogéneo en apariencia, y que los peces que consumen pasan el día en grandes y densas congregaciones dispersas entre sí. De manera que como respuesta a las dificultades su comportamiento en el mar se basa en el forrajeo de grupo. Además, el forrajeo se vuelve un esfuerzo comunitario en el que los diferentes organismos se valen de la presencia de otros depredadores para identificar grandes cardúmenes, lo que se conoce como expansión local. Los diferentes depredadores atacan en conjunto, concentrando las presas y haciéndolas más accesibles para todos (37,38).

Con el inmenso número (puede haber grupos de forrajeo de miles de individuos) que alcanzan estas aves se tiene que considerar la posibilidad de competencia entre estas. Cuando esta se da, puede ser de dos formas:

La competencia por dispersión de recursos, ocurre cuando un recurso finito al ser repartido equitativamente entre los competidores termina dejado a todos insatisfechos. Entre las aves guaneras ocurre durante el fenómeno de El Niño, áreas con sobrexplotación pesquera a nivel local y otras épocas en que la anchoveta escasea. Presentando diferentes consecuencias según la intensidad, desde una mayor cantidad de viajes de pesca, abandono de nidos y llegando a producir grandes mortalidades en casos extremos (39). Lo que podría verse como un aumento en las distancias recorridas en busca de alimento, alejándose más de sus islas, su número

podría parecer mayor también al pasar estas más tiempo en el mar buscando peces que consumir.

La competencia por interacción, es el caso de que una especie o individuo es excluido de acceder al recurso por la fuerza o alguna desventaja intrínseca frente a los demás competidores. Esto lo vemos en el caso del pelicano frente a especies mucho más numerosas y con mayor capacidad de buceo, por lo que se dedica a forrajear durante la noche cuando la anchoveta se acerca más a la superficie y las otras especies están descansando (28). En este caso podríamos encontrar una segregación entre las especies, pasando cada una a forrajear en áreas o tiempos diferentes,

Sin embargo, en la mayoría de los casos va a primar la cooperación, ya que consumen un recurso muy abundante y la principal dificultad radica en ubicarlo. De forma que se reúnen en grandes bandadas para incrementar sus probabilidades de encontrar un cardumen significativo y tienden a cambiar de rumbo cuando observan otros grupos de aves. Existe transferencia de información social, que empieza en agrupaciones de aseo cerca a la colonia donde pueden observar a las aves que regresan sin la interferencia del resto de la actividad de la colonia, y vuelan en grupos de modo que son más visibles para otras aves. También resulta ventajosa la casería en grupos porque ante múltiples ataques de depredadores diversos los cardúmenes entran en caos tratando de evadirlos, son empujados a la superficie por depredadores subacuáticos y se reduce la capacidad aeróbica de los peces quedando exhaustos, de manera que se facilita su captura (10,40,41).

## **Justificación**

El presente estudio intenta avanzar hacia un mayor entendimiento de los factores que afectan la distribución de las aves guaneras y las relaciones entre estos depredadores y con sus presas. Lo que es fundamental para entender los flujos energéticos y la dinámica de un ecosistema. Como también para conocer mejor sus respuestas ante la alta variabilidad climática del sistema y su posible reacción frente a cambios ambientales de gran escala que se proyecta ocurrirán en el futuro.

Al tener una mejor idea de la forma en que las aves se distribuyen en el mar, se facilitará la planificación de medidas de conservación. Principalmente durante su época de cría cuando son más vulnerables a la escasez de alimento, y a plantear la pesca desde un enfoque ecosistémico en el mar del Perú, de forma que se pueda mantener a futuro las poblaciones de pequeños peces pelágicos y de aquellas especies que dependen de ellos.

## **Objetivos**

### **Principal**

Describir la forma en que la abundancia y distribución de la anchoveta se relaciona con la distribución espacial de las aves guaneras del Perú.

### **Específicos**

- Explicar la variación de la distribución de aves guaneras en los principales escenarios climáticos del mar peruano.
- Identificar las relaciones entre la abundancia de anchoveta y la abundancia de aves.
- Establecer cómo se relaciona cada una de las especies de aves con las demás.

### **Hipótesis**

Las aves guaneras de cada especie tienen una distribución que refleja aquella de las anchovetas y suelen encontrarse próximas a estas, lo que puede comprobarse a través de diferentes escalas.

## **Metodología**

### **Diseño del estudio**

El presente estudio es de naturaleza cuantitativa correlacional, en base a datos históricos de abundancia de los cruceros del IMARPE, considerando 17 cruceros realizados entre 1998 y 2013. Se busca explicar la distribución en el mar de las cuatro especies de aves guaneras (cormorán, pelicano, piquero peruano y piquero de patas azules) y la forma en que hacen uso de su principal recurso alimenticio, la anchoveta. Esto se realizó a partir de una serie de variables explicativas que incluyen la presencia de otras aves, tanto en total como de cada especie, la biomasa de anchoveta, la latitud, la longitud, la fecha, la profundidad y la distancia a tierra.

### **Población**

La población examinada en el presente estudio corresponde a las aves guaneras adultas, refiriéndose a aquellas que se embarcan en sus propias expediciones de pesca, dentro de los confines del mar peruano

Las especies que se han considerado, son las de mayores poblaciones en la región y por ende las grandes productoras de guano. En primer lugar el cormorán peruano o guanay (*Leucocarbo bougainvillii*) con una población aproximada de 2.33 millones, también los piqueros peruano (*Sula variegata*) que cuenta con alrededor de 1.76

millones de aves, el piquero de patas azules (*S. nebouxii*), y por último el pelícano peruano (*Pelecanus thagus*) con 0.21 millones de individuos aproximadamente (2).

La época de cría se extiende entre setiembre y marzo, salvo para el guanay que inicia en octubre. Aunque las fechas de anidación pueden variar según las condiciones ambientales de cada año. En este periodo las aves se encuentran atadas a la isla donde anidan y han de regresar a esta diariamente.

### **Muestra**

Los datos para la investigación fueron obtenidos a través del IMARPE que realiza un continuo esfuerzo de muestreo a lo largo de la costa peruana. A bordo del BIC Humblodt y el BIC Olaya se obtuvieron entre otros datos de la biomasa de peces y la cantidad de aves observadas. De esta información se nos facilitó la data de 17 cruceros entre 1998 y el 2013.

El muestreo en cada crucero fue realizado por observadores en grupos de dos (un observador y un anotador). Utilizándose el método de puntos, con estaciones cada milla náutica a lo largo del trayecto del crucero, que tuvo una velocidad promedio de 10 nudos. Donde se registran todas las aves marinas que se encuentran hasta una distancia menor de 500 m y un ángulo de 90° de proa, señalando su especie. No se realizaron observaciones durante la noche ni durante los lances de comprobación de abundancia o estaciones oceanográficas.

También se cuenta con datos de acústica que caracterizan la distribución y abundancia de peces pequeños, correspondiendo principalmente a los grandes cardúmenes de anchoveta, a través del recorrido de la embarcación. Otros datos tomados por las embarcaciones incluyen las coordenadas geográficas de cada punto evaluado, la fecha y hora de muestreo, y la profundidad total del mar en cada estación.

Una muestra de la tabla de datos completa se incluye en el anexo I. Mientras que la distribución de los puntos evaluados en los diferentes cruceros de IMARPE se incluye en la figura 9.

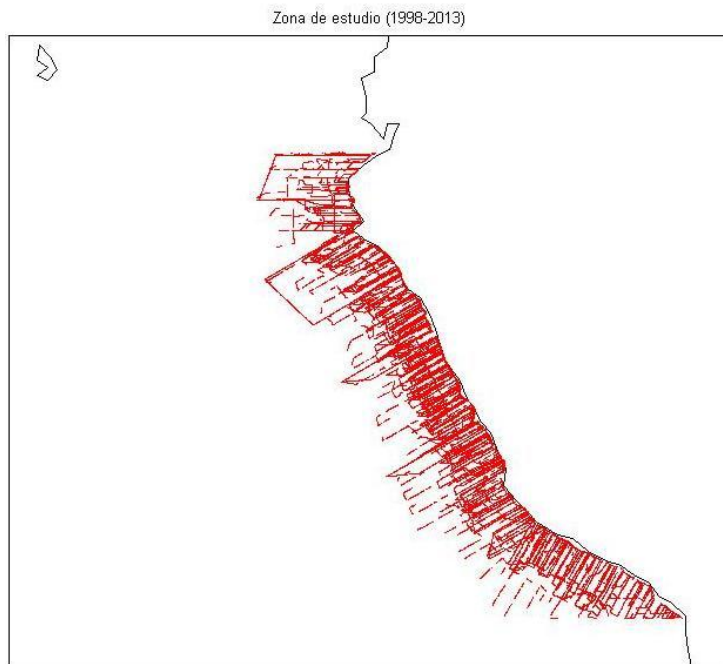


Fig. 9 – Distribución de los puntos evaluados en los diferentes cruceros de IMARPE

## **Operacionalización de variables**

Los datos fueron ordenados creando categorías estándar de datos a través de los diferentes cruceros y eliminando todos los puntos que no incluían datos para las aves marinas, ya sea porque las condiciones climáticas no permitieron realizar el conteo en ese punto o porque esa parte del recorrido se realizó durante la noche impidiendo su evaluación. Como también fueron desestimados seis cruceros adicionales, debido a que no contaban con los datos mínimos para poder incorporarlos al estudio (cantidad de aves de cada especie, coordenadas geográficas, cantidad de anchovetas y fecha).

Además se realizó el cálculo de la distancia a la que se encontraban los diferentes puntos de la costa e islas del litoral peruano, calculando la menor distancia entre cada punto y una base de datos con las coordenadas a lo largo de la costa.

Teniendo los datos de cada crucero en un formato estándar se procedió a unificar todos los datos en una tabla de datos, incorporando la variable de “crucero” para poder manejar cada uno independientemente del resto cuando sea necesario. Además se añadió las variables de total de aves como la sumatoria de las cantidades de las especies de aves ya comprendidas. Obteniéndose como variables dependientes la abundancia de aves de cada especie (cormoranes, pelícanos, piqueros peruanos y piqueros de patas azules) y como variables independientes la fecha, las coordenadas geográficas, la distancia a la costa, la profundidad y la cantidad de anchoveta.

Se creó una grilla que comprende el área del mar peruano dentro de la que fueron asignados de forma automática los diferentes puntos evaluados según las coordenadas

de cada uno, de modo que fuera posible una comparación espacial a través del mar del Perú.

### **Plan de Análisis**

El análisis de la distribución de las aves se realizó comparando la abundancia de cada especie por segmentos de la costa peruana determinados de acuerdo a los dos factores geográficos de mayor influencia. La latitud en intervalos de  $0.1^\circ$  y la distancia a tierra en intervalos de un kilómetro cada uno. En este último se consideró tanto el litoral como las islas del mar peruano, existiendo numerosos centros de anidación en ambos.

Luego se graficó la distribución de las diferentes especies de aves para cada crucero, de modo de poder verificar las áreas que utilizan las aves a través de los años. Para la anchoveta se elaboró los gráficos con los datos transformados con la raíz cuadrada, para facilitar su visualización. Se procedió a comparar su distribución a partir de tres cruceros seleccionados para que representen un clima normal, un Niño extraordinario y una Niña moderada. Desafortunadamente en ningún año normal se realizó un recorrido total de la costa, de modo que se procedió a utilizar uno que cubría la costa norte y centro.

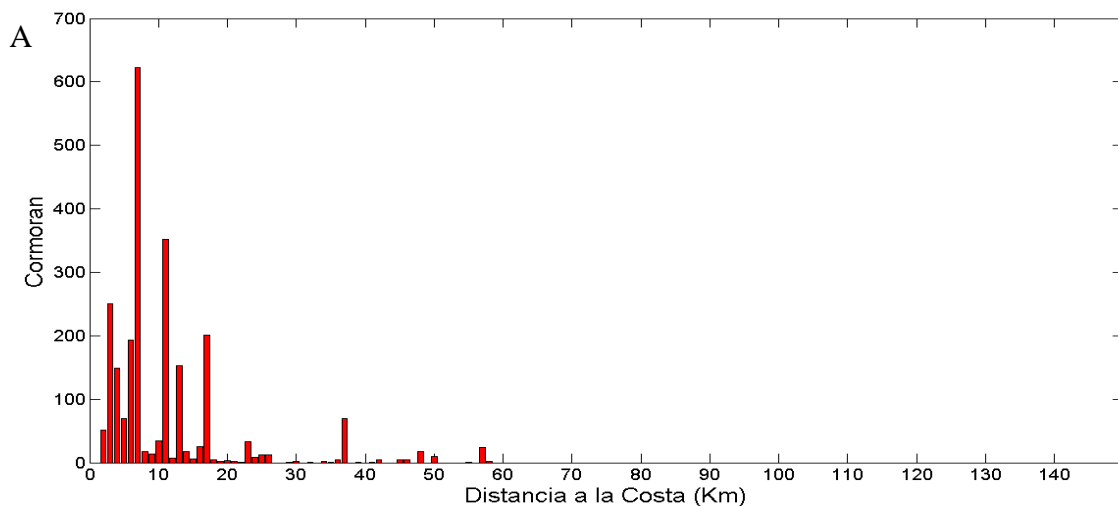
Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la normalidad de los datos de abundancia de la anchoveta y de cada especie de ave evaluada, rechazándose la normalidad de estos datos.

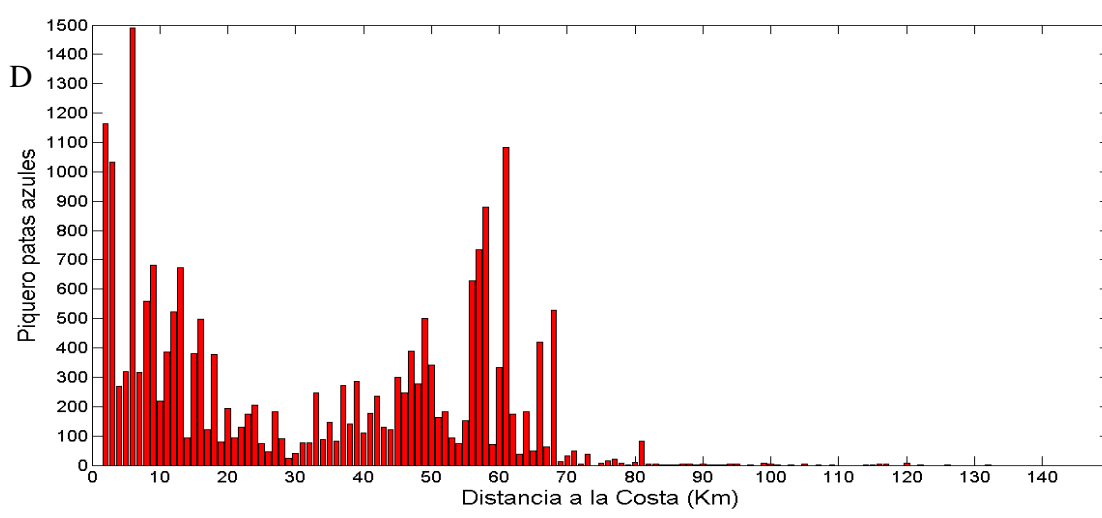
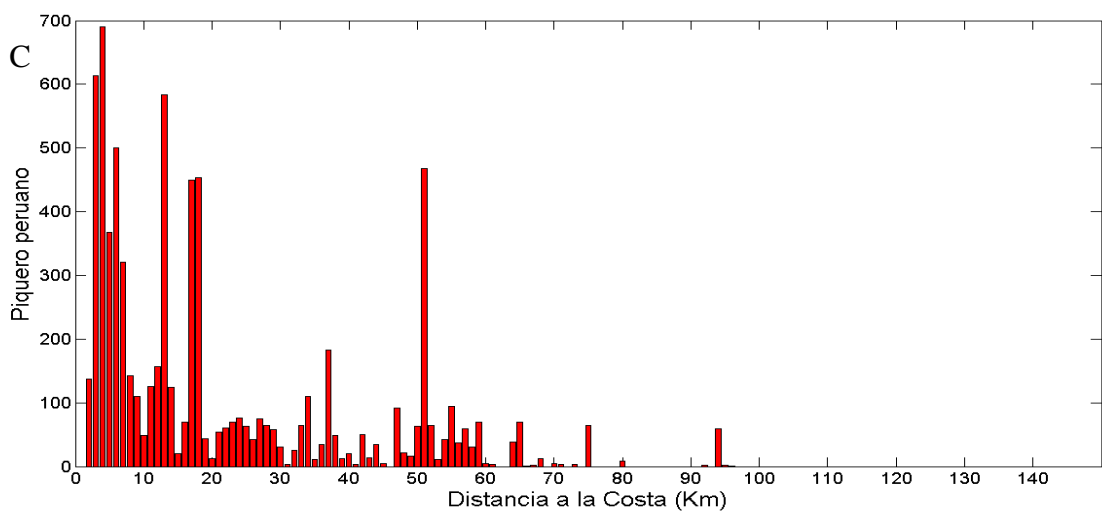
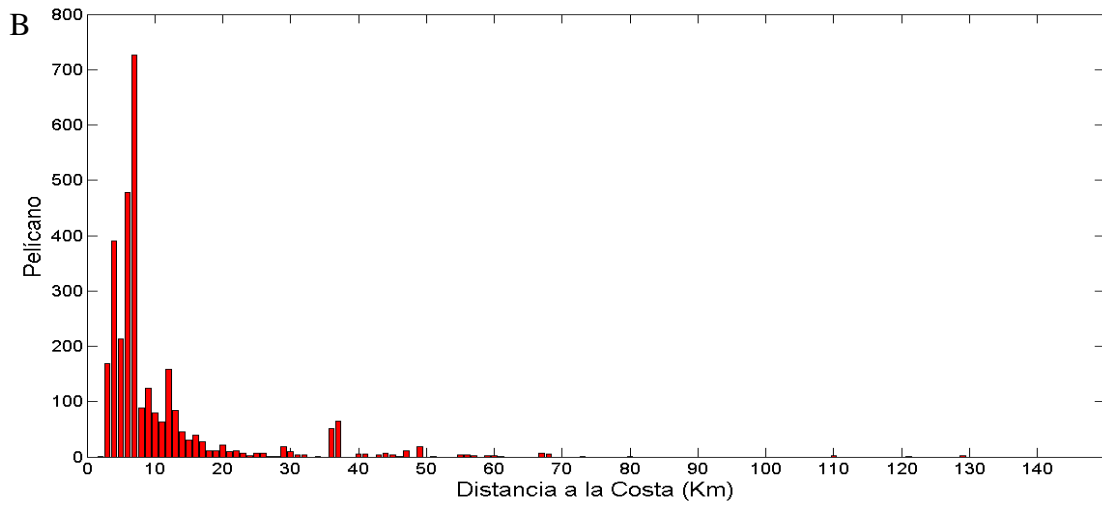
Se realizaron correlaciones de Spearman entre las diferentes especies de aves y la anchoveta, buscando ver como se relacionan a la escala de muestreo, en intervalos de 1 Km de distancia a la costa y en franjas latitudinales de 0.5°. Se utilizó el método de Spearman porque este no sufre un sesgo tan grande como la Pearson por la influencia de valores extremos y por la falta de una distribución normal en los datos.

Se analizó la evolución de la relación ave-anchoveta a través de un rango de escalas, tomando la regresión lineal por mínimos cuadrados entre ambas en una serie de intervalos a través del rango y graficando el cambio del  $R^2$  en las distintas escalas. Se realizó para cada especie de ave guanera y el total de aves como variables dependientes, cada una en función de la anchoveta su principal fuente de alimento. Para lo que se utilizó un rango de escalas entre 1 y 1000 Km a intervalos de 20 Km y un rango entre 1 y 500 Km a intervalos de 10 Km de modo de que se revele la relación entre ambas variables desde una escala fina a una gran escala.

## Resultados

Se pudo observar que las aves no utilizan las zonas más próximas a tierra, no habiéndose registrado ninguna a menos de un kilómetro de la costa o islas y mientras las dos especies de piqueros se observan en números importantes a partir de un kilómetro, tanto el cormorán (52 ind.) como el pelícano (1 ind.) mantuvieron números bajos hasta dos kilómetros de la costa. En las cuatro especies se observó el mayor nivel de utilización en el área siguiente, concentrando la mayoría de los respectivos avistamientos, el cormorán hasta los 7 km, el pelícano y el piquero peruano hasta los 14 Km y el piquero de patas azules hasta los 18 Km. Si bien tanto el cormorán como el piquero tuvieron picos aislados después de esto, el piquero de patas azules se diferencia al tener dos centros de concentración más entre los 45 y 50 Km y entre los 56 y 68 Km, mostrando una mayor dispersión de su población en el mar con respecto al litoral. (Fig. 10)





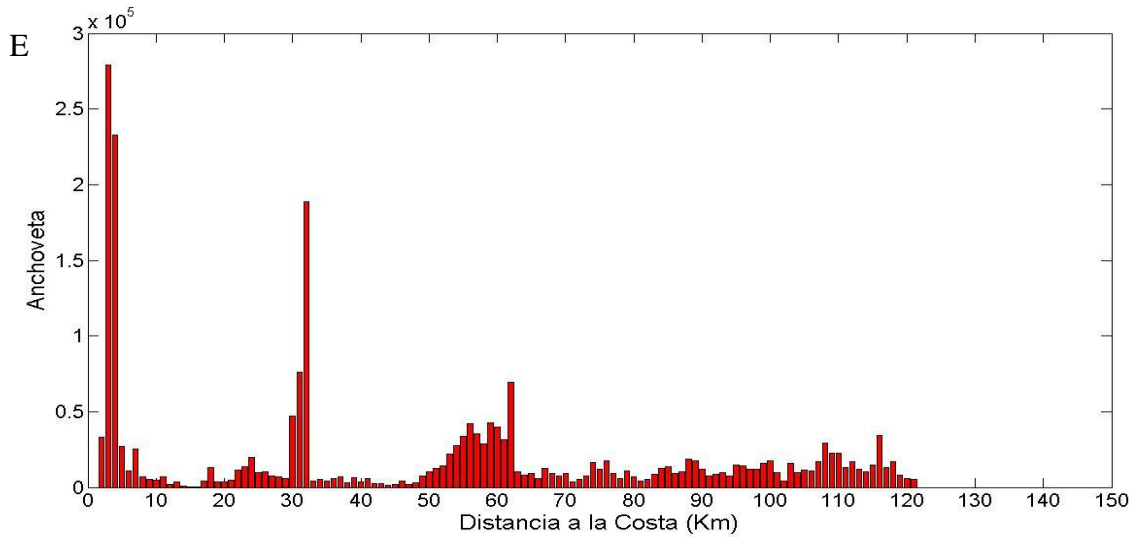


Fig. 10- Distribución de cada especie según la distancia a la costa.

Latitudinalmente se encuentra que las aves utilizan la mayor parte de la costa, aunque son relativamente escasas al norte de los  $5^\circ$  sur. Su distribución presenta una fuerte presencia en algunas secciones, separadas por zonas con observaciones relativamente escasas o ausentes. Si bien existen coincidencias entre las especies, los mayores grupos tienden a no estar acompañados por otros de otras especies o a solo estarlo por grupos relativamente pequeños. En general se encuentran a lo largo de la costa, salvo el piquero de patas azules que se concentra en la zona norte. (Fig. 10)

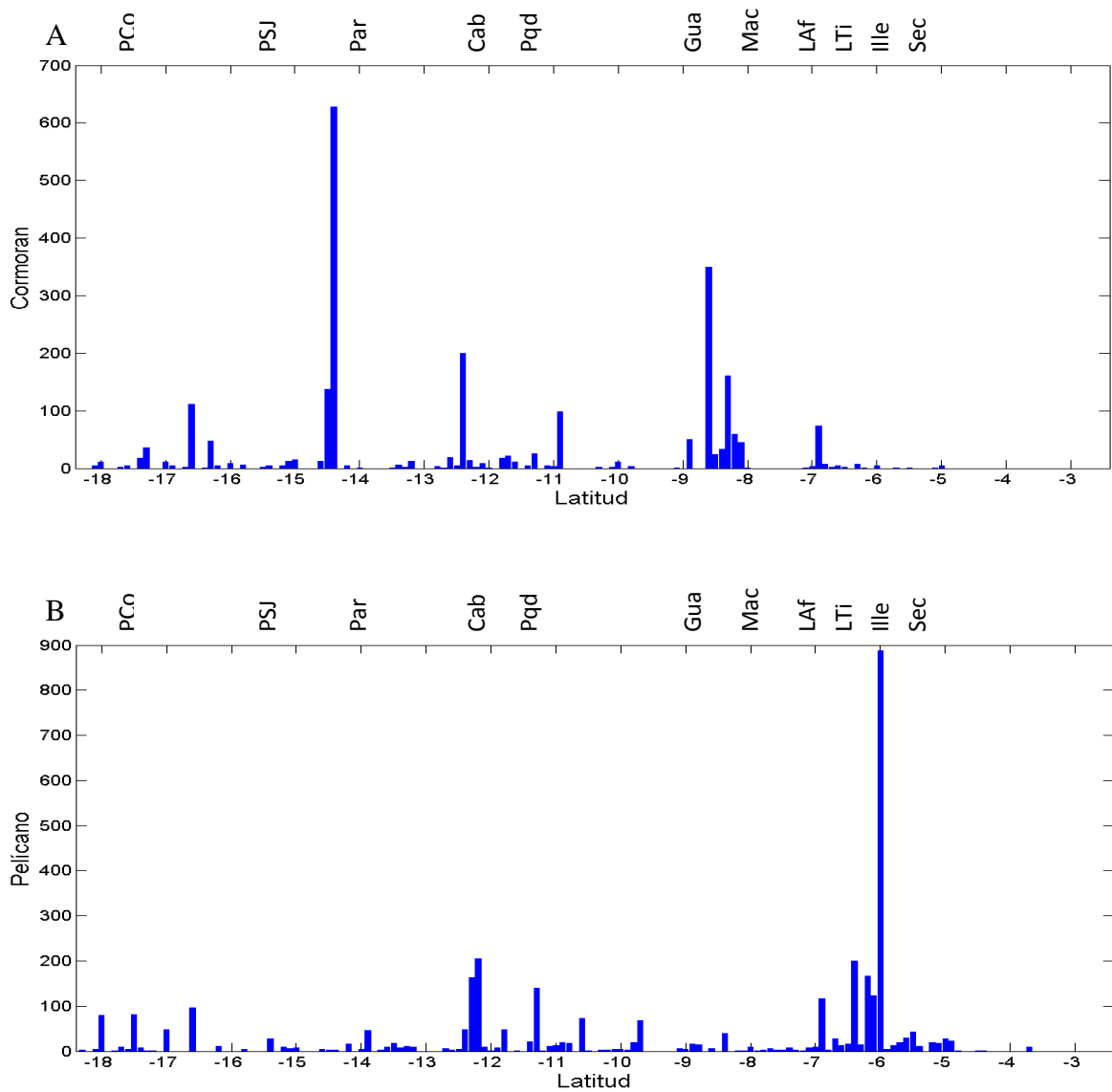
El piquero peruano tuvo la mayor cantidad de registros entre las aves evaluadas, especialmente en su punto máximo en el que alcanza los 8472 individuos a los  $11.8^\circ$  sur. Se extiende por todo el litoral al sur de los  $4.6^\circ$ , aunque no pasa de ser ocasional al norte de  $6^\circ$ , estando mayormente ausente y con números de hasta 13 de lo

contrario. Se encuentran también cantidades importantes a lo largo de la costa, teniendo los: 8.4, 8.6, 9.3, 10.2, 11, 11.4-11.9, 12.2-12.4 17.1° sur considerando acumulados de más de 500 aves. Además es común hallar agregados de más de cien aves a través de la costa. (Fig.11-C)

Entre las especies estudiadas es en el piquero de patas azules que se ve la mayor concentración, hallándose la gran mayoría de su población entre los 4.9 y 9.9° sur, con apariciones esporádicas de unos pocos individuos hasta los 3.8° sur hacia el norte y 17.9° hacia el sur. Las secciones de mayor ocurrencia fueron la de 7.7° sur con 2210 aves y la de 7.1° con 1997. Luego de su máximo se ve un descenso gradual de sus números hacia el norte, pero este es pronunciado hacia el sur, por debajo de los 8.1° no alcanza ni el 10 % del máximo y rara vez pasa de los diez individuos al sur de los 9.9° sur. (Fig. 11-D)

La población registrada del cormorán se encuentra concentrada en unas pocas secciones, estando representado en las demás por apariciones ocasionales de pocos individuos. Esta ave fue encontrada en la mayor parte del litoral peruano al sur de los 5°, con unas lagunas de ausencia como de 7.3 a 8.1°, de 9.2a 9.9 y, entre 10.5 y 11° sur. Sus mayores números fueron encontrados sobre los 14.5° sur con 628 aves, mientras que otros puntos importantes para esta especie incluyen: a 7° (74 aves), 8.4° (161 aves), 8.7° (350 aves), 11° (98 aves), 12.5° (200 aves), 14.6° (137 aves) y a los 16.7° (111 aves). (Fig. 11-A)

Entre los pelícanos, predominan totales bajos en las secciones consideradas, repartidos por toda la costa al sur de los 3,8° sur. El total de aves por sección solo llega a superar las 100 aves en algunos puntos (6.1-6.3, 6.5, 7, 11.4, y 12.3-12.4° sur) el mayor de estos con 888 individuos se encuentra en los 6.1° sur. Hacia el extremo sur (16.7, 17.6 y 18.1° sur) se pueden observar otros tres puntos de importancia con 97, 81 y 80 aves respectivamente. (Fig. 11-B)



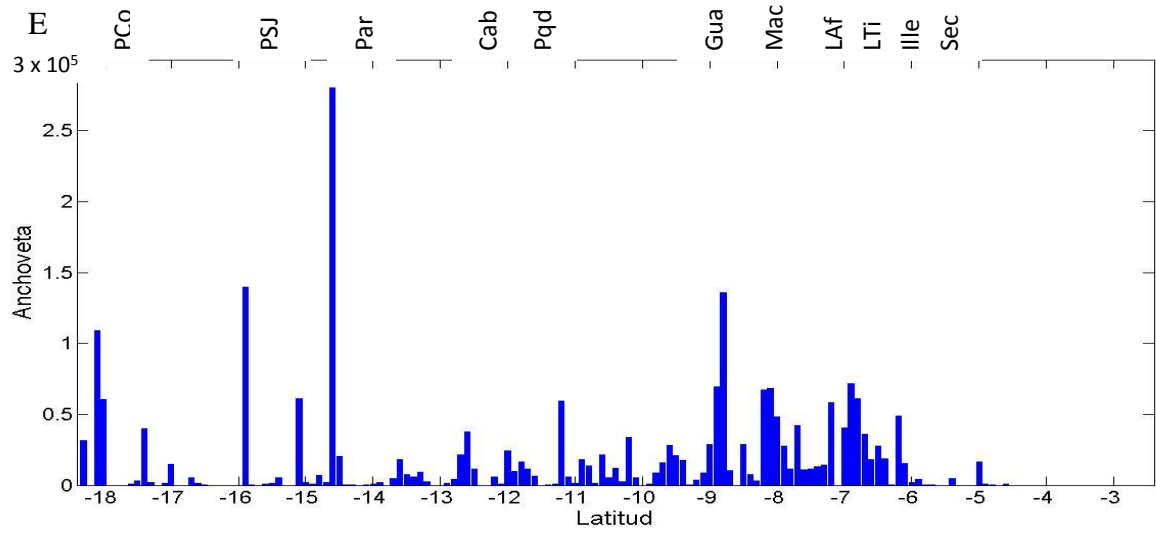
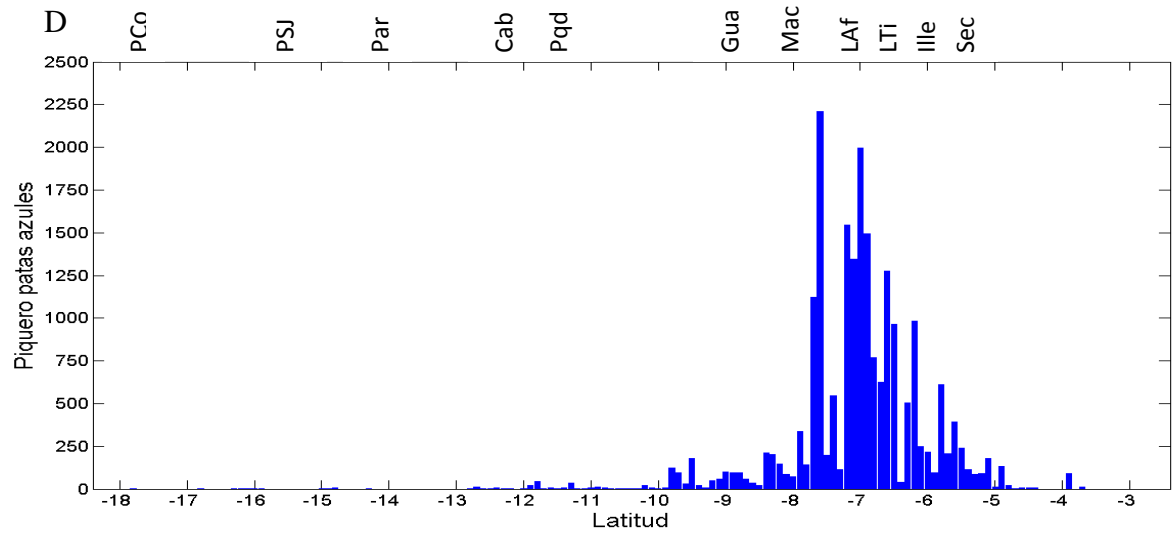
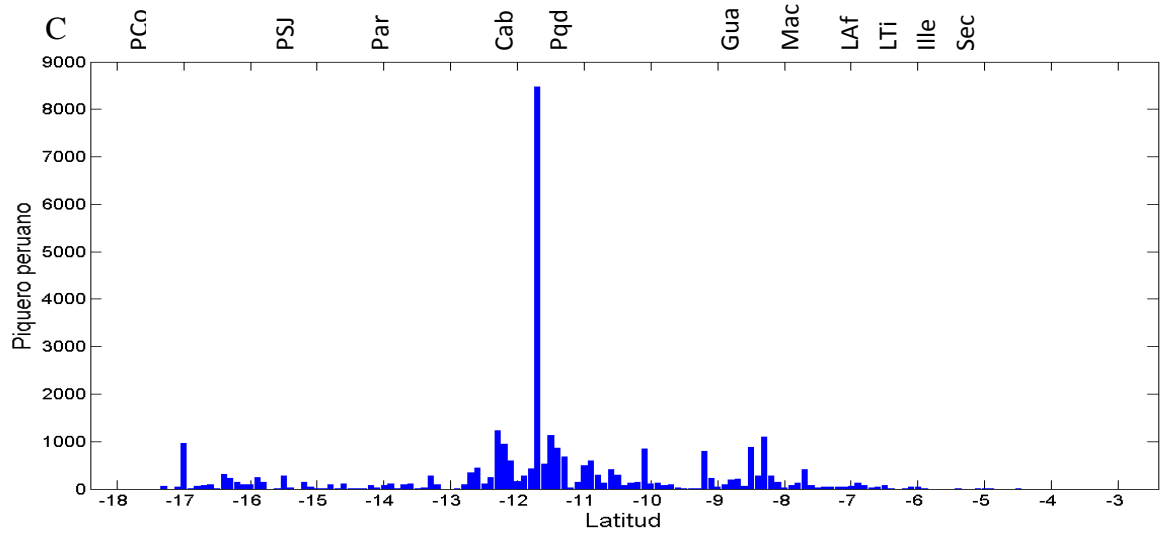


Fig. 11- Distribución de las aves y la anchoveta según la latitud. Se indica las latitudes de algunas islas y zonas de importancia: Punta Coles (PCo), Punta San Juan (PSJ), Reserva Nacional de Paracas (Par), islas Cabilzas (Cab), islas del grupo Pescadores (Pqd), islas Guañape (Gua), islas Macabí (Mac), islas Lobos de Afuera (LAf), Lobos de Tierra (Lti), Zona Reservada de Illescas (Ile), bahía de Sechura (Sec).

Se puede observar una agregación de individuos en zonas del litoral cercanas a reservas naturales que protegen sus áreas de anidamiento como la Zona Reservada de Illescas, la Reserva Natural de Paracas y las diferentes zonas protegidas por el sistema de islas y islotes y puntas guaneras, entre las que se destacan las islas Lobos de Tierra, Lobos de Afuera, Islas Chao, punta Culebras, la isla San Martín y las islas del grupo Pescadores.

Al observar los cambios a través de los años se encuentra una variabilidad importante entre los periodos de El Niño y LA Niña, y periodos normales; tomando como ejemplo cruceros de 1998 (Niño extraordinario), 2011(Niña moderada) y 2013 (Normal) se compara esta variabilidad.

De manera que durante El Niño se observa al piquero peruano ocupando un espacio continuo entre Tacna y el norte de Lima, cerca a la costa y en una concentración baja y mayormente uniforme a través del rango, aunque algo menor en su extremo norte y ligeramente mayor en el sur. Tanto los cormoranes como los pelícanos se encontraron

dispersos en pequeños grupos aislados entre sí en la costa centro y sur. Además cada especie presentó un grupo con una parte importante de los ejemplares observados, en el caso del pelícano este se encontraba en la zona de Illescas y para los cormoranes en la bahía de La Independencia. Por último el piquero de patas azules se concentró al norte en la bahía de Sechura y la zona de las islas Lobos de Afuera y Lobos de Tierra, además de apariciones menores más al sur hasta el norte de Lima. (Fig. 12-A)

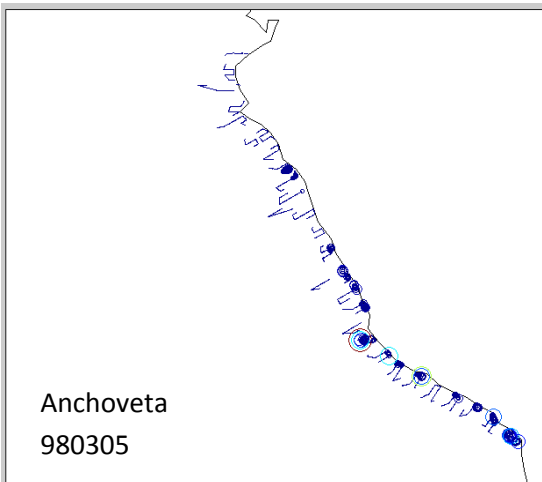
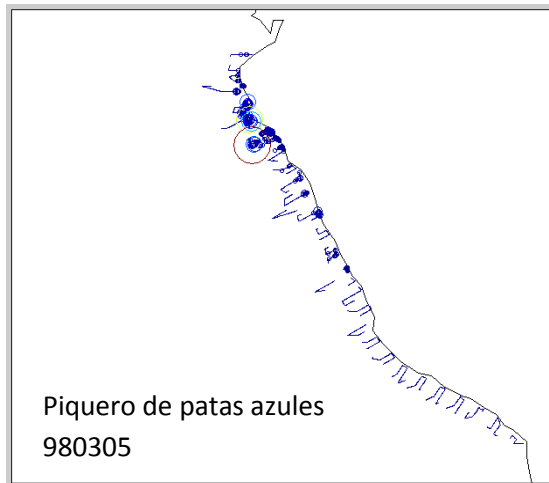
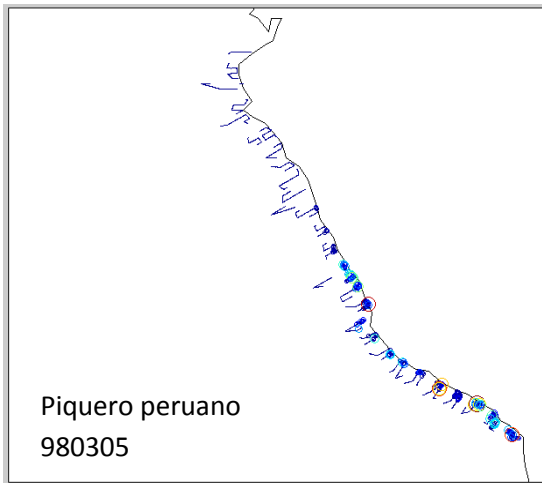
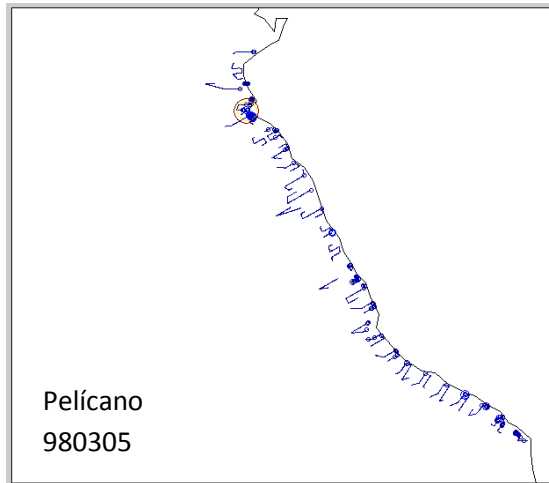
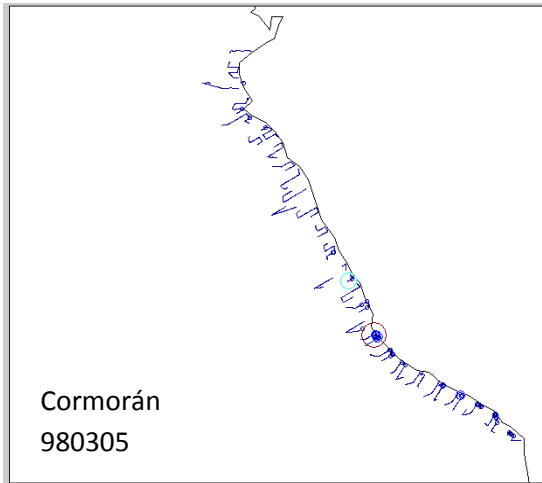
En el periodo de La Niña se tiene que el piquero peruano cuenta con una mayor población con concentraciones medias a través de la costa entre Illescas y Paracas, y en densidades bajas entre Paracas y Tacna. Se reconocen cuatro grupos importantes de piqueros peruanos, en Illescas y las islas Lobos de Tierra y Lobos de Afuera, entre Ancash y La Libertad alrededor de isla Santa, isla Chao, islas Guañape y hasta el islote Corcovado, entre Paracas e isla Asia y un grupo menor alrededor de las islas del grupo Pescadores. Grupos de cormoranes de densidad variable se ven a través de la costa, desde Illescas hasta Tacna, con un grupo grande cerca de isla Santa, grupos menores cerca de las islas del grupo Pescadores, la zona entre isla Asia e islas Chincha, el área de Punta Atico, entre otros más pequeños. Se encontraron grupos pequeños de pelícanos dispersos por la costa principalmente cerca a Illescas, isla Santa y la costa de Tacna. Mientras que los piqueros de patas azules se mantuvieron en su gran mayoría en el área entre Illescas y las islas Lobos de Afuera, en menor proporción en esta última y más cerca a la costa que en el caso anterior. (Fig. 12-B)

En un año normal se vio a los piqueros en grandes grupos de mayor densidad, el mayor en la zona de las islas Santa, Chao y Guañapes, otro por la bahía de Sechura y

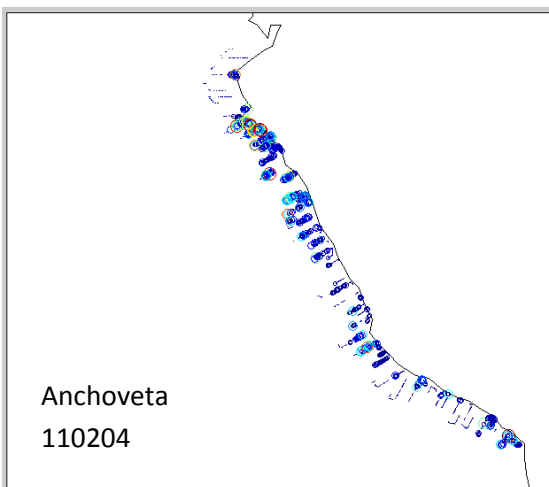
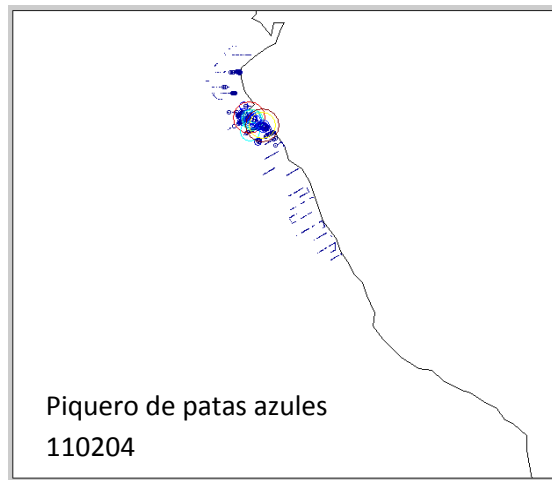
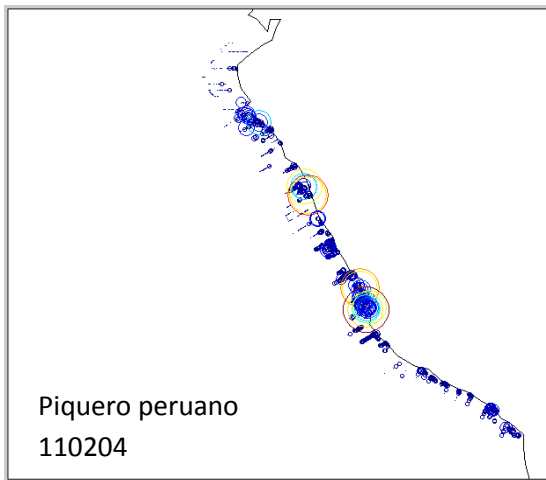
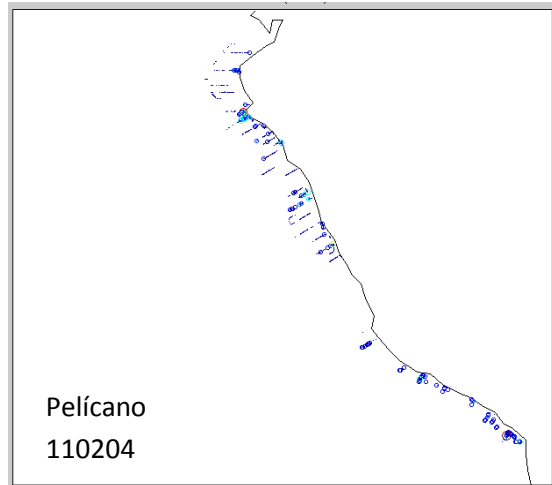
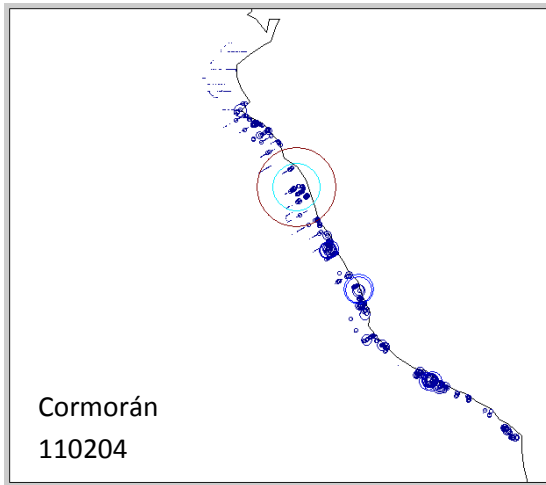
el menor en el área de Lobos de Afuera. Los cormoranes en su mayoría estuvieron en un gran grupo en la zona de isla Chao y el islote Corcovado que se extendió con menor densidad hasta Lobos de Tierra y un grupo pequeño en la bahía de Sechura. El pelícano fue observado en grupos pequeños desde Tumbes hasta la altura del islote Corcovado. Y el piquero de patas azules se encontró concentrado mayormente en el área de las islas Lobos de Tierra, Lobos de Afuera y Macabí, con un grupo menor entre la bahía de Sechura y Tumbes, en este caso con una mayor proyección mar adentro que en los casos anteriores. Este último crucero solo evaluó la costa centro y norte, por lo que no se puede hacer referencia a la costa sur. (Fig. 12-C)

Por su parte la anchoveta durante El Niño mostró una presencia en el sur y centro compuesta por grupos relativamente pequeños y cercanos a la costa. En la Niña se la encontró por toda la costa al sur de la bahía de Sechura, aunque con mayor densidad hacia el norte. Mientras que en el año normal se tiene una gran cantidad de individuos en la parte de la costa de la que se tienen datos, el norte y centro, llegando al norte hasta Talara (Fig. 12).

A



B



C

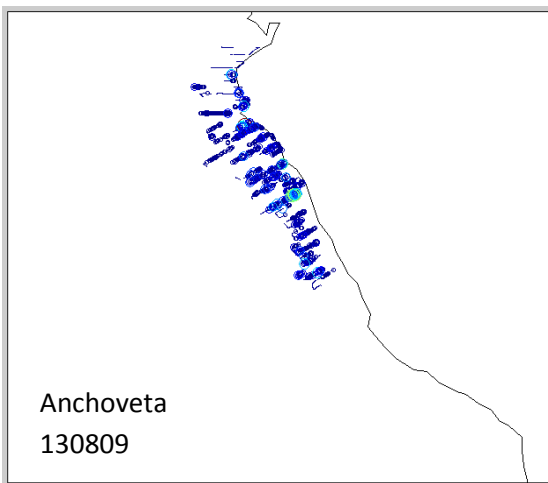
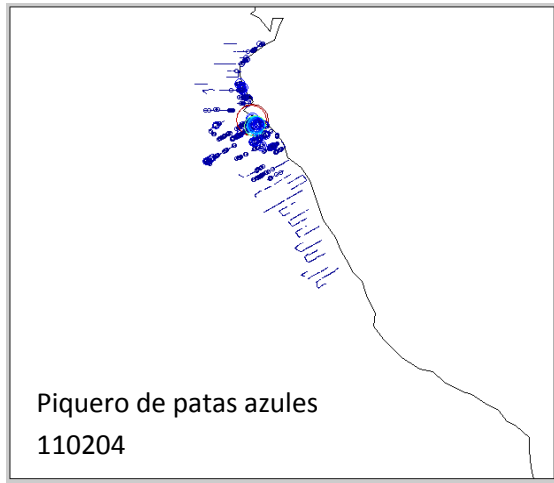
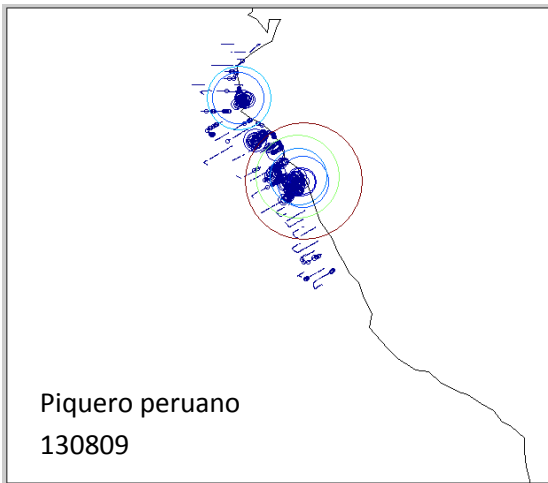
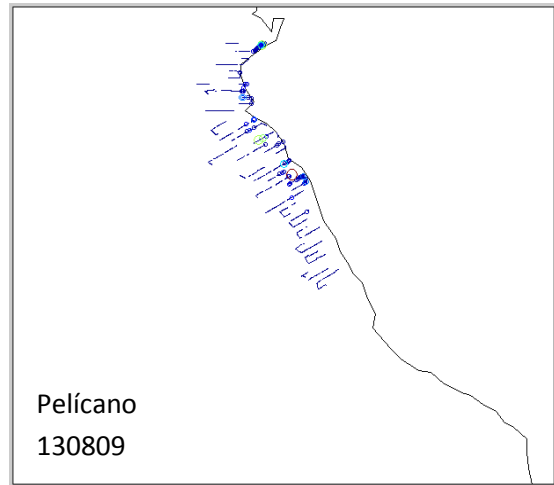
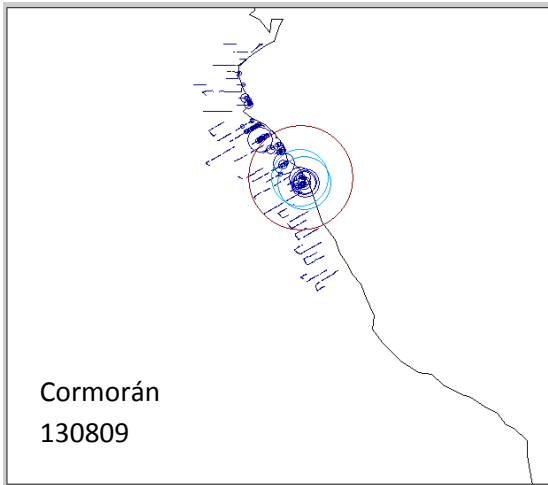


Fig. 12- Distribución de las especies de aves guaneras y la anchoveta (transformación raíz cuadrada) en 3 cruceros que corresponden al fenómeno de A.- El Niño 1998 (980305), B.- de La Niña 2011 (110204) y C.- un año normal, el 2013 (130809).

La anchoveta se encontró a través de la costa desde los 4.5° con mayor presencia entre 6.5 y 8°, la zona de las grandes colonias entre las islas Macabí y Lobos de Tierra, en la zona de mayor afloramiento del sur frente a San Juan de Marcona (15.5°) y punta Lomitas (14.5°), y 18° frente a punta Coles (11-E). Desde la costa no se registró su presencia en el primer kilómetro y con varias zonas de alta densidad, entre los 2 y 7 Km, entre 30 y 32 Km y entre los 53 y 62 Km. Estos tres puntos de alta densidad se encuentran separados por zonas con concentraciones bajas. Después de los 62 Km en densidades intermedias hasta casi el punto de su máxima extensión oceánica a 121 Km de la costa. (Fig. 10-E)

Usando una grilla de amplitud variable se pudo comprobar la intensidad de la asociación entre las aves, tanto en su conjunto como por especie, con la anchoveta como presa principal. Se encuentra una progresión entre una completa desconexión entre las variables en las escalas más finas hasta una correlación total en la gran escala, para las aves en general con una amplitud de 100 Km el  $R^2$  se aproxima a 0.5, a los 300 Km está cerca a 0,9 y bordeando la unidad en adelante. En el caso específico del cormorán la progresión es menos pronunciada pero guarda la misma tendencia, con un avance casi lineal hasta una amplitud de 500 Km donde bordea un

$R^2$  de 0.9. El piquero sigue la tendencia asintótica de las aves en general pero en forma más difusa, mientras que el pelícano tiene una progresión similar a la de las aves en su conjunto. (Fig. 13)

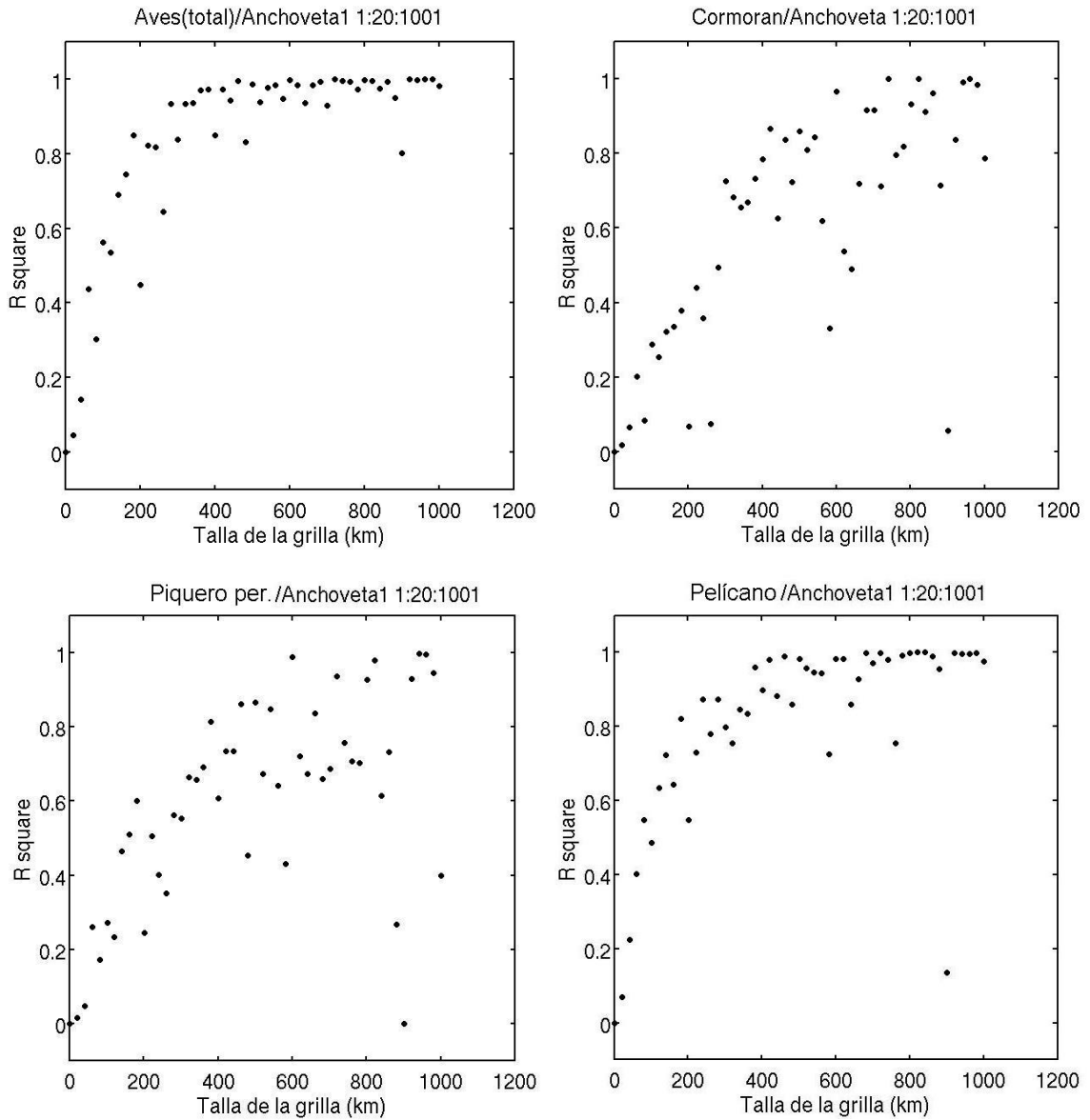


Fig. 13- Comparación de la relación entre las aves guaneras y anchovetas a través de un rango de escalas espaciales.

Al realizar las correlaciones, se encontró relaciones altamente significativas para las cuatro aves a nivel de muestreo y en bandas de 0.5° de latitud para el cormorán y significativos en el caso del pelícano. Tanto el cormorán como el pelícano pasan de una relación ligera en el primer caso a una moderada al aumentar la escala (cormorán:  $R_1=0.1695$ ,  $p<0.01$  y  $R_2=0.4774$ ,  $p<0.01$ ; pelícano:  $R_1=0.1288$ ,  $p<0.01$  y  $R_2=0.3757$ ,  $p<0.05$ ). El piquero de patas azules también pasa de una relación ligera a una moderada con el cambio de escala, pero el segundo caso no es significativo ( $R_1=0.1577$ ,  $p<0.01$  y  $R_2=0.3315$ ,  $p=0.0685$ ). Mientras que el piquero peruano mantuvo una relación similar, pero solo significativa en el primer caso ( $R_1=0.2325$ ;  $p<0.01$  y  $R_2=0.2336$ ,  $p=0.2059$ ) (Tabla 1).

Las relaciones entre las especies de aves son variables según la comparación que se haga. La de mayor cercanía es entre cormoranes y pelícanos, siendo ligera en la menor escala ( $R_1=0.2$ ,  $p<0.01$ ) a alta en mayor escala ( $R_2=0.7869$ ,  $p<0.01$ ), similarmente el pelícano y el piquero de patas azules van de una relación ligera ( $R_1=0.1564$ ,  $p<0.01$ ) a una alta ( $R_2=0.7737$ ,  $p<0.01$ ). En la misma tendencia los cormoranes y piqueros de patas azules pasan de no estar relacionados ( $0.0523$ ,  $p<0.01$ ) a una relación moderada ( $R_2=0.4833$ ,  $p<0.01$ ). Por el contrario la relación de los piqueros peruanos con los cormoranes es ligera con un pequeño decrecimiento ( $R_1=0.3992$ ,  $p<0.01$ ;  $R_2=0.3094$ ,  $p=0.0903$ ). Piqueros y pelícanos pasan de una relación ligera a no estar correlacionados ( $R_1=0.2630$ ,  $p<0.01$ ;  $R_2=0.0623$ ,  $p=0.7390$ ). La relación entre las dos especies de piqueros mientras tanto pasa de ser ligeramente positiva ( $R_1=0.1620$ ,  $p<0.01$ ) a ser ligeramente negativa ( $R_2= -0.2147$ ,  $p=0.2460$ ).

Tabla 1. Correlaciones de Spearman entre: Cormorán (Cor), pelícano (Pel), piquero peruano (Piq p), piquero de patas azules (Piq a) y la anchoveta (Anc). A nivel de los puntos de muestreo (n = 38838) (A) y de bandas de 0.5° de latitud (n = 31) (B).

A

Rho =					
	Cor	Pel	Piq pe	Piq az	Anc
Cor	1.000	0.200	0.399	0.052	0.169
Pel	-	1.000	0.263	0.156	0.129
Piq pe	-	-	1.000	0.162	0.233
Piq az	-	-	-	1.000	0.158
Anc	-	-	-	-	1.000
PVAL =					
	Cor	Pel	Piq pe	Piq az	Anc
Cor	1.000	0	0	0.000	0.000
Pel	-	1.000	0	0.000	0.000
Piq pe	-	-	1.000	0.000	0
Piq az	-	-	-	1.000	0.000
Anc	-	-	-	-	1.000

B

Rho =					
	Cor	Pel	Piq pe	Piq az	Anc
Cor	1.000	0.787	0.309	0.483	0.477
Pel	-	1.000	0.062	0.774	0.376
Piq pe	-	-	1.000	- .215	0.234
Piq az	-	-	-	1.000	0.332
Anc	-	-	-	-	1.000
PVAL =					
	Cor	Pel	Piq pe	Piq az	Anc
Cor	1.000	0.000	0.09	0.006	0.007
Pel	-	1.000	0.739	0.000	0.037
Piq pe	-	-	1.000	0.246	0.206
Piq az	-	-	-	1.000	0.069
Anc	-	-	-	-	1.000

## **Discusión**

La distribución de las aves con respecto a la costa evidencia los principios del forrajeo central que indican un límite a la distancia que es posible para las aves alejarse de sus colonias y el mayor provecho que se obtiene de la alimentación en mayor proximidad a su punto de origen por un menor gasto energético en el recorrido (42). De igual forma también podría ser el resultado de la mayor abundancia de anchoveta cerca a la costa. Así se puede ver en el terreno conductas que reflejan la teoría, pero que podrían deberse a otros factores, siendo probablemente resultado de ambos en conjunto. Salvo el caso de la intensidad de muestreo que probablemente solo aumente la expresión en los datos de aquello que ocurre en el mar.

La falta de individuos en los primeros dos kilómetros desde la costa resultaría consistente con el principio del halo de Ashmole que habla sobre la depleción de recursos en la proximidad de las colonias (33), aunque también puede mostrar un intento de alejamiento de la perturbación de las actividades humanas, entre otros factores. Aunque en realidad lo más probable es que se deba al menor esfuerzo de muestreo que reciben estas zonas.

La mayor dispersión de la población del piquero de patas azules se debería a que al ser propio del mar tropical en el norte del país se encuentra en aguas de menor riqueza y se ve obligado con mayor frecuencia a realizar grandes recorridos en busca de alimento. De manera que en esta especie se llega a expresar, una mayor variación

en la distancia a la que viajan durante el forrajeo, con predominancia de vuelos cortos y largos. Lo que podría indicar que priorizan respectivamente una provisión continua de alimento a sus pichones y la obtención de una mayor cantidad de alimento para mantener el fitness del adulto (36); o por la diferente disponibilidad de alimento entre distintas temporadas.

Se encontraron mayores diferencias entre las especies de aves con respecto a la latitud que según su distancia de la costa, donde tendían a no alejarse demasiado de tierra. Lo que obedecería a la mayor variabilidad de las condiciones a lo largo de la costa que al alejarse de esta, donde se tiene una progresión general entre condiciones ricas de la costa y aquellas de bajos recursos en el océano abierto, fuera de la zona de afloramiento (20).

Se puede encontrar un cambio de dominancia alrededor de los 8° sur, con una mayor presencia de piqueros peruanos y cormoranes hacia el sur, mientras que el piquero de patas azules es más abundante al norte. Solo en el caso del pelícano se observa la presencia de cantidades importantes tanto al norte como al sur de los 8°. Las otras especies mostraron solo una presencia menor al otro lado de la línea, como parte de un declive gradual de su presencia y cambios ocasionales producidos por la variación del clima (43). Este cambio se da alrededor de dos grados al sur del cambio habitual entre el ecosistema de Humboldt y las aguas tropicales de la costa norte. Lo que puede deberse a la incursión de piqueros de patas azules al extremo norte de las aguas más ricas del mar de Humboldt, donde el clima aun les resulta aceptable.

Manteniendo los piqueros de patas azules una presencia continua en las islas de Lobos de Tierra y Lobos de Afuera (44).

Es notable que se haya encontrado una cantidad relativamente baja de cormoranes, siendo los que tienen la mayor población reportada (2). Aunque en general, mientras menor sea el tamaño de un ave y el contraste que genera con el ambiente mayor será la posibilidad de que se encuentre subrepresentada en un barco, por la dificultad de su detección (45). El cual es precisamente el caso de los cormoranes que al ser relativamente pequeños y de color oscuro, que se confunde en las aguas del mar, son más fáciles de pasar por alto que las demás aves.

En el caso del pelícano los bajos números observados concuerdan con su naturaleza que es menos gregaria que la de las otras aves y su tendencia a alimentarse durante la noche (28). Además que por su mayor tendencia a asociarse a muelles y operaciones de pesca donde consumen descartes de la actividad pesquera (28), se encontraría una menor proporción de su población recorriendo el mar durante las observaciones realizadas.

El extremo norte del país pareciera estar mayormente desprovisto de estas aves, en conexión con la falta de áreas donde establecer sus colonias, en una zona dominada por manglares y langostineras, y una menor cantidad de alimento en las aguas. Por lo que podría pensarse que los piqueros de patas azules de esta zona se encuentran aislados del resto de su especie, pero la distancia difícilmente va a ser la suficiente para impedir su desplazamiento desde y hacia las islas en la costa de Ecuador.

Davoren 2013 (46) establece como de gran importancia las áreas de agregación de peces, donde estos se congregan en forma periódica y consistente, en la alimentación y distribución de aves marinas, y como estas parecen recordar estos lugares a través de los años. En el caso del sistema peruano no se observa puntos de agregación recurrentes a través de los años como sucede en Labrador y probablemente por la variabilidad del sistema no sea posible que se formen. Las aves en el Perú dependen más de la presencia de otros depredadores y fenómenos físicos con como mucho unas pocas semanas de duración (12). Aunque por la riqueza del sistema fenómenos como los descritos por Davoren no serían tan necesarios como lo son en el Atlántico norte. En efecto como se evidencia en el presente caso la predictibilidad de los recursos juega un rol menos importante en zonas tropicales donde las bandadas de aves tienden a asociarse con depredadores subacuáticos (9).

De hecho la riqueza del sistema de Humboldt es tal que estas aves a diferencia de lo que ocurre en otras regiones del mundo permanecen en la zona costera durante todo el año. Encontrándose alrededor de las islas fuera de la época de cría, aunque asociados de forma más libre a estas, pudiendo desplazarse a otras islas o permanecer mayor tiempo en el mar.

La alta variabilidad ambiental en el mar peruano acompaña la ocurrencia de los fenómenos de El Niño y La Niña, y con estos la entrada de aguas tropicales o un reforzamiento de las aguas frías de la corriente de Humboldt. Pareciera que las aves guaneras reflejan en su mayoría la respuesta de la anchoveta a los cambios ambientales, migrando al sur en épocas de El Niño, ya sea empujados por el aumento

de temperatura directamente o siguiendo el desplazamiento de la mayor abundancia de alimento. En la isla de Lobos de Tierra se reporta como los piqueros peruanos se retiraron de la isla en El Niño de 1998, mientras los piqueros de patas azules pasaron a forrajear más cerca a la costa, utilizando una mayor cantidad de especies presa (47). En cambio se observaron en La Niña del 2011 con cardúmenes a lo largo de la costa sin congregarse en una zona en particular y recién en el 2013 (año normal) en grandes congregaciones en la costa norte. Las condiciones favorables de un mayor afloramiento a lo largo de la costa podrían explicar la mayor dispersión de las poblaciones de aves.

Las condiciones favorables de La Niña no llegan a tener efectos tan grandes como un Niño de similar magnitud. Lo que puede deberse a que el crecimiento poblacional depende de la capacidad reproductiva de la población, mientras un decrecimiento no tiene un limitante similar. Además como La Niña suele darse después de El Niño por lo que constituiría más un periodo de recuperación que de expansión (16).

Periodos climáticos adversos hacen a las poblaciones de aves más vulnerables a otras amenazas como al exceso de la pesca, que incluso en periodos normales puede agotar localmente los cardúmenes con su alta capacidad de captura y alterar el comportamiento normal de las aves (48).

Solo el piquero de patas azules se mantuvo relativamente estable a través de los diferentes escenarios, ya que se encuentra adaptado tanto a las condiciones tropicales del resto de su distribución como a aprovechar la riqueza de la corriente de

Humboldt, al menos en su extremo norte. Por lo que se ve favorecido en el periodo normal, en que encuentra alta densidad de alimento y sin un mayor enfriamiento de las aguas.

Se encuentra que solo el cormorán presenta coincidencias importantes con cada una de las demás especies de aves lo que indicaría que los grupos de pesca de mayor densidad de los cormoranes están atrayendo la atención de las otras especies de aves en sus excursiones de pesca. Es posible también que las diferentes especies se encuentren alrededor de grandes cardúmenes que tienden a aprovechar los cormoranes (15) y que las otras especies se dividan entre otras ocasiones menores de forrajeo, que son ignoradas por los cormoranes, sin coincidir entre sí.

El pelícano presenta una relación muy baja con el piquero peruano, lo que es entendible por sus diferentes estilos de forrajeo, que en el caso del segundo probablemente aleja a las anchovetas de la superficie y más allá del alcance del pelícano. Por el contrario sorprendería la alta correlación entre el pelícano y el piquero de patas azules, pero al notar que esta solo se da en las bandas de  $0.5^{\circ}$  y no en la escala menor, puede considerarse más una coincidencia en sitios de anidación que de sus actividades en el mar. En general se sabe que el pelícano tiende a alimentarse durante la noche, evitando a las otras aves durante el forrajeo y aprovechando la migración vertical de la anchoveta, por lo que probablemente no se haya observado una parte importante de su comportamiento en el mar (28).

Solo en el caso de las dos especies de piquero se vio una correlación negativa y solamente en las bandas latitudinales, por lo que se explica por la segregación entre ambas especies. De manera que el piquero de patas azules se mantiene en el norte del país y el piquero peruano ocupa el resto de la costa. Esto surgiría tanto de las preferencias climáticas de cada especie como de un intento de evitar competir entre sí.

Las bajas relaciones observadas principalmente en escalas menores coincide con lo observado en Sudáfrica donde la mayor relación de las aves marinas es con otras de su misma especie, en segundo lugar con predadores subacuáticos como delfines y posteriormente con otras aves (10). De manera que podrían estar coincidiendo solo en eventos mayores de alimentación. Si bien no existe una gran asociación entre las especies de aves a nivel local, los datos tampoco permiten asegurar que exista una competencia significativa entre ellas. La competencia entre especies es probablemente baja gracias a la abundancia del recurso y las diferencias en el modo de forrajeo de cada una (49), esta podría limitarse a los últimos momentos de parches de anchoveta casi agotados bajo condiciones normales y principalmente dentro de la misma especie. Mientras que en tiempos adversos las diferentes especies se ven afectadas y han de aclimatarse, alterando su distribución y recurriendo a otras presas (15,43).

La escala en que las aves y las anchovetas alcanzan una alta correlación ( $>0.8$  – Fig.13), de alrededor 200 Km, se corresponde con la extensión desde la costa que presenta la anchoveta (20), mientras que la extensión máxima registrada de 121 Km

correspondería a una relación mayor de 0.5. De modo que la progresión de la relación ave-anchoveta a través de las escalas podría estar reflejando las máximas distancias que tendrían que viajar las aves para hallar los grandes cardúmenes. Se encuentra que las aves se relacionan fuertemente con la anchoveta en una escala que corresponde con las poblaciones y grandes stocks de estas, mientras que clusters y cardúmenes no guardan ninguna relación con las aves (11). Por lo que los encuentros entre aves y anchovetas en escalas menores deben ser eventos puntuales y de corta duración.

La relación más dispersa que se observa al observar los casos específicos de cormoranes y piqueros se debería a la capacidad de los cormoranes de hacer uso de otros tipos de presas. Aunque muestran preferencia por la anchoveta se reporta también el consumo de cantidades significativas de camotillo, pejerrey y al menos 53 especies más en cantidades menores (15). En el caso de los piqueros podría responder al uso de cardúmenes menores de anchoveta, sin necesitar grandes masas de esta para su aprovechamiento, ya que tienden a cazar en grupos menores o individualmente y no en grandes bandadas (43). El pelícano tiene una relación más asintótica con la anchoveta que las otras aves ya que al ser más grande y pesada no tiene tanta movilidad como las demás y podría ser que tengan una mayor tendencia que las otras a seguir a las embarcaciones pesqueras en busca de descartes de partes no utilizables y de la pesca incidental.

Considerando que las aves marinas son capaces de desplazarse grandes distancias por viaje (9) y su uso de agregaciones de otros depredadores para encontrar sus presas (10,38); resulta entendible que no haya una mayor coincidencia, con muchos

cardúmenes que pasarían desapercibidos en su recorridos. Mientras el forrajeo se da otras agrupaciones de peces que no son necesariamente los más cercanos o de mayor tamaño, sino los que resultaron ser detectados por los predadores. En el futuro el comparar la distribución en el mar de las aves con la de otros depredadores como lobos marinos, cetáceos y hasta embarcaciones pesqueras, además de la abundancia de la anchoveta ayudara a obtener un mejor entendimiento de cómo los diferentes depredadores interactúan entre si durante la búsqueda y captura de su alimento.

En realidad sería difícil alcanzar correlaciones muy fuertes, ya que las aves no utilizan todo su tiempo en el proceso directo de alimentación, sino que una buena parte se dedica al proceso de su búsqueda y en viajes desde y hacia la colonia. El nivel de la relación observada depende por tanto del punto en ese proceso en que el crucero haga contacto con las aves. Si se toma en cuenta que los viajes de alimentación pueden consistir de decenas de kilómetros de búsqueda donde las capturas se dan en una o unas pocas áreas específicas, entre más pequeña sea la escala de observación mayor será la probabilidad de encontrar un desfase entre ambos grupos. De manera que se obtiene un proporción baja de información enmascarada en gran cantidad de ruido por la naturaleza en apariencia estocástica de la distribución de sus presas (9,50).

Además la alta variabilidad interanual del ecosistema de Humboldt podría haber enturbiado las relaciones existentes. Incluso la respuesta de las aves marinas a la variabilidad del ambiente es variable dependiendo de en qué punto de su ciclo

reproductivo se encuentren, siendo más vulnerables a más avanzado esté el proceso reproductivo (51).

## Conclusiones

- La hipótesis planteada resultó no ser verdadera, dado que la relación entre las aves y anchoveta solo se revela en escalas mayores, a nivel de población y no en niveles menores, por la complejidad de la relación, la movilidad de las aves y la amplitud del ecosistema, así como la naturaleza misma del muestreo realizado.
- Las poblaciones de aves guaneras presentan una alta variación en su distribución a través de los años, según la ocurrencia de eventos climáticos (El Niño y La Niña).
- Durante El Niño se ve un cambio importante de la distribución de cormoranes, pelícanos y piqueros peruanos, desplazándose hacia el sur y dispersándose. Mientras que la Niña constituiría un periodo de recuperación y retorno a condiciones normales.
- Cormoranes, pelícanos y piqueros peruanos mantienen una fuerte presencia en la zona norte y centro bajo condiciones normales, en temporadas cálidas tienden a moverse al sur y en tiempos fríos se dispersan a través de la costa.
- El piquero de patas azules demuestra su origen externo diferenciándose de las demás aves guaneras en varios puntos como el ubicarse solo en el norte del Perú (entre la ZR Illescas y las islas Lobos de Afuera), el bajo impacto que

sufre por el influjo de eventos climáticos y una mayor dispersión desde la colonia al forrajear.

- La baja coincidencia entre las especies de aves indica bajos niveles tanto de competencia como de cooperación. Probablemente existan mecanismos para evitar la competencia y coincidencia entre estas, al considerar la alta coincidencia a mayor escala.

## **Recomendaciones**

Se recomienda al IMARPE el uso de formatos estándar para el almacenamiento de los datos recabados en sus diferentes expediciones científicas, de modo que se permita el estudio y comparación de dichos datos a través de diferentes expediciones.

Considerar una zona de exclusión para la pesca en época de cría de manera que se permita el desarrollo de las nuevas generaciones en las mejores condiciones posibles. Con 20 Km alrededor de las principales colonias de aves guaneras, se albergaría a la mayoría de las poblaciones observadas de pelícanos y cormoranes, así como una parte importante de las de los piqueros. Y con 70 Km se incluiría a la mayoría de los piqueros de ambas especies. Esto debiera considerarse y enfocarse como una inversión en una mayor producción de guano a futuro y en el bienestar del ecosistema y no como una reducción de la pesca actual.

Sería importante el estudio de la relación entre las aves y depredadores subacuáticos como delfines y lobos de mar, de los que probablemente dependan como iniciadores de eventos de alimentación y para aumentar la accesibilidad de las anchovetas. Por lo mismo un mayor cuidado de sus poblaciones contribuiría a la estabilidad de las poblaciones de aves y del ecosistema en general.

## Referencias Bibliográficas

1. Duffy DC. The guano islands of Peru: the once and future management of a renewable resource. *Seabirds on Islands, Threats, Case Studies and Action Plans* Cambridge: BirdLife Conservation Series. 1994;(1):68–76.
2. Crawford RJM, Jahncke J. Comparison of trends in abundance of guano-producing seabirds in Peru and southern Africa. *South African Journal of Marine Science*. 1999 Jun;21(1):145–56.
3. Jordán R, Fuentes H. Las poblaciones de aves guaneras y su situación actual. 1966 [cited 2016 Oct 20]; Available from: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/handle/123456789/239>
4. Bakun A, Weeks SJ. The marine ecosystem off Peru: What are the secrets of its fishery productivity and what might its future hold? *Progress in Oceanography*. 2008 Oct;79(2–4):290–9.
5. Duffy DC. The foraging ecology of peruvian seabirds. *The Auk*. 1983 Oct;100:800–10.
6. Fauchald P. Spatial interaction between seabirds and prey: review and synthesis. *Marine Ecology Progress Series*. 2009 Sep 28;391:139–51.
7. Bost CA, Cotté C, Bailleul F, Cherel Y, Charrassin JB, Guinet C, et al. The importance of oceanographic fronts to marine birds and mammals of the southern oceans. *Journal of Marine Systems*. 2009 Oct;78(3):363–76.
8. Ainley DG, Spear LB, Tynan CT, Barth JA, Pierce SD, Glenn Ford R, et al. Physical and biological variables affecting seabird distributions during the upwelling season of the northern California Current. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2005 Jan;52(1–2):123–43.
9. Weimerskirch H. Are seabirds foraging for unpredictable resources? *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2007 Feb;54(3–4):211–23.
10. Thiebault A, Mullers RHE, Pistorius PA, Tremblay Y. Local enhancement in a seabird: reaction distances and foraging consequence of predator aggregations. *Behavioral Ecology*. 2014 Nov 1;25(6):1302–10.
11. Bertrand A, Gerlotto F, Bertrand S, Gutiérrez M, Alza L, Chipollini A, et al. Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchoveta distribution: An analysis across multiple spatial scales. *Progress in Oceanography*. 2008 Oct;79(2–4):264–77.

12. Godø OR, Samuelsen A, Macaulay GJ, Ruben Patel, Hjøllø SS, Horne J, et al. Mesoscale Eddies Are Oases for Higher Trophic Marine Life. *Robert-Coudert Y*, editor. *PLoS ONE*. 2012 Jan 17;7(1):e30161.
13. Hoefler CJ. Marine bird attraction to thermal fronts in the California current system. *The Condor*. 2000 Jan 19;102:423–7.
14. Bertrand A, Grados D, Colas F, Bertrand S, Capet X, Chaigneau A, et al. Broad impacts of fine-scale dynamics on seascape structure from zooplankton to seabirds. *Nature Communications*. 2014 Oct 15;5:5239.
15. Jahncke J, Goya E. Variación latitudinal y estracional en la dieta del guanay (*Leucocarbo bougainvillii*) y el piquero peruano (*Sula variegata*) en la costa peruana. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*. 1997 Jun;16(1):23–41.
16. Chavez FP, Bertrand A, Guevara-Carrasco R, Soler P, Csirke J. The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography*. 2008 Oct;79(2–4):95–105.
17. Zavalaga CB, Paredes R. Foraging behaviour and diet of the guanay cormorant. *South African Journal of Marine Science*. 1999 Jun;21(1):251–8.
18. Weimerskirch H, Bertrand S, Silva J, Bost C, Peraltilla S. Foraging in Guanay cormorant and Peruvian booby, the major guano-producing seabirds in the Humboldt Current System. *Marine Ecology Progress Series*. 2012 Jul 3;458:231–45.
19. Whitehead PJP, Nelson GJ, Wongratana T. *FAO Species Catalogue. Vol. 7. Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupei)*. An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. *FAO Fish. Synop.* 125(7/2):305-579. Rome: FAO.; 1988.
20. Bertrand A, Chaigneau A, Peraltilla S, Ledesma J, Graco M, Monetti F, et al. Oxygen: A Fundamental Property Regulating Pelagic Ecosystem Structure in the Coastal Southeastern Tropical Pacific. *Slomp CP*, editor. *PLoS ONE*. 2011 Dec 28;6(12):e29558.
21. Cury P, Roy C. Optimal Environmental Window and Pelagic Fish Recruitment Success in Upwelling Areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1989 Apr;46(4):670–80.
22. Barber RT, Chávez FP. Ocean variability in relation to living resources during the 1982–83 El Niño. *Nature*. 1986 Jan 23;319(6051):279–85.

23. Chavez FP, Strutton PG, Friederich GE, Feely RA, Feldman GC, Foley DG, et al. Biological and Chemical Response of the Equatorial Pacific Ocean to the 1997-98 El Niño. *Science*. 1999 Dec 10;286(5447):2126–31.
24. Azovsky AI. Concept of scale in marine ecology: linking the words or the worlds? *Web Ecology*. 2000 Apr 14;1(1):28–34.
25. Hazen E, Suryan R, Santora J, Bograd S, Watanuki Y, Wilson R. Scales and mechanisms of marine hotspot formation. *Marine Ecology Progress Series*. 2013 Jul 30;487:177–83.
26. Fauchald P, Erikstad KE, Skarsfjord H. Scale-Dependent Predator-Prey Interactions: The Hierarchical Spatial Distribution of Seabirds and Prey. *Ecology*. 2000 Mar 1;81(3):773–83.
27. Johnsen E, Skaret G. Adaptive mass formations in fish shoals founded in conflicting motivation. *Marine Ecology Progress Series*. 2008 Apr 21;358:295–300.
28. Zavalaga CB, Dell’Omo G, Becciu P, Yoda K. Patterns of GPS Tracks Suggest Nocturnal Foraging by Incubating Peruvian Pelicans (*Pelecanus thagus*). *Robert-Coudert Y, editor. PLoS ONE*. 2011 May 25;6(5):e19966.
29. Alheit J, Niquen M. Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. *Progress in Oceanography*. 2004 Feb;60(2–4):201–22.
30. Duffy DC. Environmental Uncertainty and Commercial Fishing: Effects on Peruvian Guano Birds. *Biological Conservation*. 1983;26:227–38.
31. Tovar H. Fluctuaciones de poblaciones de aves guaneras en el litoral peruano, 1960–1981. In: *Proceedings of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources, San José, Costa Rica [Internet]*. 1983 [cited 2016 Oct 20]. p. 957–976. Available from: <ftp://193.43.36.93/docrep/fao/005/x6851b/x6851b17.pdf>
32. Zavalaga CB, Halls J, Dell’Omo G. Marine habitat use of Peruvian boobies: a geographic and oceanographic comparison between inshore and offshore islands. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*. 2010;fsp298.
33. Birt VL, Birt TP, Goulet D, Cairns DK, Montevecchi WA. Ashmole’s halo: direct evidence for prey depletion by a seabird. *Marine ecology progress series Oldendorf*. 1987;40(3):205–208.
34. Ashmole NP. THE REGULATION OF NUMBERS OF TROPICAL OCEANIC BIRDS. *Ibis*. 2008 Jun 28;103b(3):458–73.

35. David G. Ainley RGF. Prey resources, competition, and geographic structure of kittiwake colonies in Prince William Sound. *Ecology*. 2003;84(3):709–23.
36. Ropert-Coudert Y. Patterns of energy acquisition by a central place forager: benefits of alternating short and long foraging trips. *Behavioral Ecology*. 2004 Jun 11;15(5):824–30.
37. Hebshi A, Duffy D, Hyrenbach K. Associations between seabirds and subsurface predators around Oahu, Hawaii. *Aquatic Biology*. 2008 Nov 18;19(3):89–98.
38. Tremblay Y, Thiebault A, Mullers R, Pistorius P. Bird-Borne Video-Cameras Show That Seabird Movement Patterns Relate to Previously Unrevealed Proximate Environment, Not Prey. Hyrenbach D, editor. *PLoS ONE*. 2014 Feb 11;9(2):e88424.
39. Bertrand S, Joo R, Arbulu Smet C, Tremblay Y, Barbraud C, Weimerskirch H. Local depletion by a fishery can affect seabird foraging. Frederiksen M, editor. *Journal of Applied Ecology*. 2012 Oct;49(5):1168–77.
40. Weimerskirch H, Bertrand S, Silva J, Marques JC, Goya E. Use of Social Information in Seabirds: Compass Rafts Indicate the Heading of Food Patches. Gratwicke B, editor. *PLoS ONE*. 2010 Mar 29;5(3):e9928.
41. Thiebault A, Mullers R, Pistorius P, Meza-Torres MA, Dubroca L, Green D, et al. From colony to first patch: Processes of prey searching and social information in Cape Gannets. *The Auk*. 2014 Oct;131(4):595–609.
42. Wetterer JK. Central place foraging theory: When load size affects travel time. *Theoretical Population Biology*. 1989 Dec;36(3):267–80.
43. Jahncke J, Ayala L, Mendoza C. Abundancia relativa y distribución de aves marinas frente a la costa peruana y su relación con la abundancia de anchoveta. *Informe Instituto del Mar del Perú*. 1998 Diciembre;(141):85–95.
44. Zavalaga CB, Benvenuti S, Dall'Antonia L, Emslie SD. Diving behavior of blue-footed boobies *Sula nebouxii* in northern Peru in relation to sex, body size and prey type. *Marine Ecology Progress Series*. 2007;336:291–303.
45. Tasker ML, Jones PH, Dixon T, Blake BF. Counting seabirds at sea from ships: A review of methods and a suggestion for a standard approach. *The Auk*. 1984 Jul;101:567–77.
46. Davoren GK. Distribution of marine predator hotspots explained by persistent areas of prey. *Marine Biology*. 2013 Dec;160(12):3043–58.

47. Jahncke J, Goya E. Responses of Three Booby Species to El Niño 1997-1998. *Waterbirds*. 2000;23(1):102–8.
48. Bertrand S, Silva J, Goya E. Pescadores y aves marinas compitiendo por el mismo recurso: estrategias de forrajeo, interacciones y consecuencias. 2010 [cited 2016 Nov 19]; Available from: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/handle/123456789/1103>
49. Abrams RW, Griffiths AM. Ecological structure of the pelagic seabird community in the Benguela Current region. *Marine Ecology Progress Series*. 1981;5:269–277.
50. Montevecchi W. Binary dietary responses of northern gannets *Sula bassana* indicate changing food web and oceanographic conditions. *Marine Ecology Progress Series*. 2007 Dec 20;352:213–20.
51. Harding A, Piatt J, Schmutz J. Seabird behavior as an indicator of food supplies: sensitivity across the breeding season. *Marine Ecology Progress Series*. 2007 Dec 20;352:269–74.



## II. Áreas protegidas en el mar del Perú (Modificado de SERNAMP)

- Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras
- Zona Reservada Illescas
- Reserva Nacional de Paracas



### III. Figuras

Fig. 1– Las aves guaneras del Perú: A.- Cormorán peruano (*Leucocarbo bougainvillii*); B.- Pelícano peruano (*Pelecanus thagus*); C.- Piquero peruano (*Sula variegata*); D. Piquero de patas azules (*Sula nebouxii*).

Fig. 2- Comparación entre la productividad primaria y pesquera en los diferentes centros de afloramiento (11).

Fig. 3- Abundancia relativa de anchoveta y sardina desde la costa peruana según los niveles de oxígeno:  $Z_{2mL/L}$  profundidad de la oxiclina, DO oxígeno disuelto en el agua y  $DO_{sat}$  porcentaje de saturación del oxígeno en el agua (12).

Fig. 4- Condiciones normales y durante El Niño en el océano Pacífico tropical

Fig. 5- Extensión de diferentes procesos físicos oceánicos a través de diferentes escalas en el tiempo y el espacio (13).

Fig. 6- Anchoveta peruana (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842)

Fig. 7– Organización espacial de las poblaciones de anchoveta (9).

Fig. 8– Métodos de caza de las aves guaneras (de izquierda a derecha): buceo (guanay), inmersión en picada (piquero) y captura en superficie (pelicano).

Fig. 9 – Distribución de los puntos evaluados en los diferentes cruceros de IMARPE

Fig. 10- Distribución de cada especie según la distancia a la costa.

Fig. 11- Distribución de las aves y la anchoveta según la latitud. Se indica las latitudes de algunas islas y zonas de importancia: Punta Coles (PCo), Punta San Juan (PSJ), Reserva Nacional de Paracas (Par), islas Cabinzas (Cab), islas del grupo Pescadores (Pqd), islas Guañape (Gua), islas Macabí (Mac), islas Lobos de Afuera (LAf), Lobos de Tierra (Lti), Zona Reservada de Illescas (Ile), bahía de Sechura (Sec).

Fig. 12- Distribución de las especies de aves guaneras en 3 cruceros que corresponden al fenómeno de El Niño 1998 (980305), de La Niña 2011 (110204) y un año normal, el 2013 (130809).

Fig. 13- Comparación de la relación entre las aves guaneras y anchovetas a través de un rango de escalas espaciales.

#### IV. Tablas

Tabla 1. Correlaciones de Spearman entre: Cormorán, pelícano, piquero peruano, piquero de patas azules y la anchoveta. A nivel de los puntos de muestreo (A) y de bandas de 0.5° de latitud (B).