



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

VARIACIONES INTERANUALES (1996 -  
2015) DE LA DIETA DEL GUANAY  
*PHALACROCORAX BOUGAINVILLII* A  
PARTIR DE LA RECONSTRUCCIÓN  
DEL ANÁLISIS DE BOLOS  
RESIDUALES ENTERRADOS EN  
DEPÓSITOS DE GUANO

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR

LADY MADELEINE AMARO GIRALDO

LIMA-PERÚ

2017



## **ASESOR DE LA TESIS**

**Carlos Zavalaga Reyes**

PhD en Biología Marina

Profesor de la Maestría en Ciencias del Mar de la

Universidad Peruana Cayetano Heredia

# **JURADO EVALUADOR DE LA TESIS**

## **Presidente**

**Msc. Susana Cárdenas Alayza**

## **Vocal**

**Dr. Juan Valqui Haase**

## **Secretario**

**Dr. Dimitri Gutiérrez Aguilar**

Dedicado a los Guardaislas del Perú  
por su valentía y sacrificio.  
Viven aislados en alguna isla o punta  
para sustentar a sus familias,  
generando valiosísima información  
sobre las aves guaneras.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), Cienciactiva y la Universidad Peruana Cayetano Heredia que a través del programa de becas del Fondecyt pudieron financiar esta tesis, así como la de mis compañeros maestrantes. Sin esta beca no hubiese podido estudiar esta interesante maestría.

Al personal de Imarpe, Dante Espinoza, David Correa, Carlos Romero, y Dra. Michelle Graco, por apoyarme con la extracción de datos satelitales e in-situ de variables oceanográficas. A Óscar Galindo, por facilitarme datos de desembarques de Anchoqueta en Pisco. A Dimitri Gutiérrez, Ernesto Fernández, Federico Velazco y Daniel Quispe por sus valiosos comentarios sobre la metodología a emplear en esta tesis. A Luis La Cruz y Cynthia Romero por su ayuda.

Al personal del Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural, Carla Cepeda, Cinthia Irigoien, Edgar Rivera y Mary García, por brindarme valiosa información que se encontraba almacenada en la isla Santa Rosa y en sus oficinas. Y en especial a los guardaislas Saturnino Ipurre, Christian Bardales, y Carlos Cotrina, por su apoyo en campo en el desarrollo de la tesis.

A la Reserva Nacional de Paracas, en especial a Patricia Saravia por facilitarnos los formatos necesarios para tramitar el permiso de investigación.

A mis compañeros de maestría por sus valiosos comentarios sobre mi tesis en el curso de investigación y en el desarrollo de la tesis. En especial a Zulita Chauca por su apoyo en la visita de campo en isla Santa Rosa. A André Ampuero por su ayuda en la identificación de moluscos. A Cristhian Asto y Joel Soto por brindarme su ayuda para entender mejor algunos procesos físicos y consultas del software R. A Katherine Rhoa, Rosario Escobedo y Flavio Solis por sus recomendaciones y apoyo en el laboratorio de Ciencias del Mar.

A mi asesor de tesis, Carlos Zavalaga, por guiarme en el planteamiento y desarrollo de la tesis, por su paciencia. Muchas gracias por darme la oportunidad de realizar una investigación como esta con un gran investigador.

Y sobre todo a mi familia, en especial a mi madre y a mi esposo, muchas gracias por su apoyo incondicional para cuidar a mi Ánjali. Gracias por su tiempo y paciencia.

## **Resumen**

Se reconstruyó históricamente la composición de la dieta de *P. bougainvillii* “guanay” para isla Santa Rosa (Pisco, Perú) a través de excavaciones en depósitos de guano, apoyados para la calibración o datación de mapas históricos sobre la distribución y ocupación de las aves. Mediante el índice de abundancia relativa de anchoveta presente en la dieta (porcentaje de anchoveta presente en las capas de guano) se analizó la variación interanual de la dieta, y se realizó correlaciones con las variables oceanográficas e índices de abundancia de anchoveta. Se identificó 12 especies de peces presa y calamar, entre los principales: *Engraulis ringens* “anchoveta” (53%), *Normanichthys crockeri* “camotillo” (30%) y *Odontesthes regia* “pejerrey” (9%). Se registró la variabilidad interanual de la dieta frente a eventos cálidos como el Niño y fríos como la Niña. El porcentaje de otolitos de anchoveta presentó una relación inversa con la temperatura superficial del mar ( $r = -0.70$ ,  $p < 0.05$ ), mientras que tuvo una relación positiva con la biomasa de anchoveta (prospecciones hidroacústicas) ( $r = 0.71$ ,  $p < 0.05$ ).

**Palabras clave:** Dieta, depósitos de guano, guanay, reconstrucción, variabilidad interanual.

## **Abstract**

The composition of the diet of *P. bougainvillii* "guanay" for Santa Rosa Island (Pisco, Peru) was historically reconstructed through excavations in guano deposits, supported for the calibration or dating of historical maps about bird's distribution and occupation. We analyzed the interannual variability of guanay's diet through the anchovy's relative abundance index present in the diet (percentage of anchovy present in guano layers); also some correlations were made with oceanographic variables and anchovy abundance index. Twelve fishes and a squid were identified, among the main ones: *Engraulis ringens* "anchoveta" (53%), *Normanichthys crockeri* "camotillo" (30%) and *Odontesthes regia* "pejerrey" (9%). The interannual variability of the diet was registered in relation to warm events such as El Niño and colds events like La Niña. The percentage of anchovy's otoliths showed an inverse relationship with the sea surface temperature ( $r = -0.70$ ,  $p < 0.05$ ), while it had a positive relationship with the biomass of anchovy (hydroacoustic prospects) ( $r = 0.71$ ,  $p < 0.05$ ).

**Key words:** Diet, guano deposits, guanay, interannual variability, reconstruction.



## TABLA DE CONTENIDOS

1. Introducción	1
2. Planteamiento de la investigación	4
2.1. Planteamiento del problema	4
2.2. Marco teórico	6
2.2.1. El guanay <i>Phalacrocorax bougainvillii</i>	6
2.2.1.1. Descripción	6
2.2.1.2. Población	7
2.2.1.3. Reproducción	8
2.2.1.4. Alimentación: Ecología de forrajeo, dieta y bolos residuales	9
2.2.2. Características del Sistema de la Corriente de Humboldt	11
2.2.3. Variabilidad de la dieta de aves marinas según cambios en su ambiente	15
2.2.4. Sobre la acumulación del guano de islas	21
2.3. Justificación del estudio	24
2.4. Objetivos	25
3. Metodología	26
3.1. Diseño del estudio	27
3.2. Población	28
3.2.1. Área de Estudio	28
3.3. Muestra	29
3.4. Operacionalización de variables	30
3.4.1. Variable Independiente	30
3.4.1.1. Variables Oceanográficas	30
3.4.1.2. Variables de índice de Abundancia de Anchoqueta	31
3.4.2. Variable Dependiente	32
3.5. Procedimientos y técnicas	33

3.5.1. Análisis de mapas históricos	33
3.5.2. Cálculo de la tasa de acumulación de guano	36
3.5.3. Sobre la excavación y el muestreo	40
3.5.4. Tamizado de muestras e identificación de otolitos	43
3.5.5. Análisis de la variabilidad de la dieta de <i>P. bougainvillii</i>	45
3.5.6. Obtención de variables oceanográficas	46
3.5.7. Obtención de variables índices de Abundancia de Anchoveta	48
3.6. Consideraciones éticas	49
3.7. Plan de análisis	50
4. Resultados	51
4.1. Reconstrucción de eventos reproductivos y no reproductivos de <i>P. bougainvillii</i> desarrollados sobre la zona de muestreo	51
4.2. Descripción e identificación de las capas de guano en relación a eventos reproductivos	54
4.3. Descripción y análisis de la variabilidad de la dieta	62
4.3.1. Composición de la dieta	62
4.3.2. Análisis de la variabilidad de la dieta	65
4.4. Relación de las variables oceanográficas con índices de abundancia de anchoveta	68
4.4.1. Descripción y análisis de las condiciones oceanográficas alrededor de isla Santa Rosa	68
4.4.2. Análisis de la relación existente entre las variables oceanográficas y porcentaje de otolitos de anchoveta	73
4.4.3. Análisis con variables índices de abundancia de anchoveta	77
5. Discusión	
5.1. Sobre la reconstrucción de eventos reproductivos para su identificación en las capas de guano	80
5.2. Sobre la variabilidad de la dieta de <i>P. bougainvillii</i>	86
5.3. Sobre la relación de las variables oceanográficas y el porcentaje de anchoveta presente en las muestras de guano	88

5.4. Sobre la relación del porcentaje de anchoveta presente en las muestras de guano y otras variables indicadores de abundancia de anchoveta	91
6. Conclusiones	94
7. Recomendaciones	96
8. Referencias bibliográficas	97
9. Anexos	102

**Anexo 1:** Estudio piloto en Isla Guañape Sur

**Anexo 2:** Porcentaje de humedad de muestras de guano. Para el muestreo cada 5cm, la muestra M01 es la más superficial, siendo la más reciente.

**Anexo 3:** Densidad aparente de guano ( $\text{g/cm}^3$ ) calculado a partir de la medición de cubos de 10 cm de lado.

**Anexo 4:** Variables oceanográficas según los tres rangos de estudio: 20Km, 40Km y 60Km, para la zona de Santa Rosa

**Anexo 5:** Análisis de componentes principales de las variables oceanográficas temperatura superficial del mar (TSM) promedio a 20Km, concentración de clorofila promedio a 20Km, oxígeno disuelto superficial promedio a 20Km e índice de afloramiento (IU), en base a datos mensuales.

**Anexo 6:** Tabla sobre la composición de especies presa presentes en las muestras de guano, además se muestran valores de número de cristalinos, presencia de plumas, diversidad de Shannon ( $H'$ ) y riqueza de especies presa.

**Anexo 7:** Línea de tiempo sobre el porcentaje de otolitos de anchoveta presentes en las muestras de guano según el método por bloques de 5cm.

**Anexo 8:** Valores del Test de Shapiro-Wilk de las variables

**Anexo 9:** Índice de correlación de Pearson entre variables oceanográficas e índices de abundancia de anchoveta, considerando una data de promedios anuales (Mar-Feb)

**Anexo 10:** Diagrama de dispersión de variables oceanográficas y porcentaje de otolitos de anchoveta.

**Anexo 11:** Diagrama de dispersión de de variables oceanográficas y porcentaje de otolitos de anchoveta.

**Anexo 12.** Variaciones temporales de la población de *P. bougainvillii* e identificación de eventos reproductivos ocurridos en Isla Santa Rosa 1996-2016 (Fuente: AgroRural)

**Anexo 13.** Formato de mapa mensual realizado por los guardianes de isla Santa Rosa sobre la población de aves guaneras.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escenarios del comportamiento observado en las costas del Sistema de la Corriente de Humboldt frente al forzamiento oceánico de ondas Kelvin cálidas y frías.	13
Figura 2. Modelo conceptual de cambios decadales en las poblaciones de anchoveta y sardina en el Pacífico suroriental.	14
Figura 3. Esquema del diseño de investigación.	27
Figura 4. Mapa de ubicación de la Isla Santa Rosa, Bahía Independencia	29
Figura 5. Zonas reproductivas del guanay en la isla Santa Rosa.	35
Figura 6. Procedimiento para medir la tasa de acumulación de guano de una temporada reproductiva.	38
Figura 7. Tipos de muestreo empleados para la colecta de guano en el perfil	42
Figura 8. Mapa ubicación de variables para el análisis	47
Figura 9. Identificación de los eventos reproductivos y no reproductivos de los grupos de <i>P. bougainvillii</i> desarrolladas sobre la zona de excavación durante los últimos 20 años. Reconstrucción realizada en base a datos de AgroRural.	53
Figura 10. Perfil de guano, calicata PT1, se observa los tipos de muestreo empleados.	55
Figura 11. Perfil de guano, calicata PT2, se observa los tipos de muestreo empleados.	56
Figura 12. Identificación de las capas de guano del perfil PT1, se observa los tipos de muestreo empleados y la datación de las muestras.	60
Figura 13. Composición global de la dieta de <i>P. bougainvillii</i> en los últimos 20 años en isla Santa Rosa, según muestreo por excavación de guano.	62
Figura 14. Proporción de presas en la dieta durante el período 1998 a Febrero 2016 según el muestreo de bloques de 5cm. Además se presenta la diversidad de especies consumidas ( $H'$ ).	66
Figura 15. Proporción de presas en la dieta durante el período 1998 a Febrero 2016 según el muestreo por capa. Además se presenta la diversidad de especies consumidas ( $H'$ ).	67
Figura 16. Condiciones oceanográficas presentes alrededor de isla Santa Rosa en los últimos 20 años	70
Figura 17. Biplots del Análisis de componentes principales (PCA) de las variables oceanográficas: temperatura superficial del mar (TSM) promedio a 40Km, concentración de clorofila promedio a 40Km, oxígeno disuelto	

superficial promedio a 40Km e índice de afloramiento (IU), en base a promedios anuales de Marzo a Febrero (n=15). Modo Q (Izquierda) y Modo R (Derecha)	72
Figura 18. Series de tiempo de las variables oceanográficas temperatura superficial del mar y concentración de clorofila a 20Km, e índice de afloramiento promediadas según épocas reproductivas y porcentaje de anchoveta presente en cada capa.	74
Figura 19. Biplots del Análisis de componentes principales (PCA) de las variables oceanográficas, incluyendo al porcentaje de otolitos de anchoveta, promedios anuales de Marzo a Febrero (n=8). Modo Q (Izquierda) y Modo R (Derecha)	76
Figura 20. Serie de tiempo sobre los índices de abundancia de anchoveta.	79

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Importancia relativa de anchoveta en la dieta de guanay. Extraído de Jahncke <i>et al.</i> 2004.	19
Tabla 2. Antecedentes sobre la tasa de acumulación anual de guano	36
Tabla 3. Medidas de las profundidades de guano acumulado sobre la manta de tela, durante la temporada reproductiva 2015-2016.	39
Tabla 4. Comparación de tipos de muestreo	43
Tabla 5. Agrupación de periodos para el posterior análisis de las variables	61
Tabla 6. Lista de especies identificadas en las muestras de guano, se muestra características de su hábitat, frecuencia numérica de cada especie (%N), según muestreo por capas (M_capas) y muestreo por bloques de 5cm (M_5cm).	64

## 1. Introducción

La dieta del guanay *Phalacrocorax bougainvillii*, como en otras especies de la familia Phalacrocoracidae, puede ser determinada a partir del análisis de bolos residuales (Duffy & Laurenson, 1983), los cuales son regurgitados por los guanayes diariamente en sus colonias antes de iniciar sus viajes de alimentación (Jordán, 1959). Estos bolos de aspecto mucoso contienen restos de partes duras no digeridas de sus presas como otolitos, cristalinos, huesos, escamas de peces, restos de moluscos y crustáceos, entre otros. Para el caso de peces, la especie y tamaño de la presa consumida puede ser identificada a partir de la forma y tamaño de los otolitos (Jordán, 1959), si estos no han sido severamente erosionados por los jugos gástricos del estómago (Rivas, 2000).

Existen al menos 65 especies de peces en la dieta de *P. bougainvillii*, sin embargo la anchoveta (*Engraulis ringens*) es su principal alimento (Ávila, 1954; Jordán, 1959; Jahncke y Goya, 1998). Otras especies de importancia en la dieta reportados en los 90's fueron el camotillo (*Normanichthys crockeri*), pejerrey (*Odontesthes regia*) y samasa (*Anchoa nasus*) (Jahncke y Goya, 1998). Es importante destacar que la composición de la dieta del guanay varía tanto espacial como temporalmente (Tovar y Galarza, 1984; Jahncke y Goya, 1998; Zavalaga y Paredes, 1999).

En el Perú, se han realizado diversos estudios sobre la dieta del guanay en base al análisis de bolos residuales (Vogt, 1942; Jordán 1959; Tovar y Galarza, 1984; Guillén, 1993; Jahncke y Goya, 1997,1998; Jahncke *et al.*, 1997; García-Godos y Goya, 1999; Zavalaga y Paredes, 1999; Rivas, 2000), no obstante estos estudios

se basan ya sea en recolecciones esporádicas o en unos pocos años de muestreo. Esta restricción en la toma de datos impide un análisis temporal a largo plazo que permita un mejor entendimiento de las relaciones entre la ecología trófica de las aves y la disponibilidad de sus presas, más aun considerando que en el sistema de la Corriente Humboldt existen variaciones interanuales y estacionales (Chávez *et al.*, 2008). Por lo tanto, es necesario elaborar estudios de la dieta de estas aves que incluyan monitoreos frecuentes durante muchos años; sin embargo, restricciones presupuestarias y logísticas impiden que se lleven a cabo tales estudios.

En base a recolecciones periódicas de bolos residuales frescos de cormoranes, algunos estudios han demostrado que existen relaciones entre las variaciones interanuales entre la composición de la dieta y la disponibilidad de sus principales presas (Duffy *et al.*, 1987, Tovar y Galarza, 1984). Por otro lado a nivel geológico, se han realizado excavaciones de suelo ornitogénico en la Antártida para recuperar otolitos y picos de calamares, y de esa manera explorar las relaciones entre las variaciones de la composición de la dieta de pingüinos de Adelia (*Pygoscelis adeliae*) y cambio climático de los últimos 6,000 años (Emslie y McDaniel, 2002). En el Perú, existe el potencial de realizar estudios similares, extrayendo otolitos enterrados en depósitos de guano acumulados por décadas en las islas guaneras.

La Isla Santa Rosa (14° 19'S, 76° 09'O), ubicada al extremo sur de la Bahía Independencia - Pisco, ha mantenido una colonia importante de guanayes en el Perú con aproximadamente 200,000 individuos en promedio para los últimos 20 años (AgroRural, datos no publicados). La última extracción de guano en esta isla se llevó a cabo en 1996, extrayéndose 6,445 TM (AgroRural, 2014). Desde



entonces, los guanayes han ocupado casi permanentemente esta isla, habiéndose acumulado un apreciable volumen de guano que puede servir de registro de la acumulación estratificada de bolos residuales. Según un estudio preliminar realizado en la Isla Guañape Sur en el 2015 (L. Amaro, datos no publicados), los bolos residuales enterrados en el guano pueden degradarse con el tiempo, pero los otolitos permanecen intactos dentro de las capas de guano. Asimismo, se pueden reconocer capas de guano a simple vista pertenecientes a diferentes eventos reproductivos en base a la presencia de paquetes de plumas, cáscaras de huevos o carcasas de pichones. Además, las capas se pueden reconocer y diferenciar de acuerdo a cambios en la coloración del guano. De esta forma isla Santa Rosa es una zona propicia para estudiar la variabilidad de la dieta y su relación con cambios oceanográficos en los últimos 20 años.

Esta investigación propone un nuevo método para examinar las variaciones interanuales de la composición dieta del guanay, con énfasis en el consumo de anchoveta. Este método se basa en excavaciones en depósitos de guano acumulados por décadas en una isla guanera en particular juntamente con el análisis de mapas históricos de distribución espacial y estado reproductivo de la población de guanay para esa isla. Esto permite asociar cada una de las capas de guano identificadas con eventos reproductivos, es decir, permite una objetiva identificación y datación de las capas de guano ante la ausencia de métodos estandarizados para datación de suelos ornitogénicos de corto plazo.

El propósito de esta investigación es reconstruir históricamente la composición de la dieta del guanay, en términos de la abundancia relativa de anchoveta, en depósitos de guano acumulados entre 1996 y 2015/2016 en la Isla Santa Rosa,

para determinar su relación con variables oceanográficas e indicadores de la abundancia de anchoveta.

## **2. Planteamiento de la investigación**

### **2.1. Planteamiento del problema**

A pesar de que se han publicado hasta la fecha diversos estudios realizados sobre la dieta de *P. bougainvillii* en base al análisis de bolos residuales (Vogt, 1942; Jordán, 1959, Tovar y Galarza, 1984; Guillén, 1993; Jahncke y Goya, 1998; García-Godos y Goya, 1999; Rivas, 2000), sus reportes son restringidos a un período de tiempo corto, incluso en aquellos en donde se evaluaron variaciones estacionales e interanuales en la composición de la dieta (Tovar y Galarza, 1984; Janhcke y Goya, 1998). Además, debido a la presencia de altas variaciones temporales en las condiciones oceanográficas del ecosistema de afloramiento costero del Perú y sus efectos en la distribución y abundancia de anchoveta (Chávez *et al.*, 2008), es necesario considerar un mayor periodo de tiempo en estudios de la dieta del guanay para tener una mejor comprensión de las relaciones entre sus hábitos alimenticios y la abundancia y disponibilidad de su presa, así como diseñar alguna metodología que sea factible de implementar para tales propósitos.

## **Preguntas**

- ¿Cuál es la relación entre las variables oceanográficas como la temperatura superficial del mar, intensidad del viento, concentración de clorofila-a y oxígeno disuelto, y la abundancia relativa de anchoveta en la dieta de guanay?
- ¿Cuál es la relación entre los índices de abundancia de anchoveta y la abundancia relativa de anchoveta en la dieta de guanay?
- ¿Es el método de excavación en depósitos de guano útil para la reconstrucción de la dieta del guanay, y qué implicancias conlleva su uso?

## **Hipótesis**

- La composición de la dieta de *P. bougainvillii* representa un indicador de la abundancia y disponibilidad de anchoveta en el ambiente; por lo tanto el porcentaje de otolitos de anchoveta correspondientes a cada capa de guano depositada por poblaciones de *P. bougainvillii* presentará una relación directa significativa con la abundancia local de la anchoveta.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. El guanay (*Phalacrocorax bougainvillii*, Lesson 1837)**

#### **2.2.1.1. Descripción**

El guanay *Phalacrocorax bougainvillii*, pertenece a la familia Phalacrocoracidae ubicada dentro del orden Suliformes (Plenge, 2016). Es llamado patillo o cormorán guanay en algunas zonas del Perú, en el pasado se le conocía también como pato de mar, pato Lilo, pato Yeco y cormorán de pecho blanco (Moore, 1926; Murphy, 1936; Koepcke, 1963).

Este cormorán fue considerada la ave más valiosa del mundo o llamada el ave del billón de dólares, ya que de las tres especies de aves guaneras (las otras dos son piquero *Sula variegata* y pelícano *Pelecanus thagus*) fue la que mayor cantidad y calidad de guano produjo para la agricultura, y cuya explotación para la exportación significó una gran cantidad de divisas a mediados del siglo XIX (Coker, 1919; Murphy, 1926).

El guanay es un ave endémica de la corriente de Humboldt. Anida en las islas y puntas guaneras, desde la Isla Lobos de Tierra en Perú (06°27'S) hasta la Isla Mocha en Chile (38°30'S). Puede desplazarse hasta la costa austral de Chile y al norte hasta Colombia (Koepcke, 1963; Schulenberg *et al.*, 2010). Además se ha reportado que en 1960 existió una población reproductiva en las costas de la Patagonia-Atlántico Argentina (Bertellotti *et al.*, 2003).

Morfológicamente puede ser reconocido por su coloración negra en el dorso. La garganta, pecho y abdomen son blancos, presenta el borde de los ojos de color rojo cuando es adulto, mientras que la coloración del inmaduro es más opaco y

cara amarillenta (Koepcke, 1963; Schulenberg *et al.*, 2010). Durante la época reproductiva se puede observar en la parte posterior de la cabeza una cresta de plumas o penacho (Murphy, 1926). En general presenta un pico delgado y con gancho en la punta, el cuello lo tiene alargado y erguido. Su longitud total es de 65 a 75 cm, el ala mide 27 a 31 cm, la cola 9.6 a 12 cm; pesando aproximadamente 2 Kg (Koepcke, 1963; Schulenberg *et al.*, 2010).

### **2.2.1.2. Población**

Su población ha ido disminuyendo, según registros históricos recopilados por Tovar y Cabrera (2005) en 1960 existieron 9.4 millones de guanayes, según datos de AGRORURAL (sin publicar) entre el 2011 y 2016 las poblaciones variaron entre 2.5 y 1.8 millones guanayes, según promedios anuales.

Sus colonias son densas y grandes. La densidad en época no reproductiva ha sido estimada en 15 aves/m<sup>2</sup>, mientras que en época reproductiva la densidad es 7 aves/m<sup>2</sup> (Tovar y Cabrera, 2005). Actualmente Sernanp y AgroRural, a manera de estandarizar el monitoreo de aves en las islas y puntas, consideran una densidad poblacional estándar, diferenciada para las tres especies de aves guaneras y según estado reproductivo. Para el caso del guanay, en estado no reproductivo el factor de densidad es 10 individuos/m<sup>2</sup>, mientras que en estado reproductivo es 6 individuos/m<sup>2</sup>. Sin embargo no existen hasta la fecha estudios publicados que confirmen esta información así como los posibles cambios de densidades en relación a factores externos que dependen de cada isla y punta.

Las islas y puntas que presentan mayor abundancia de guanay son Isla Macabí, Ballestas, Pescadores y Punta San Juan, mientras que las zonas donde se presenta

mayor persistencia para la reproducción son islas Chincha Norte, Corcovado, Pescadores, La Vieja, Ballestas, Guañape Norte, Guañape Sur, Macabí, Mazorca, Santa Rosa y Punta San Juan (Zavalaga, 2015).

### **2.2.1.3. Reproducción**

El dimorfismo sexual no es evidente, sin embargo algunos autores mencionan que se le puede diferenciar en la época de anidación y cuidado del polluelo. Así mencionan que la hembra presenta una coloración bronceada con un brillo metálico, mientras que el macho presenta la cabeza y cuello de color ligeramente castaño. Además en la hembra, las plumas en la parte superior del pico se hacen turgentes simulando cejas colgantes a diferencia de los machos (Vogt, 1942; Koepcke, 1963; Tovar y Cabrera, 2005).

La hembra puede colocar 2 a 4 huevos por nidada. La densidad de la colonia del guanay es en promedio 3.5 nidos /m<sup>2</sup>, su incubación es de 27-28 días (Vogt, 1964 en Tovar y Cabrera, 2005). Vogt (1964) reporta que la reproducción en la mayoría de sus observaciones ocurrió entre noviembre a febrero. Passuni *et al.* (2016) a partir del análisis de 667 reportes realizados por personal de AgroRural en 6 zonas de reproducción en la costa incluyendo Isla Santa Rosa, reporta que el pico de puesta de huevos ocurre de setiembre a enero, con un pico máximo en noviembre.

Según Tovar y Cabrera (2005) el ciclo reproductivo de estas aves transcurre en aproximadamente 4 meses (4 semanas cada mes), un mes de cortejo, un mes de incubación y dos meses de cuidado de pichones, además Passuni *et al.* (2016) incluye la etapa de cuidado de juveniles por los adultos (*post-fledging*) considerando para esta etapa un periodo de 4 semanas.

#### 2.2.1.4. Alimentación: Ecología de forrajeo, dieta y bolos residuales

Según Duffy (1983) el guanay es un buceador de superficie que presenta un forrajeo gregario. Weimerskirch *et al.* (2010) describe una estrategia de búsqueda de alimento para el guanay observado en Isla Pescadores denominada *Compass rafts*. Esta se basa en obtención de información social para el forrajeo de un grupo de guanayes que se encuentran flotando sobre la superficie del agua (rafts) cercano a la colonia, y que a través de la visualización de la dirección de retorno a la colonia de aves que salieron más temprano, pueden decidir la dirección de vuelo hacia las áreas de alimentación (Weimerskirch *et al.*, 2010). Luego de observar peces en apreciables cardúmenes, descienden sobre esta, y en bandadas acorralan al cardumen, inclusive hasta en playas.

De acuerdo a las instigaciones realizadas por Weimerskirch *et al.* (2012) en Islas Pescadores en base a 38 individuos, la duración de los viajes de forrajeo duran  $2.0 \pm 0.8$  horas, mientras que el rango de forrajeo es de  $18.9 \pm 6.1$  Km, así como la distancia recorrida es  $46.4 \pm 16.4$  Km (siendo la máxima  $\approx 63$  Km). La profundidad de buceo es de 10 metros en promedio y puede llegar a bucear hasta 32 m, sin embargo Zavalaga y Paredes (1999) reportan que el buceo es en promedio de 34 m con un máximo de 74m para Punta San Juan.

En total se han identificado 42 especies de peces que componen la dieta de guanay de 69 especies reportadas (Janhcke y Goya, 1998; García-Godos, 2001), además de algunos moluscos y crustáceos. Su principal presa es la anchoveta (Ávila, 1954; Jordán, 1959; Janhcke y Goya, 1998), seguida de camotillo (*Normanichthys*

*crockeri*), pejerrey (*Odontesthes regia*) y anchoa (*Anchoa nasus*); otras especies de presas representan sólo el 6.5%.

En promedio el guanay consume 430g de anchoveta al día (Jordán, 1966). Además Muck y Pauly (1987) mencionan que lo consumido por el guanay estaría en correspondencia con su peso, siendo el consumo diario el 17,8% del peso del ave.

Los guanayes producen bolos alimenticios residuales o alimenticios, materiales de desecho envueltos en una capa pseudomembranosa, que expulsan a diario antes de iniciar sus viajes de alimentación. Estos bolos contienen restos de las partes duras no digeridas de las presas consumidas días anteriores (Jordán, 1959).

La emisión de bolos residuales requiere un cierto costo de energía, ya que el individuo se sacude violentamente por las contracciones antiperistálticas en el esófago y estómago; arquean el cuello sacudiendo la cabeza expulsando el bolo residual usualmente por delante de las patas (Jordán, 1959).

La composición de la dieta puede ser determinada al examinar estos bolos, ya que las partes duras (como otolitos, huesos de peces o picos de calamar) pueden ser recuperadas e identificadas en el caso de los otolitos a nivel de especie según su forma y tamaño (García-Godos, 2001).

Los otolitos son piezas de aragonita de calcio que se ubican en el oído interno de los peces en número de seis (6): *lapillus*, *sagitta* y *asteriscus*. Para los estudios de dieta se utilizan los *sagitta* por su mayor tamaño y resistencia a la erosión, considerando para la identificación de la especie el tamaño y la forma (Rivas, 2000).



Así mismo es necesario considerar que los otolitos utilizados directamente de los bolos residuales no muestran información del tamaño de las presas, tampoco reflejan el estado inmediato de las condiciones de abundancia de estas. Ya que los otolitos son erosionados por los ácidos estomacales, además el tiempo de emisión del otolito de cada especie corresponderá al tamaño y especie de la presa. De esta manera se han realizado estudios para la obtención del porcentaje de erosión y retención de presas consumidas en guanayes en cautiverio. (Jahncke y Rivas, 1998)

Jahncke y Goya (1998) reportaron la existencia de una alta correlación entre la biomasa de anchoveta estimada por técnicas hidroacústicas y la proporción de anchoveta presentes en bolos residuales, consumiendo en su mayoría individuos pequeños. Los autores concluyen que la dieta de guanay podría ser un buen indicador de la oferta de anchoveta, sobre todo de la distribución a lo largo del litoral.

### **2.2.2. Características del Sistema de la Corriente de Humboldt**

Bakun y Weeks (2008) mencionan que la alta productividad que presenta el sistema de la corriente de Humboldt se debe a que el sistema de afloramiento está cercano al ecuador, caracterizado por vientos estables suficientes para el afloramiento, dando como resultado la presencia de una baja turbulencia y una alta productividad. A condiciones de fuertes vientos la turbulencia es mayor afectando negativamente a la productividad por la inestabilidad y difícil acceso de las larvas de peces a atrapar su alimento. La ventana óptima de velocidad del

viento para el reclutamiento es 5 a 6 m/s descrito por Cury y Roy (1989), así en estas condiciones para el afloramiento se presenta una alta productividad.

Así mismo Chávez *et al.* (2003), menciona que la parte norte del sistema de la corriente de Humboldt presenta una alta variabilidad interanual, presentándose esporádicos y recurrentes reorganizaciones “resets” en el sistema que amortiguan el efecto de producción de CO<sub>2</sub> ante la alta productividad, que permiten el crecimiento rápido de anchoveta (Chávez *et al.*, 2008).

Bertrand y coautores (2008) analizaron series de tiempo de la amplitud de las Ondas Kelvin (KW) en base a registros de las boyas TAO/TRITON y datos oceanográficos de la costa peruana, encontrando que dependiendo de los distintos escenarios donde las ondas Kelvin actúen expresados en escenarios cálidos y fríos, los componentes del ecosistema costero expresados en variables oceanográficas, pesquería y depredadores superiores se verán afectados significativamente. De esta manera se puede observar el comportamiento de los cardúmenes de anchoveta frente escenarios cálidos, acercándose a la costa en pequeños parches atrapados por las masas de agua más cálida, resultando en la concentración de depredadores y pesca en estas zonas, disminuyendo su esfuerzo de búsqueda. Sin embargo frente a escenarios fríos la anchoveta se dispersa horizontalmente reflejándose en un incremento de esfuerzo del forrajeo de las aves y de la pesquería. (Fig.1)

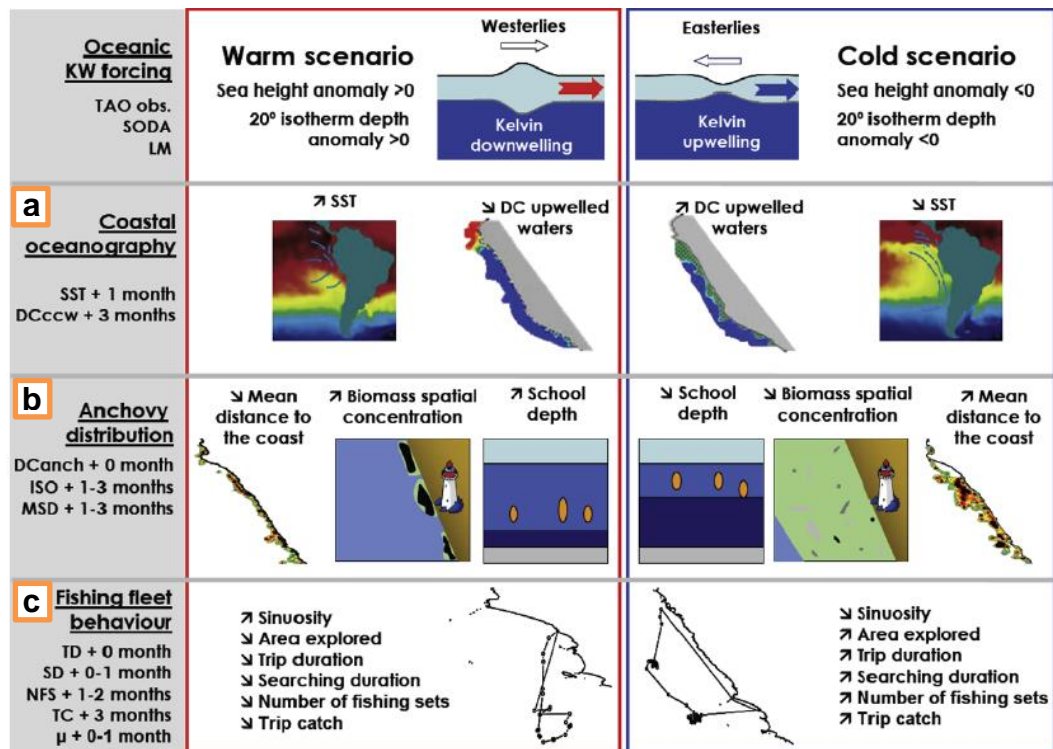


Figura 1. Escenarios del comportamiento observado en las costas del Sistema de la Corriente de Humboldt frente al forzamiento oceánico de ondas Kelvin cálidas y frías. (a) oceanografía de la costa peruana: temperatura superficial del mar (SST), distancia media a la costa de las aguas costeras frías (DCccw); (b) distribución de anchoveta: distancia media a la costa (DCanch), índice de distribución espacial de anchoveta (ISO), profundidad media de los bancos de peces (MSD); (c) comportamiento de la flota pesquera: duración media del viaje (TD), duración media de búsqueda (SD), número promedio de series de pesca (NFS), promedio de captura (TC), índice de trayectorias de viaje de pesca ( $\mu$ ). Extraído de Bertrand *et al.* (2008)

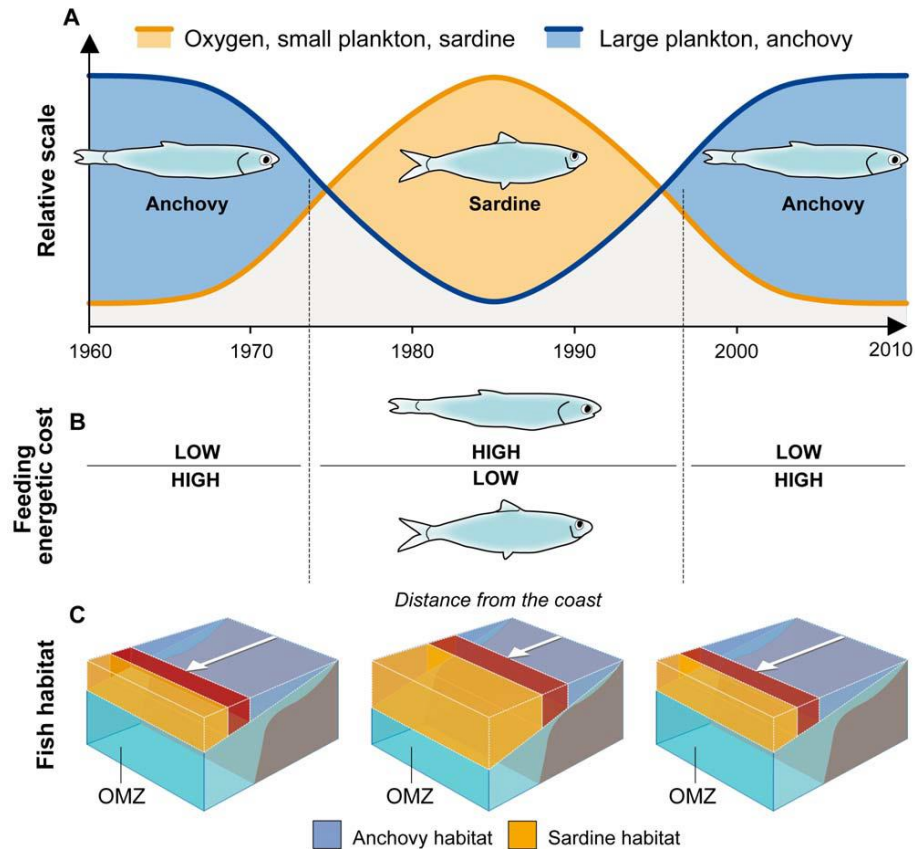


Figura 2. Modelo conceptual de cambios decadales en las poblaciones de anchoveta y sardina en el Pacífico suroriental. A) Esquema de la evolución temporal del macrozooplancton y anchoveta (línea azul sólida); y oxígeno, microzooplancton y sardina (línea naranja sólida) entre 1960 y 2010. B) Costos energéticos de la alimentación con espectros de tamaño de plancton dominante para anchoveta y sardina según los escenarios de A. C) Esquema del hábitat disponible para anchoveta (zona sombreada azul) y sardina (zona sombreada naranja). Extraído de Bertrand *et al.* (2011)

Bertrand *et al.* (2011) plantean que el oxígeno jugaría un rol importante en la estructura del ecosistema pelágico, pudiendo este ser la variable que module los cambios de régimen que luego repercuten en la presencia de anchoveta o sardina. El oxígeno presenta un efecto opuesto en la sardina y anchoveta, considerando la predilección por presas que le brinden menos gasto energético (filtrador fitoplancton /o eufáusidos) además de tener predilección por diferentes hábitats con mayor o escaso oxígeno, respectivamente. Además los autores se basan en lo hallado en estudios paleoecológicos sobre el norte de Chile y el Sistema de Benguela, en donde la sardina presentó sus mayores picos frente a una mayor oxigenación de las aguas del mar. (Ver Fig. 2)

### **2.2.3. Variabilidad de la dieta de aves marinas según cambios en su medio ambiente**

Emslie y McDaniel (2002) plantean la relación retrospectiva que pudo tener la variación de la dieta del pingüino de Adelia (*Pygoscelis adeliae*) de la Antártida con el cambio climático en los últimos 6,000 años. De esta forma mediante excavaciones en suelo ornitogénico de colonias extintas, identificaron restos de la dieta como otolitos y picos de calamares, los autores describen que en episodios fríos los pingüinos preferían *Pleuragramma antarcticum*, mientras que en épocas cálidas tenían predilección por el calamar *Psychroteuthis glacialis*.

Mariano-Jelicich *et al.* (2017) realizó estudios sobre la variación de la dieta en el albatros de ceja negra *Thalassarche melanophrys* en Argentina considerando el periodo actual y pre-desarrollo pesquero industrial. Realizaron análisis de isótopos de carbono y nitrógeno en muestras de piel y plumas de ejemplares de museos,

comparándolos con individuos capturados en el presente. De esta forma encontró que la dieta de estos albatros actualmente es más variable a comparación de individuos que vivieron antes de la época donde se desarrolló la pesquería industrial. La dieta en la época pre pesquería estuvo compuesta principalmente por cefalópodos mientras que en la actualidad tienen preferencia por presas demersales.

Webb & Harvey (2015) reportan la variación espacio temporal en la dieta del cormorán de Brandt *Phalacrocorax penicillatus* para la Bahía de Monterrey – USA. Este cormorán varió su dieta, de consumir principalmente pez roca (*Sebastes spp.*) y calamar (*Doryteuthis opalescens*) hasta antes de 1970, ahora consume anchoveta del norte (*Engraulis mordax*), además del lenguado moteado (*Citharichthys stigmaeus*). Así mismo exploran la variación de las proporciones de especies presa según eventos El Niño y La Niña. Observaron que dentro de Bahía de Monterey durante la ocurrencia del Evento La Niña se presentaba mayor número y diversidad de presas.

Así mismo Sydeman *et al.* (2001) realizó un estudio en 11 especies de aves marinas, observó cambios en la dieta de las aves entre 1969 y 1997 producto de cambios climáticos a pequeña escala. Así reporta la disminución en el consumo de juveniles de *Sebastes spp.* para zona de California central. En general halló variaciones interanuales en el consumo de *Sebastes spp.* y eufáusidos *Thysanoessa spinifera*, los autores atribuyen estas variaciones en la dieta a un cambio de régimen ocurrido a finales de los 80's que no corresponderían a un cambio de fase de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) en 1976/1977.

Crawford & Jahncke (1999) mencionan la importancia de las especies de anchoveta y sardina para los Sistemas de la Corriente de Humboldt y Benguela. Así reportan la relación frente a la escasez de anchoveta y la disminución del éxito reproductivo de cormoranes y la mortalidad de las juveniles y de inclusive adultos, en ambos sistemas. Mientras que resaltan también la importancia de la sardina para otras especies de aves marinas como *Morus capensis* que habitan en África. Menciona que las especies en África, en especial los alcatraces fueron capaces de cambiar su dieta de sardina a anchoveta y volver a la sardina nuevamente frente a los cambios de régimen. Sin embargo para el Perú, los piqueros si disminuyeron en población cuando disminuyó la biomasa de anchoveta al mismo tiempo se incrementó la sardina, sin embargo frente al cambio de régimen en los noventa las poblaciones de aves no se recuperaron del todo. Así proponen que frente a la industria pesquera, las aves presentarían cierto nivel de tolerancia por adaptabilidad frente a condiciones extremas.

En el Perú se han publicado investigaciones sobre la dieta de aves guaneras y se han reportado variaciones en ella, relacionadas a la variabilidad que caracteriza al sistema de la corriente de Humboldt, así como a las actividades antrópicas. Sin embargo estas investigaciones son aisladas y el periodo de estudio es corto, como se detalla a continuación.

Según Jahncke y Goya (1998) la dieta del guanay varía según el espacio (latitud) y tiempo (meses); el porcentaje de otolitos de anchoveta en los bolos analizados entre los años 1995 a 1997, se incrementó en los meses de invierno-primavera, los autores consideran que este evento se debió a la presencia de reclutas nacidos en el verano. Además Zavalaga y Paredes (1999) afirman la presencia de una

variabilidad interanual en la dieta de guanay basado en estudios de bolos residuales entre los años 1995-1996, encontrando diferencias significativas en ambos años.

Jahncke (1998) analizó series de tiempo sobre el tamaño de la población de aves guaneras entre 1953 y 1997, notando que el crecimiento de las aves guaneras fue limitado por la explotación pesquera en los 70's, así como los eventos El Niño oscilación el Sur (ENSO) de 1957-78 y 1965, y sobre todo en 1982-83 cuando colapsó el stock de anchoveta ocasionando una alta mortandad de aves, basados en la denso-dependencia por disponibilidad de alimento. Asimismo acota que para 1997 ya se tenía un mejor manejo de la pesquería lo cual se reflejó en la recuperación de las aves luego del ENSO.

Jahncke *et al.* 2004 realizó un modelo de flujo de carbono basado en datos de vientos y temperatura superficial del mar. Menciona que el porcentaje de anchoveta ha ido disminuyendo. Así mismo según este modelo predice que se incrementaría la productividad primaria beneficiando a la población de depredadores superiores como las aves marinas.

Jahncke *et al.* 2004 además presentó una tabla recopilando datos históricos a partir de publicaciones sobre la dieta del guanay según año y porcentaje de anchoveta. En la tabla 1, como se puede observar, el porcentaje de anchoveta en la dieta ha ido cambiando desde 1920. Tovar y Galarza (1984) registraron cambios en el régimen alimentario del guanay entre los años 1977-1978; ante el evento el Niño de 1976/77, el guanay mantuvo un comportamiento alimenticio generalista, pues la anchoveta no se encontraba disponible. Los autores consideran que



ocurrieron fenómenos de compensación, así se observó un incremento de otros peces pelágicos en la dieta. Luego cuando las condiciones se restablecieron en 1978, las aves se alimentaron exclusivamente de anchoveta.

Tabla 1. Importancia relativa de anchoveta en la dieta de guanay. Extraído de Jahncke *et al.* 2004.

<b>Año</b>	<b>%Anchoveta</b>	<b>Referencia</b>
<b>1920-40s</b>	~100	Murphy(1925), Vogt(1942)
<b>1950s</b>	90-96	Jordán(1959,1961, 1967)
<b>1960s</b>	5-70	Galarza (1968)*
<b>1970s</b>	5-100	Tovar & Galarza (1984)**
<b>1980s</b>	88	Tovar et al.(1988)
<b>1990s</b>	49-81	Goya (2000)
*Muestras colectadas durante y después de El Niño 1965/66,**76/77		

Las condiciones ambientales influyen en el ecosistema de la Corriente de Humboldt, por ejemplo ante la profundización de la oxiclina y presencia de afloramiento se produce una alta biomasa de zooplancton y peces, por lo que a través control trófico tipo “Bottom- up”, las aves se afectan positivamente al tener mayor cantidad de alimento, aunque en un mayor área para el forrajeo (Bertrand *et al.*, 2014). Siendo necesario mencionar que no sólo la abundancia de anchoveta es una variable importante para la presencia de anchoveta en la dieta del guanay, sino también la disponibilidad de la presa (Boyd, 2015). Weimerskirch *et al.* (2012) reporta el traslape vertical existente entre los cardúmenes de anchoveta y los guanayes, sobre todo entre los 2 y 8 metros de profundidad.

Así mismo recientemente se ha observado que entre las variables oceanográficas, la profundización de la oxiclina es la que mayor influencia tiene en el comportamiento de forrajeo de las aves y la disponibilidad de alimento (Bertrand *et al.*, 2014 y Pasunni *et al.*, 2016). La profundidad que llegue a alcanzar la oxiclina afectará en la distribución vertical de la anchoveta, mientras más profunda sea la anchoveta estará más dispersa y distribuida verticalmente, siendo menos disponible para las aves, a diferencia de cuando la oxiclina es somera presentándose bancos de anchoveta concentradas en la superficie.

Así mismo la dieta y comportamiento de forrajeo puede variar por la presencia de estrés en el ecosistema ante la explotación pesquera. Bertrand *et al.* (2012) reportan que existe una relación significativa entre el número de viajes diarios, las distancias de las inmersiones que realizan los piqueros de la colonia de Guañape Sur y la actividad pesquera cercana a su colonia. Así mismo sus viajes de alimentación se hicieron cada vez más segregados en el espacio. Observaron también que la extracción diaria de la actividad pesquera fue 100 veces mayor a la requerida por las aves de la colonia, observándose que las aves incrementaban el esfuerzo de forrajeo a través de los días de pesca.

#### **2.2.4. Sobre la acumulación del guano de islas**

Según estudios realizados por Jordán (1966), el rango de generación de guano por las aves es de 40 a 70 g al día, así plantea que la relación entre el consumo de anchoveta y producción de guano es de 8 a 1.

Vogt (1942) reporta que no ha sido posible datar la antigüedad del guano mediante la simple medición de la altura del depósito considerando una altura anual promedio. Menciona como ejemplo que para la Isla Chincha se excavó el guano teniendo una profundidad de 50 metros; considerando que la altura promedio anual de la acumulación de guano es de 5 centímetros se concluiría que sólo el tiempo transcurrido fue de 1,000 años desde que inició su acumulación en la isla, lo cual no corresponde a la realidad. Sin embargo menciona que entre las diferentes condiciones que se debería tomar en cuenta para hacer un cálculo similar está el considerar que el guano se acumula en las islas presentando un ángulo sobre la superficie; el guano no se distribuye de manera uniforme en las islas, teniendo más bien una forma de concavidad, más concentrado al centro y disperso a los bordes. Además se debe considerar la compresión, erosión eólica y efecto de las aves sobre guano.

Aunque la tasa de acumulación de guano en las islas es variable según las condiciones ambientales de la zona, algunos autores han propuesto tasas de acumulación anual. De esta forma Coker (1919) observó en la Isla Chincha Sur que durante 20 meses luego del cierre de la extracción del guano, la profundidad del guano acumulado en promedio fue 18.5 cm (n=26), es decir que presentó una tasa de acumulación anual de 11.1 cm. Murphy (1925 en Hutchinson, 1950)

observó en isla Chincha Centro que se acumularon 7.6 a 10.3 cm de guano en 2 años y medio, correspondientes a tres temporadas reproductivas, es decir la tasa de acumulación anual fue de 3cm. Por otro lado Vogt (1942) reporta que al año se acumulan 96 Kg por m<sup>2</sup>, Hutchinson (1950) en base esta tasa y densidad del guano reportada por Coker (1919) menciona que la acumulación anual sería de 7.8 a 10.6cm ( $\rho=1.223\text{g/cm}^3, 0.9 \text{ g/cm}^3$ ). Finalmente Hutchinson (1950) realiza una compilación de información de los reportes sobre la estimación del espesor de la estratificación, así propone que la tasa de deposición sería de aproximadamente 8cm/año.

La isla Santa Rosa es una de las más propicias para el asentamiento de guanayes, debido a que aproximadamente el 90% de su área total es plana y baja. El clima seco de esta zona permite la retención del 15% a 16% de Nitrógeno, además la composición del guano estaría influenciada por la brisa de mar presente en la zona (Hutchinson, 1950).

El grupo de Islas Santa Rosa ocupa el cuarto lugar respecto a colonias de aves donde se hayan extraído guano desde 1909 a 1966, extrayéndose 654,419 TM de guano rico producido, comparándose en volumen de extracción con Islas chincha, Independencia (La Vieja) y Guañape Sur (Cushman, 2003). Esta acumulación de guano en esta isla es propicia para el presente estudio sobre la reconstrucción histórica de la dieta de guanay, además del largo periodo de reposo por no haberse extraído guano en los últimos 20 años.

De esta manera Isla Santa Rosa ofrece un escenario propicio para estudiar las relaciones entre cambios oceanográficos y disponibilidad de anchoveta a través

del análisis de los bolos residuales de los guanayes. La reconstrucción histórica de la dieta de guanay es posible mediante la excavación los depósitos de guano, estratificación de las capas según los años o estaciones reproductivas y extracción de otolitos dentro de cada capa, para finalmente estimar un índice de abundancia de anchovetas y otras presas en la dieta de las aves.

### 2.3. Justificación del estudio

Esta investigación genera información acerca de la dieta de *P. bougainvillii* basados en registros de 20 años, no publicados a la fecha. Así mismo, aporta información sobre el entendimiento de como los cambios oceanográficos afectan el comportamiento de forrajeo de los guanayes expresado en la composición de la dieta, con énfasis en la abundancia relativa de anchoveta, siendo esta su principal presa. Por otro lado, para lograr el entendimiento de la relación entre el ambiente y la dieta se debe realizar investigaciones que abarquen una amplia ventana de tiempo y que contengan condiciones extremas como Eventos El Niño, La Niña u arribo de ondas Kelvin cálidas. Con esta información se podría conocer la vulnerabilidad al cambio climático de *P. bougainvillii*, pues ante un posible calentamiento del mar en décadas venideras, es posible que cambie la distribución y abundancia de la anchoveta, lo cual a su vez, llevaría a cambios en la composición en la dieta del guanay y finalmente a una reducción poblacional o cambios en su distribución. Conociendo que actualmente se sigue extrayendo guano de isla para comercializarlo como abono orgánico para los agricultores rurales, y que existen actividades como el ecoturismo en las islas y puntas guaneras, estas actividades se verían afectadas negativamente frente al escenario de la reducción poblacional de *P. bougainvillii*.

## **2.4. Objetivos**

### **Objetivo general**

Reconstruir históricamente las variaciones interanuales en la composición de la dieta del guanay, y determinar su relación con variables oceanográficas e índices de abundancia de anchoveta en los últimos 20 años en Isla Santa Rosa por medio de un nuevo método cuantitativo de excavaciones en depósitos de guano.

### **Objetivos específicos**

- Reconstruir, en base a la información de mapas históricos, una línea de tiempo de ocupación de las aves para identificar indicios de eventos reproductivos del guanay en las capas de guano.
- Describir y analizar la variabilidad interanual de la dieta del guanay para los últimos 20 años a partir de la reconstrucción de bolos residuales enterrados en depósitos de guano.
- Hallar la relación de la proporción de anchoveta en la dieta de guanay reconstruidas de las capas de guano y las variables oceanográficas presentes alrededor de la isla Santa Rosa en los últimos 20 años.
- Hallar la relación de la proporción de anchoveta en la dieta de guanay obtenida de las capas de guano e índices de abundancia de anchoveta en Isla Santa Rosa para los últimos 20 años.

### **3. Metodología**

#### **3.1. Diseño de estudio**

El presente estudio es de tipo no experimental correlacional. Se utilizó el método de excavaciones en depósitos de guano, y con la ayuda del análisis de mapas históricos sobre la distribución espacial de las aves guaneras (realizados por guardaislas de AgroRural) se pudo determinar la zona de excavación, además se logró identificar y diferenciar capas de guano acumuladas en los últimos 20 años en la isla Santa Rosa. Así se realizaron dos calicatas en el guano y se extrajeron muestras de guano a diferentes niveles. El guano fue tamizado, los otolitos sagita extraídos e identificados para finalmente determinar un índice de abundancia relativa de anchoveta para las diferentes capas (porcentaje de otolitos de anchoveta presente en las capas de guano). Por otro lado, se extrajeron datos oceanográficos de diferentes fuentes concurrentes en el tiempo con el periodo de estudio para examinar posibles correlaciones con el índice de abundancia de anchoveta en la dieta. El diseño experimental se detalla en la figura 3.



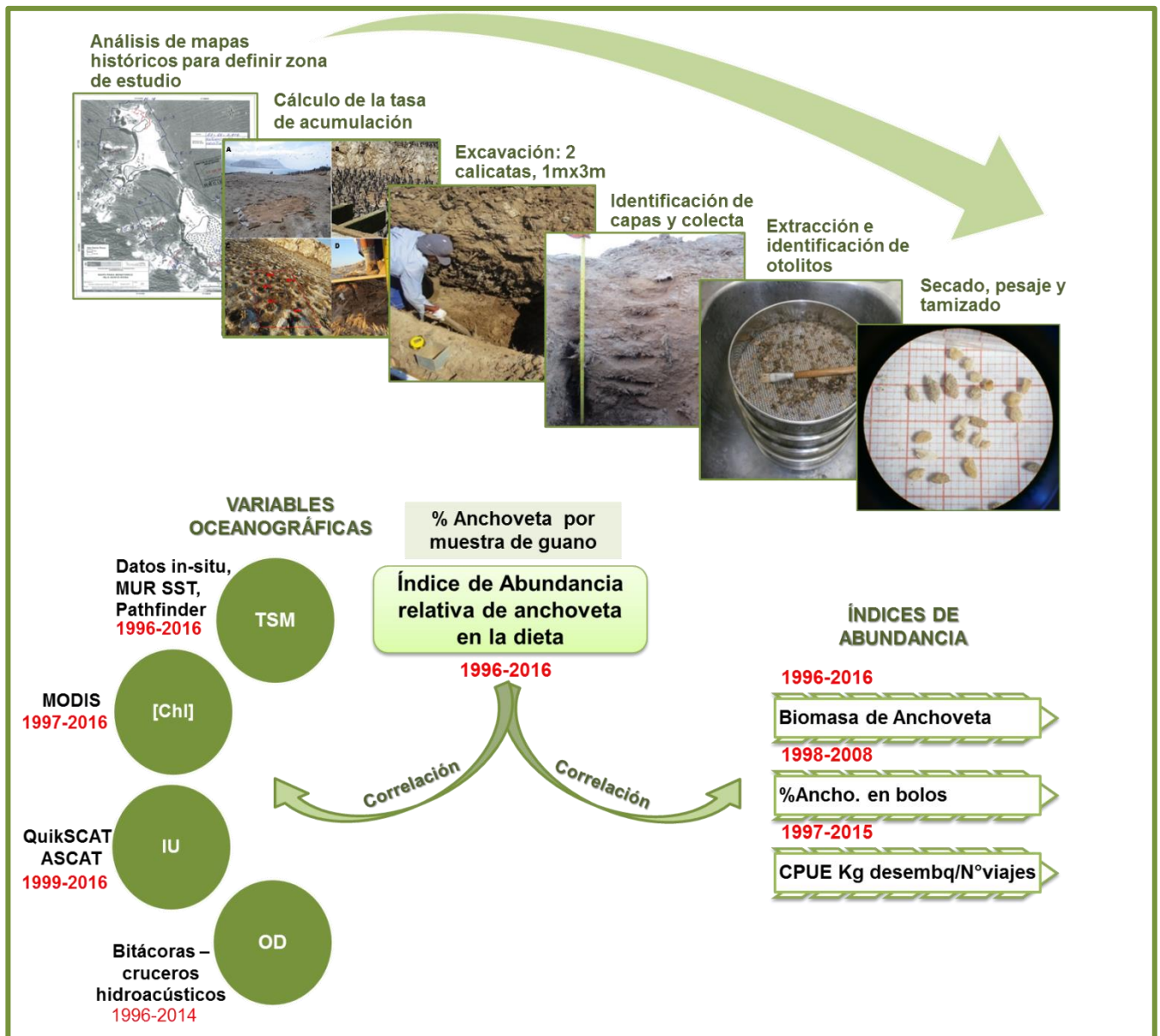


Figura 3. Esquema del diseño de investigación. Etapas para obtención del índice de abundancia relativa de anchoveta en la dieta (porcentaje de otolitos de anchoveta), la cual fue correlacionada con variables oceanográficas como temperatura superficial del mar (TSM) tomada in-situ y obtenida a partir de datos satelitales de MUR SST y Pathfinder; concentración de clorofila-a ([Chl]) obtenida a partir de datos satelitales de MODIS; índice de afloramiento (IU) obtenida a partir de datos de viento del satélite QuikSCAT y ASCAT; y oxígeno disuelto superficial (OD) obtenido de bitácoras de los cruceros hidroacústicos. Las variables oceanográficas fueron obtenidas de Imarpe y AgroRural.

### **3.2. Población**

Está representada por el sedimento ornitogénico (guano) que contiene restos de partes no digeridas que fueron depositadas a través de la regurgitación de bolos residuales por colonias de *P. bougainvillii* en los últimos 20 años en la Isla Santa Rosa, Reserva de Paracas- Pisco, Ica. Durante este periodo la población de guanayes pudo alcanzar valores de alrededor de 750,000 individuos, presentando 191, 000 individuos según promedios anuales (35,311 individuos- 356,841 individuos). Hubo variaciones drásticas en su número como las observadas en 1997-98, 2007, 2010, 2015 entre otros años. Ver Anexo 12.

#### **3.2.1. Área de Estudio**

La isla Santa Rosa (14° 19' 10,21"S, 76° 09' 39,92"O) se localiza al extremo sur de la Bahía Independencia, en la provincia de Pisco, departamento de Ica. Dentro de la bahía es fácilmente reconocida por presentarse a 0.75 millas al sur de la Isla Independencia. La isla presenta 27.77 hectáreas de área total, al lado oeste presenta algunos islotes y requeríos, lo que dificulta su navegación por esta zona (Tovar y Cabrera 2005). Se encuentra dentro de la Reserva Nacional de Paracas (Fig. 4).

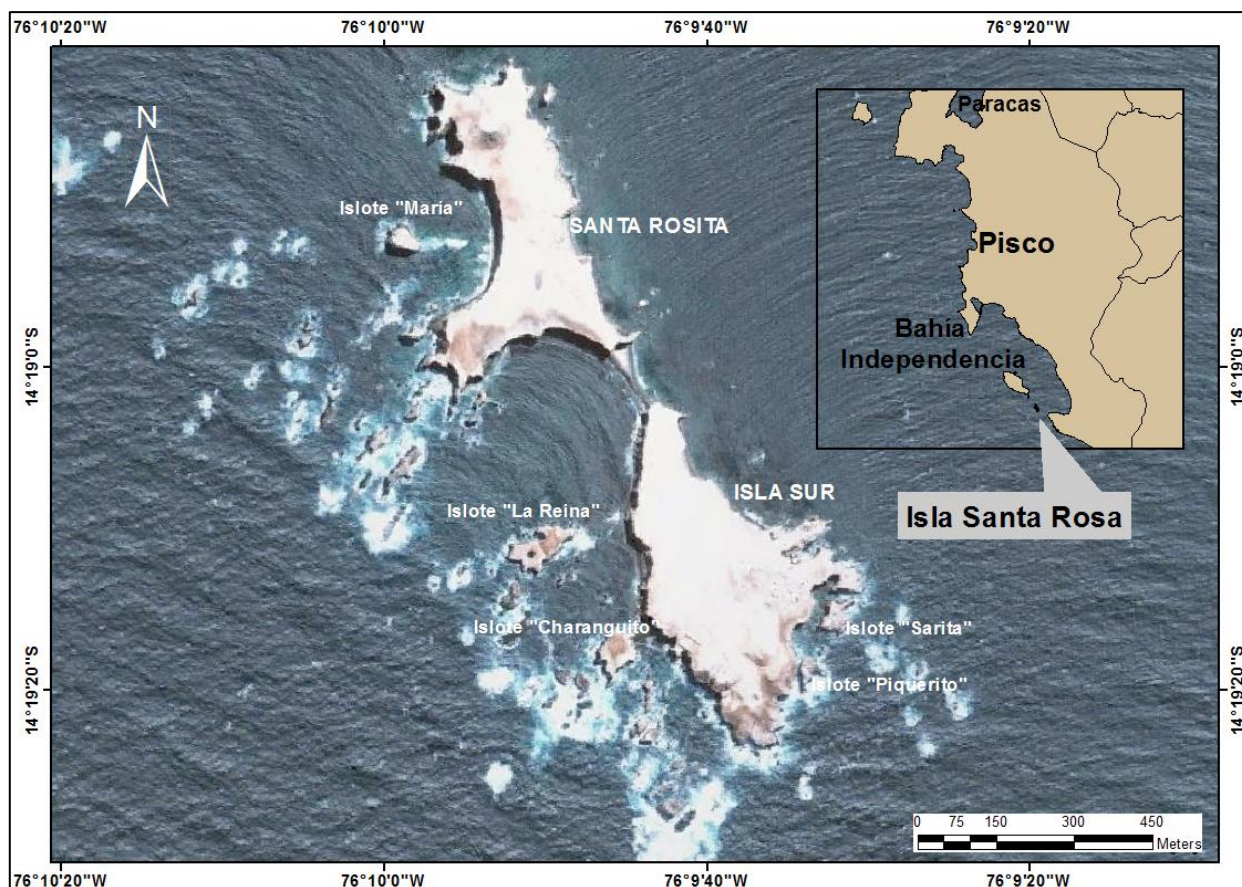


Figura 4. Mapa de ubicación de la Isla Santa Rosa, Bahía Independencia- Pisco.

### 3.3. Muestra

Está representada por gramos de sedimento ornitogénico de guanay o guano, colectadas de dos calicatas realizadas en la isla Santa Rosa, con dimensiones de 1m x 3m separadas por 7 metros una de la otra. En total se colectaron 73 muestras de guano en las dos calicatas (de diferentes pesos según el tipo de muestreo) que fueron empaquetadas en bolsa ziploc para su posterior análisis en el laboratorio.

### 3.4. Operacionalización de las variables

Se presenta las variables independientes y dependientes empleadas para esta investigación, se muestran las unidades y fuentes de obtención de datos.

#### 3.4.1. Variable Independiente

##### 3.4.1.1. Variables Oceanográficas

- Temperatura superficial del mar-TSM (°C)

Fuente:

- Pathfinder 1996-2002 (4Km) y MUR SST 2003-2016 (1Km):  
Laboratorio de Modelado Oceanográfico, Ecosistémico y del Cambio Climático
- TSM in-situ: AGRORURAL

- Concentración de Clorofila-a [Chl] (mg/m<sup>3</sup>)

Fuente:

- SeaWiFS- MODIS 1997-2016: Laboratorio de Modelado Oceanográfico, Ecosistémico y del Cambio Climático

- Índice de afloramiento - IU (m<sup>3</sup>/s x 100m)

Hallado en base a la intensidad del viento

$$IU = \frac{\tau}{\rho f} 100$$

Donde:

$\tau$  = resultante de la componente zonal y meridional del viento

$\rho$  = densidad del agua de mar, 1025 Kg/m<sup>3</sup>

$f$  = parámetro de Coriolis,  $2\Omega \sin(\text{latitud} \times \frac{\pi}{180})$

$$2\Omega = 1.458 \cdot 10^{-4} / \text{s}$$

Fuente:

- QuikSCAT 1999-2009 y ASCAT 2008-2016: Laboratorio de Hidrofísica Marina de IMARPE
- Oxígeno disuelto superficial- OD (mL/L)

Fuente:

- Datos in-situ 1996-2014: Bitácoras del Laboratorio de Oceanografía Química de Imarpe

#### **3.4.1.2. Variables de Índice de Abundancia de Anchoqueta**

- Biomasa de anchoqueta

Fuente:

- Cruceros de evaluación hidroacústica 1996-2016 para los 14° y 15° latitud sur: Área Funcional de Hidroacústica de Imarpe

- Proporción de anchoqueta en la dieta de guanay

Fuente:

- Composición de dieta por análisis de bolos residuales 1998-2008: Área de Investigaciones de Depredadores Superiores de Imarpe

- CPUE

Hallada en base a los datos de desembarques reportados en la caleta San Andrés y el número de viajes.

$$\text{CPUE} = \frac{\text{Captura de peces}}{\text{Esfuerzo de pesca}}$$

Donde:

Captura = Total de anchoveta desembarcada al año (Kg)

Esfuerzo = Número de viajes realizados por las embarcaciones al año

Fuente:

- Desembarques de Caleta San Andrés 1997-2015: Laboratorio costero de Pisco de Imarpe

### 3.4.2. Variable Dependiente

- Índice de abundancia relativa de anchoveta: Representado por el porcentaje numérico de otolitos de anchoveta (número de otolitos de anchoveta/ número total de otolitos) presente en las muestra de guano.

$$\%otolitos\_anchoveta = \frac{\text{N}^\circ \text{ de otolitos de anchoveta}}{\text{N}^\circ \text{ total de otolitos de la capa}} \times 100\%$$

### **3.5. Procedimientos y técnicas**

#### **3.5.1. Análisis de mapas históricos para determinar zonas reproductivas óptimas para la excavación**

Las empresas a cargo de la extracción y comercialización del guano en el Perú han tenido como procedimiento realizar el conteo o censo mensual de aves guaneras. En la actualidad, estos son realizados por guardaislas el primer día de cada mes, donde grafican la zonificación de las aves, considerando la especie de ave guanera, y estado reproductivo. Para esto se utiliza un mapa a escala de las islas guaneras en donde se dibuja la forma y tamaño de las colonias de aves guaneras (RNSIIPG, 2010). Esta técnica es una modificación del método planimétrico implementado por Jordán (1963).

Los mapas y reportes históricos de isla Santa Rosa fueron solicitados a AGRORURAL. Esta información se encontraba en las oficinas de dicha institución y en la misma isla como reportes abandonados. Estos mapas fueron utilizados en este estudio para identificar las zonas más propicias para realizar la excavación y obtención del perfil. Se consideró que la zona debía contener el mayor número de eventos reproductivos de *P. bougainvillii*. Esto con el fin de que al obtener el perfil, se pueda diferenciar las capas de guano por medio de la presencia de paquetes de plumas, restos de nidos o carcasas de pichones.

Los mapas mensuales recolectados en el periodo 1996-2016 fueron digitalizados y georeferenciados en ArcGIS Versión 9.3 considerando los meses y el estado reproductivo de *P. bougainvillii*. Una vez digitalizados los mapas fueron

analizados en capas obteniendo un modelo raster que mostró las zonas de mayor ocupación para la reproducción.

La superposición de los mapas de ocupación de *P. bougainvillii* para los últimos 20 años, muestra que la mayor concentración de aves reproductivas estuvo localizada en el lado sur-este de la isla (Fig.5, se observa en rojo). Sin embargo el extremo sur de la zona de mayor ocupación reproductiva de *P. bougainvillii* presentaba grupos de *Spheniscus humboldti* en estado reproductivo. Por lo que in situ se optó por considerar otra zona que también contenga una importante ocurrencia de la reproducción. Considerando además que la posición elegida para la excavación no perturbe a los individuos de *S. humboldti* (Fig.5). Se eligió dos puntos para realizar la excavación: Pt1 14.32042°S, 76.15945°O y Pt2 14.32049°S, 76.15945°O.

Además, se elaboró una base de datos sobre la reconstrucción mes a mes de la reproducción en toda la isla y para la zona elegida para la excavación, lo cual se logró realizar en base a la presencia y ausencia de las colonias de *P. bougainvillii*, y al estado reproductivo en que se encontraban ocupando la isla. En general para toda la isla, entre 1996 y el 2016 se presentaron 23 eventos reproductivos distintos, los que variaron en tiempo y en algunos casos en zonas (Ver Anexo 11).



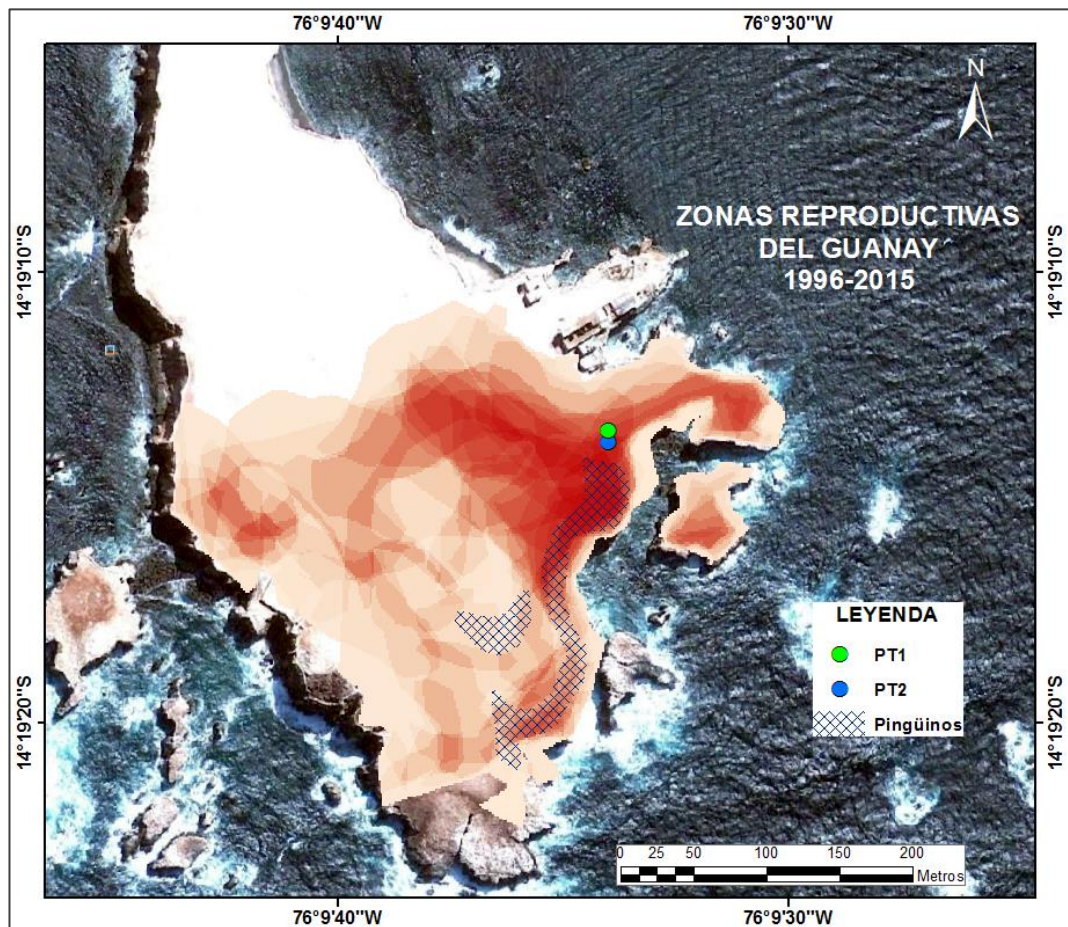


Figura 5. Zonas reproductivas del guanay en la isla Santa Rosa. Se muestra los puntos de ubicación (en verde y azul) donde se realizaron las calicatas. Nótese la zona sombreada en celeste que representa el área de anidación de los pingüinos de Humboldt en 2016.

### 3.5.2. Cálculo de la tasa de acumulación de guano

Para poder interpretar lo que se iba a observar al obtener los perfiles, y así tener un valor referencial de la tasa de acumulación de guano para Isla Santa Rosa, fue necesario considerar información bibliográfica existente, además se realizó un cálculo de la tasa de acumulación de guano por temporada reproductiva. De esta forma se refinó el análisis de datación de las capas de guano en las calicatas.

Según Hutchinson (1950) y Zavalaga (2015) la tasa de acumulación de guano puede variar de acuerdo a cada isla y a sus diferentes condiciones que las caractericen ya sea estos bióticos (tiempo de permanencia de las aves) como abióticos (viento, inclinación de la isla, etc).

Por otra parte se realizó un estudio piloto en isla Guañape Sur (ver Anexo 1) en el 2015, encontrando que la tasa de acumulación anual era de 15cm, sin embargo como ya se ha mencionado las condiciones son únicas para cada isla. Es por esto que se decidió calcular la tasa de acumulación de guano para isla Santa Rosa, registrando cuanto guano se acumula por cierto periodo de tiempo.

Tabla 2. Antecedentes sobre la tasa de acumulación anual de guano

<b>Autor</b>	<b>Zona</b>	<b>Tasa de acumulación (cm/año)</b>
Coker (1919)	Chincha Sur	11.1
	Islote (cercano a Lobos te Tierra)	10
Murphy (1925)	Chincha Centro	3
Vogt (1942)	*	7.8-10.6
Hutchinson (1950)	**	8
Estudio Piloto§	Guañape Sur	15

\* Datos hallados a partir de densidad del guano

\*\*Revisión de varios autores

§El estudio Piloto se detalla en el anexo1

Para esto en noviembre de 2015, con la ayuda de los guardaislas y antes del inicio de la temporada reproductiva 2015-2016, se colocó una manta de tela de algodón sobre una zona de anidación habitual del guanay en la isla Santa Rosa. La manta se ubicó a los 14.31982°S, 76.15977°W, cercano a los puntos donde luego de meses se realizó la excavación. El tamaño de la manta fue 1.65m x 3.58m.

Se realizó una visita en mayo 2016, luego de concluida la temporada reproductiva 2015-2016 para realizar mediciones de las profundidades del guano acumulado en la manta de tela, considerando que las poblaciones de guanayes no se encontraban presentes en la zona de estudio desde el mes de marzo (guardaisla-AGRORURAL, comunicación personal). Esta información se corroboró con los registros de los mapas. Se ubicó la posición de la manta con un GPS, y luego se realizó un muestreo superficial en 5 puntos tomados al azar, para realizar las mediciones de guano acumulado (Figura 6).

Cabe mencionar que el guano no se deposita de forma regular, sino que la superficie consta de nidos en forma de tazas en donde el nivel del suelo se puede medir tanto en la base como en el tope de los nidos. Por esto, se realizaron dos mediciones una máxima y mínima para cada punto. La profundidad máxima de guano acumulado durante la reproducción, es decir propiamente en los bordes de los nidos en forma de taza, se halló mediante la excavación entre cada nido hasta encontrar la manta y posterior medición de este punto hasta la parte más alta del nido. Mientras que la profundidad mínima se halló midiendo la profundidad acumulada que se presenta entre cada nido.

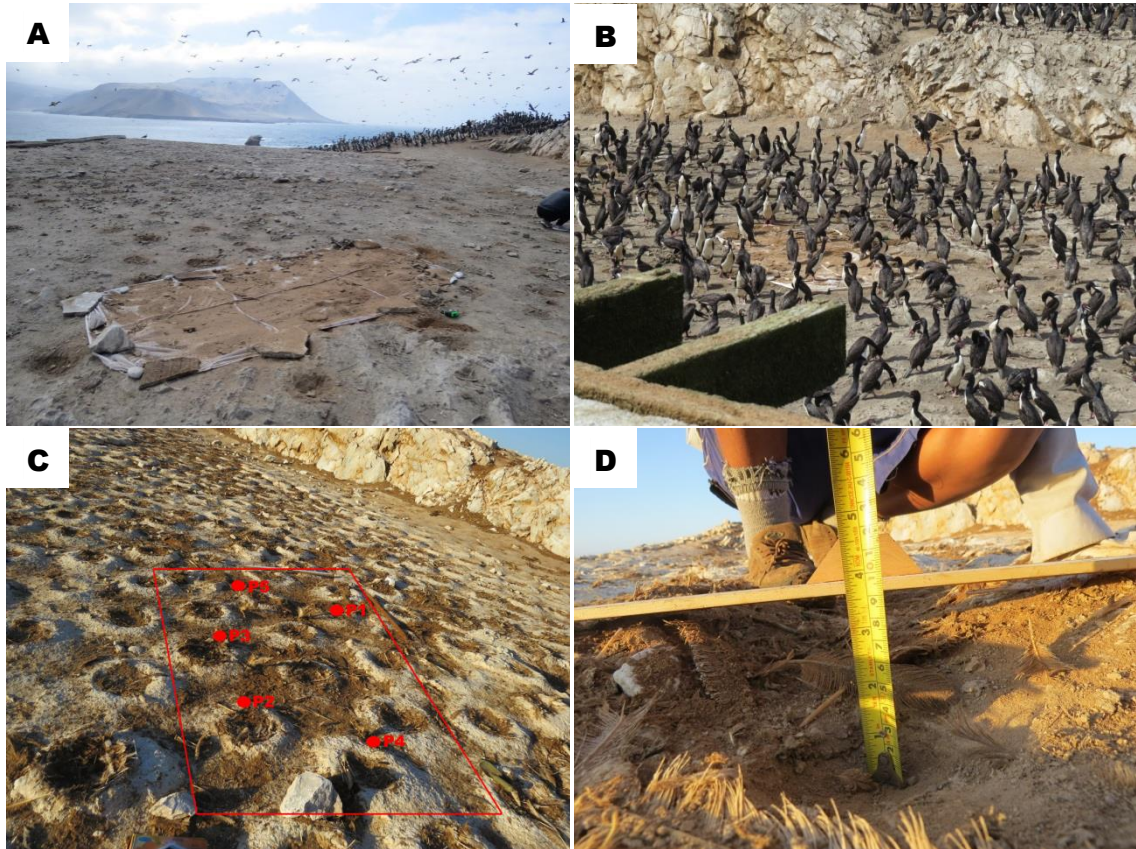


Figura 6. Procedimiento para medir la tasa de acumulación de guano de una temporada reproductiva. (A) Se muestra la manta de tela tendida sobre el guano ubicada antes de la temporada reproductiva 2015-2016. (B) Se observa como un grupo de *P. bougainvillii* se colocan sobre la manta. (C) Luego de terminada la temporada reproductiva 2015-2016, se localizó la posición de la manta con un GPS, se procedió a realizar las mediciones de profundidad de guano. (D) Medición de la profundidad del guano en uno de los puntos mínimos (ubicado entre nidos).

Se halló que el promedio máximo de acumulación de guano fue de 8 cm (6cm- 9.5cm) y mínimo 3.55 cm (2.55cm- 5.25cm) para la temporada reproductiva 2015-2016 (Tabla 3). Sin embargo estos datos hallados no representan una tasa anual, pues sólo considera un periodo reproductivo, más no la antesala de la no reproductiva, donde se incrementaría la medida de acumulación. Sin embargo resumiendo toda la información hallada sobre la tasa se acumulación anual, esta estaría entre los 8cm y 11cm.

Tabla 3. Medidas de las profundidades de guano acumulado sobre la manta de tela, durante la temporada reproductiva 2015-2016.

	<b>Min (cm)</b>	<b>Max (cm)</b>
<b>P1</b>	4	9.5
<b>P2</b>	2.5	6
<b>P3</b>	5.25	9
<b>P4</b>	3	6.5
<b>P5</b>	3	9
<b>Promedio</b>	3.55	8

### 3.5.3. Sobre la excavación y el muestreo

Se realizaron excavaciones en el guano en 2 zonas de la isla seleccionadas a partir del análisis de mapas, donde se observa la ocurrencia reproductiva del guanay (Pt1 14.32042° S, 76.15945°O, Pt2 14.32049°S, 76.15945°O, ver figura 5). Para la obtención de los perfiles, la excavación se hizo desde la superficie hasta encontrar el fondo rocoso. El cuadrante señalado para la excavación o calicata tuvo 1m de ancho x 3 m de largo (Arévalo *et al.* 2003).

Para la obtención de muestras de guano, primero se identificó visualmente las capas reproductivas de acuerdo a la presencia de cúmulos de plumas (restos de nidos), cáscaras de huevo y carcasas de pichones. Asimismo, el perfil de la calicata fue fotografiado para una mejor visualización en una computadora.

En un primer momento se pensó realizar un “muestreo por capas de guano”, sin embargo al no tener a la mano la línea de tiempo del perfil de la calicata (elegida en campo, ya que la zona elegida previamente se encontraba con presencia de pingüinos), no se pudo hacer coincidir las capas identificadas en campo con los eventos reproductivos ocurridos en la zona de excavación. Por lo que se decidió realizar adicionalmente una colecta de muestra de forma continua del perfil “muestreo por bloques de 5 cm”.

Para el muestreo por capas de guano, en base a la inspección visual del perfil se colectó muestras de guano que se ubicaban inmediatamente sobre las capas de plumas (indicios del inicio de temporadas reproductiva). Se utilizó un cubo metálico de 1000 cm<sup>3</sup> de capacidad para colectar la muestra de guano por cada capa. Las muestras por cada capa fueron recolectadas en dirección ascendente

desde la base de la capa (por encima de los nidos) hacia la superficie. Por cada muestreo por capa se consideró dos repeticiones. Estas muestras fueron pesadas con una balanza electrónica con una precisión de 0.1 g. para determinar la densidad aparente de cada capa (Arévalo *et al.*, 2003). Por cada muestra, sólo se tamizaron 400 g en el laboratorio debido a la alta cantidad de materia orgánica adicional (plumas, huesos, etc.) que presentaban las muestras. De esta forma, estas cantidades facilitaron el tamizado y la extracción de otolitos.

Para el muestreo por bloques de 5 cm, se procedió a recolectar de forma continua a lo largo del perfil desde la superficie hasta el fondo muestras de 5cm profundidad. Siendo el tamaño de los bloques lo mínimo factible para un muestreo en campo. Para cada bloque de 5 cm se extrajo 300 g de guano, los cuales se guardaron en bolsas ziploc individuales y fueron rotuladas para su posterior análisis. Solamente 200 g de los 300 g colectados fueron tamizadas con agua en el laboratorio.

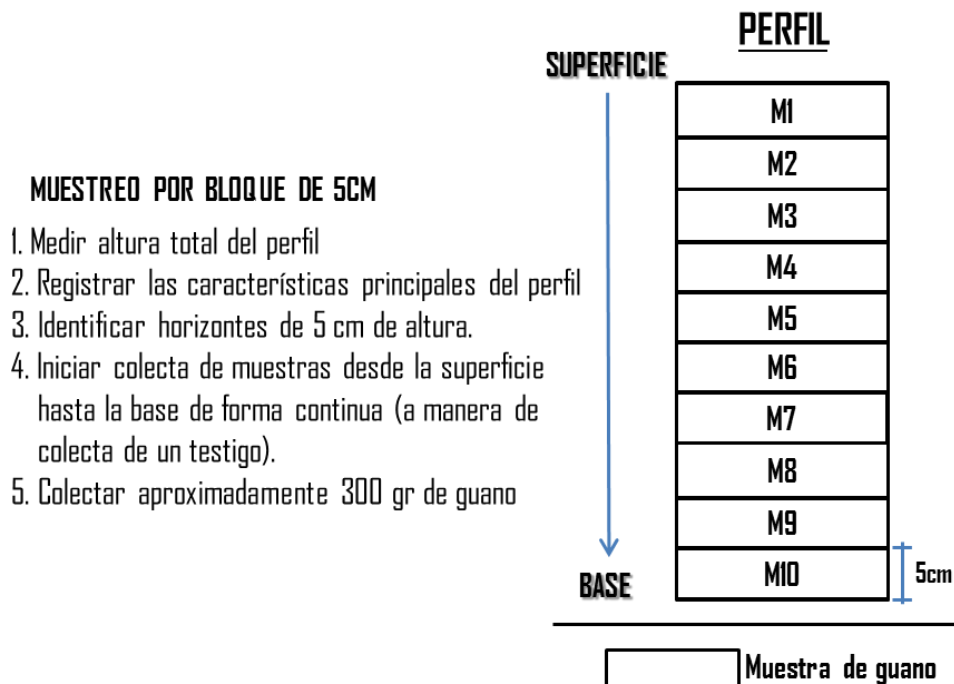
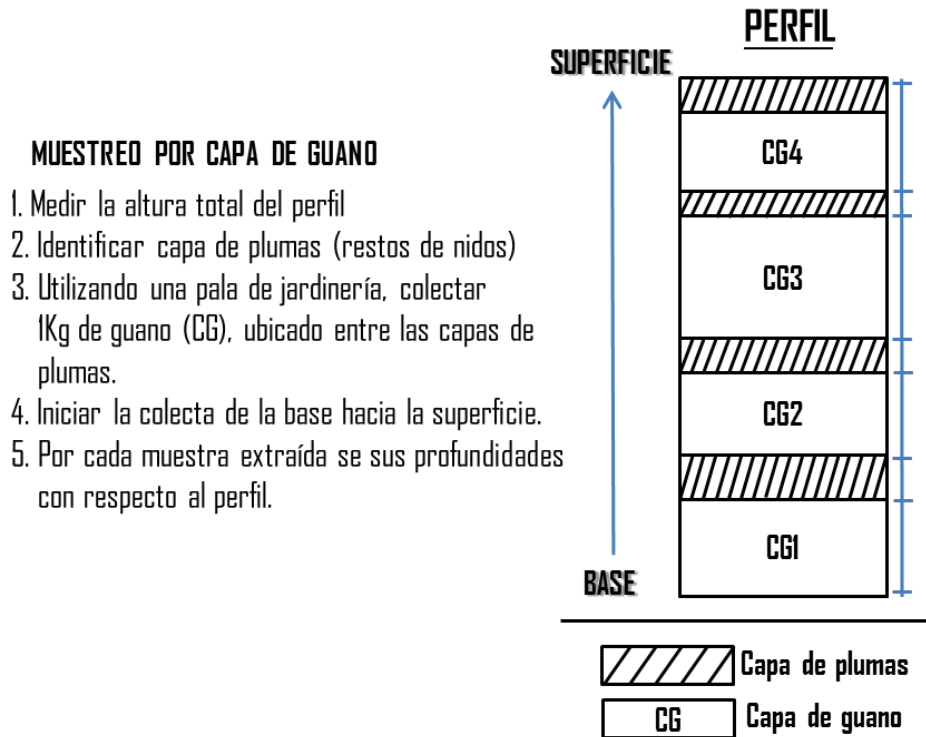


Figura 7. Tipos de muestreo empleados para la colecta de guano en el perfil



Tabla 4. Comparación de tipos de muestreo

Muestreo por capas de guano	Muestreo por bloques de 5cm
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación por capas in-situ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de capas en oficina</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toma de muestra discontinua (sólo sobre capa de plumas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toma de muestra continua (a lo largo del perfil)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Periodo Parcial (post anidamiento)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Periodo Completo (reproductivo y no reproductivo)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra colectada: 1kg aprox.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra colectada: 300g</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra tamizada: 400g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra tamizada: 200g</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cualitativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantitativo</li> </ul>

En base al análisis de mapas históricos que se desarrolló posteriormente, se relacionó cada capa de plumas del perfil de la calicata a un evento reproductivo en la zona de muestreo.

#### 3.5.4. Tamizado de muestras e identificación de otolitos

Las muestras de guano colectadas en el campo fueron trasladadas al laboratorio de Ciencias del Mar–UPCH, en donde fueron pesadas y rotuladas para ser llevadas a la estufa a 30°C por 48 horas. Al cabo de este tiempo se procedió a pesar las muestras para hallar el porcentaje de humedad de las muestras de guano. Luego se procedió a seleccionar 400 g de cada muestra que fue colectada por capa, así mismo se seleccionó 200 g de muestra que fue colectada en campo cada 5 cm de la calicata. Cada muestra de guano previamente a ser tamizada fue colocada en *beakers* (1L) con una solución de detergente (20g) y agua, se agitó el contenido por 15 minutos con el objetivo de desagregar guano compactado (modificado de

Velando, 1997; Biffi y Iannacone, 2010). Esto facilitó el tamizaje y disminuyó la posible erosión de los otolitos y otras partes duras de la dieta.

Luego se tamizaron las muestras con agua, obteniendo otolitos de peces, cristalinos de peces y otras partes duras no ingeridas producto de la regurgitación del guanay en las diferentes épocas reproductivas o no reproductivas. Se usaron los tamices finos N°10 (2mm), N°16 (1mm) y N°35 (500µm) de 8" de diámetro (Emslie y Woehler, 2005). Para la identificación de otolitos se utilizó la guía de García-Godos (2001).

### 3.5.5. Análisis de la variabilidad de la dieta de *P. bougainvillii*

Se determinó de manera general la composición de la dieta hallada a través de la identificación de otolitos y picos de calamares en las muestras de guano. Se obtuvo la proporción numérica (%N) de otolitos de cada especie-presa. Se consideraron resultados independientes para cada tipo de muestreo.

$$\%N = \frac{N^{\circ} \text{ de otolitos de la especie } i}{N^{\circ} \text{ total de otolitos de la capa o muestra}} \times 100\%$$

Para explicar mejor la variabilidad de la dieta a través de las muestras o capas de guano, se realizó una comparación entre las principales presas halladas en la dieta además de presentar valores de diversidad (Índice de Shannon-Wiener) y riqueza de especies (Webb y Harvey, 2014).

- Índice de Diversidad de Shannon:

$$H = - \sum_{i=1}^q p_i \ln p_i$$

Donde:

$p_i$  = proporción de individuos que pertenecen a la especie  $i$  en

el conjunto de datos

$q$  = número total de especies

### 3.5.6. Obtención variables oceanográficas

Como variables ambientales (oceanográficas) se empleó datos tomados in-situ y de imágenes satelitales. Para la temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ), se solicitaron los reportes mensuales generados por los guardaislas de AGRORURAL. Además se obtuvieron datos de TSM provenientes de imágenes satelitales de Pathfinder (1996-2002) y MUR SST (2003-2016) con una resolución de 4Km y 1Km respectivamente. Estos datos fueron extraídos en formato NetCDF por personal del Laboratorio de Modelado Oceanográfico, Ecosistémico y del Cambio Climático (LMOECC) de Imarpe. Los datos de concentración de clorofila-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) fueron obtenidos a partir del satélite SeaWiFS y MODIS, estos fueron corregidos (por el traslape en los años de operación) para la serie de tiempo 1997-2016. Estos datos fueron extraídos y procesados por personal del LMOECC de Imarpe. Para calcular el índice de afloramiento ( $\text{m}^3/\text{s} \times 100\text{m}$ ) se obtuvo datos de vientos a partir de los satélites QuikSCAT (1999-2007) y ASCAT (2008-2016). Se consideró el punto satelital disponible y más cercano a la isla ( $14^{\circ} 22' 30'' \text{ S}$ ,  $76^{\circ} 07' 30'' \text{ W}$ ), proporcionados y procesados por personal del Laboratorio de Hidro-Física Marina de Imarpe. Los datos de oxígeno disuelto superficial ( $\text{mL}/\text{L}$ ) fueron extraídos de perfiles completos a partir de datos de bitácoras del Laboratorio de Oceanografía Química de Imarpe, desde 1996 al 2014.

Las variables oceanográficas fueron obtenidas de imágenes satelitales en una escala temporal mensual. Luego, se calculó el promedio anual en base a los datos mensuales. Respecto a la escala espacial, se consideraron cuadrantes de 40 km, 80 km y 120 km de lado centrados en la isla ( $\approx$  radios 20Km, 40Km y 60Km respectivamente), considerando que la distancia límite de alimentación para el

guanay es aproximadamente 63Km según Weimerskirch *et al.* (2012). Ver Figura

8.

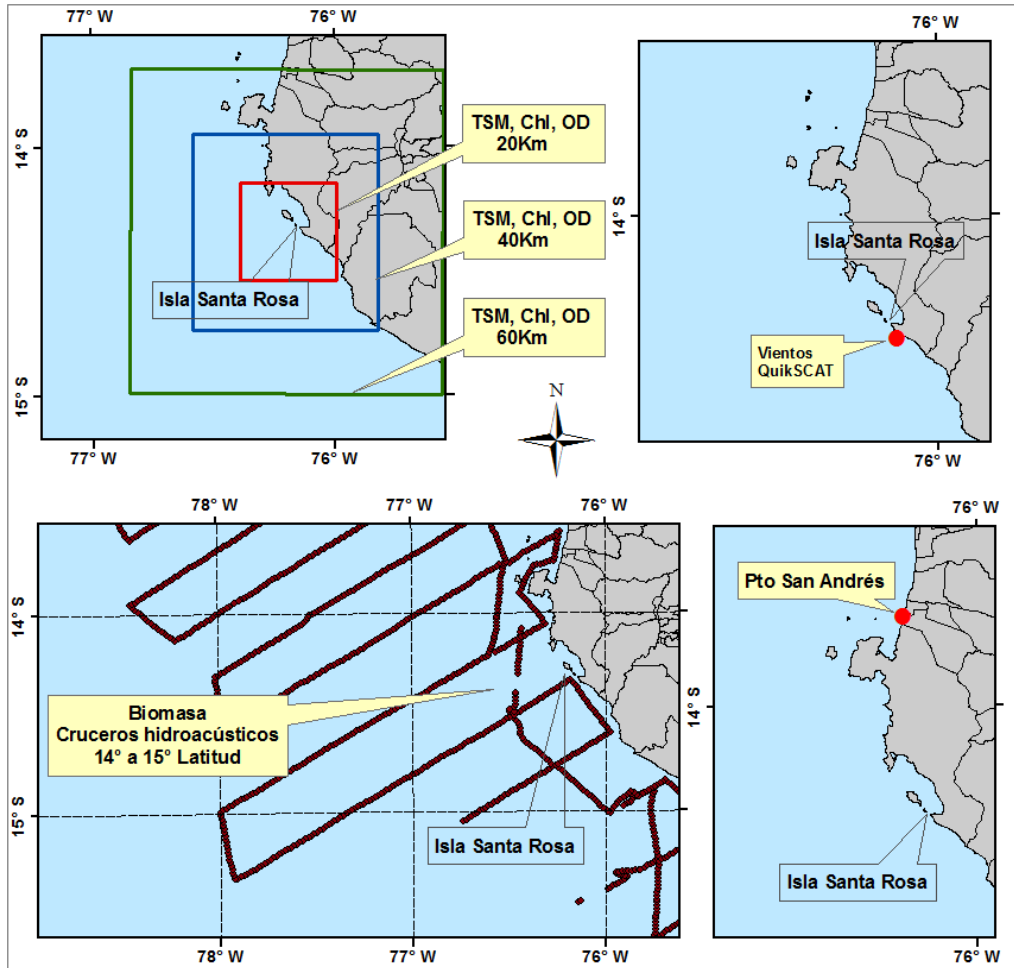


Figura 8. Mapa ubicación de variables para el análisis

### **3.5.7. Obtención de variables de Índice de Abundancia de Anchoqueta**

Tres índices de abundancia de anchoqueta fueron utilizados: biomasa, % numérico de bolos frescos de guanay y CPUE. Los datos de biomasa de anchoqueta se obtuvieron de cruceros hidroacústicos realizados entre 1996 y 2016, correspondientes a la zona 14° - 15° latitud sur (Área Funcional de Hidroacústica de Imarpe).

Los datos de porcentaje numérico de anchoqueta se obtuvieron a partir del análisis de bolos residuales frescos colectados por el área de investigaciones de depredadores superiores de Imarpe en Isla Santa Rosa. Las recolecciones se hicieron desde 1998 al 2008 de forma irregular (aproximadamente 3 veces al año).

Por último, se usaron datos sobre desembarques de anchoqueta y número de viajes de embarcaciones del Puerto de San Andrés al Laboratorio Costero de Pisco de Imarpe colectados desde 1997 al 2015, con el objetivo de hallar el CPUE anual (Ver figura 8).

### **3.6. Consideraciones éticas**

Mediante el CONS-CIEA-033-2016 se aprobó el inicio de la ejecución del proyecto por el Comité Institucional de ética para uso de animales de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Para la realización del presente estudio, no se generó impacto negativo en las poblaciones de aves marinas, ya que las excavaciones se realizaron en meses anteriores a la temporada de reproductiva de las aves guaneras, incluso no se observó aves en estado no reproductivo en las zonas de excavación. Una vez que se realizó la excavación y se extrajeron las muestras de guano, el sustrato restante fue devuelto al orificio excavado. Además se cuenta con las autorizaciones emitidas por SERNANP y AgroRural, para el desarrollo de la tesis en isla Santa Rosa así como para el estudio piloto según CARTA N°172-2015-SERNANP-RNSIIPG, CARTA N°21-2016-SERNANP-RNP/J, OFICIO N°090-2015-MINAGRI-DVDIR-AGRO RURAL-DAB.

### 3.7. Plan de análisis

Se realizó un análisis exploratorio de las variables oceanográficas que caracterizan los alrededores de la isla Santa Rosa, luego se realizó un análisis de componentes principales (PCA) de dichas variables. Sobre la dieta, se describió las especies que la componen hallando frecuencias numéricas de estas en general (%N); se diferenció el tipo de método que se empleó para la excavación. Además se analizó posibles indicadores de las variaciones de la dieta del guanay como número de otolitos de anchoveta, porcentaje de otolitos de anchoveta, índice de Shannon y riqueza de especies. Luego se determinó la relación existente entre el porcentaje de otolitos de anchoveta con las variables oceanográficas e índices de abundancia de anchoveta; se empleó el índice de Pearson, debiendo previamente realizar el test de normalidad de Shapiro-Wilk. Debido a que no todos los datos presentaron una distribución normal, se los normalizó mediante  $\log(x+1)$ .

Para que las variables oceanográficas no sufran influencias por las variaciones estacionales o eventos puntuales que podrían estar involucrados, se consideró periodos anuales estándar que incluyesen los periodos de cada temporada reproductiva. Se construyó una base de datos a partir de promedios anuales de las variables por el periodo de Marzo (año n) a Febrero (año n + 1). Se realizó gráficas de dispersión y series de tiempo con el objetivo de analizar la relación entre las variables oceanográficas, índices de abundancia de anchoveta y el porcentaje de otolitos de anchoveta presentes en las muestra de guano. Además se realizó análisis de componentes principales (PCA) con los valores de las variables de esta data. Para el análisis estadístico se empleó el software R.



## **4. Resultados**

### **4.1. Reconstrucción de eventos reproductivos y no reproductivos de *P.***

#### ***bougainvillii* desarrollados sobre la zona de muestreo**

Esta sección tiene el objetivo de presentar la reconstrucción de una línea de tiempo, en base al análisis de mapas históricos, que muestre los eventos reproductivos desarrollados en la isla Santa Rosa y en la misma zona de excavación entre los años 1996 - 2016. Esta línea de tiempo sirvió para contrastar los eventos reproductivos identificados en la capas de guano.

Es importante resaltar que los guanayes sobre la zona de excavación tuvieron una fenología que no necesariamente coincidió con la observada en otras partes de la isla. Así por ejemplo, se mencionó anteriormente que los guanayes mostraron 23 eventos reproductivos durante el período de estudio. Sin embargo, sobre la zona de excavación se observaron solamente 10 eventos reproductivos (Fig. 9). Asimismo, luego de la última extracción de guano en la isla en 1995-1996 la zona de excavación no registró presencia de guanay en 1996 ni 1997 (Fig. 9). En 1998, 1999, 2001, 2003, 2004 e inicios del 2005 se observaron guanayes, pero solo en condición no reproductiva. Así, los guanayes iniciaron su primera reproducción en la zona de excavación en agosto de 2005. A partir de esta fecha, los guanayes se reprodujeron anualmente hasta setiembre de 2013. En el 2014 no se reportó presencia de guanayes, retornando al área de excavación para la reproducción a fines del 2015. El período reproductivo en el área de excavación ocurrió en su mayoría entre primavera y verano de cada año. La temporada reproductiva 2005-2006 (TR1) presentó asincronía, así se observó la presencia de polluelos y

juveniles en distintos estados, extendiéndose la reproducción hasta junio de 2006 (Fig. 9). Según los informes de guardaislas reportan abandonos masivos de huevos y polluelos en la reproducción para la temporada reproductiva 2013 (TR9) y 2015-2016 (TR10), respectivamente.

La identificación y reconstrucción exacta de los patrones de presencia y eventos reproductivos a partir de los mapas fue crucial para realizar una línea de tiempo del perfil de la calicata, así poder hacer una datación adecuada de los años para cada bloque de muestreo de guano.

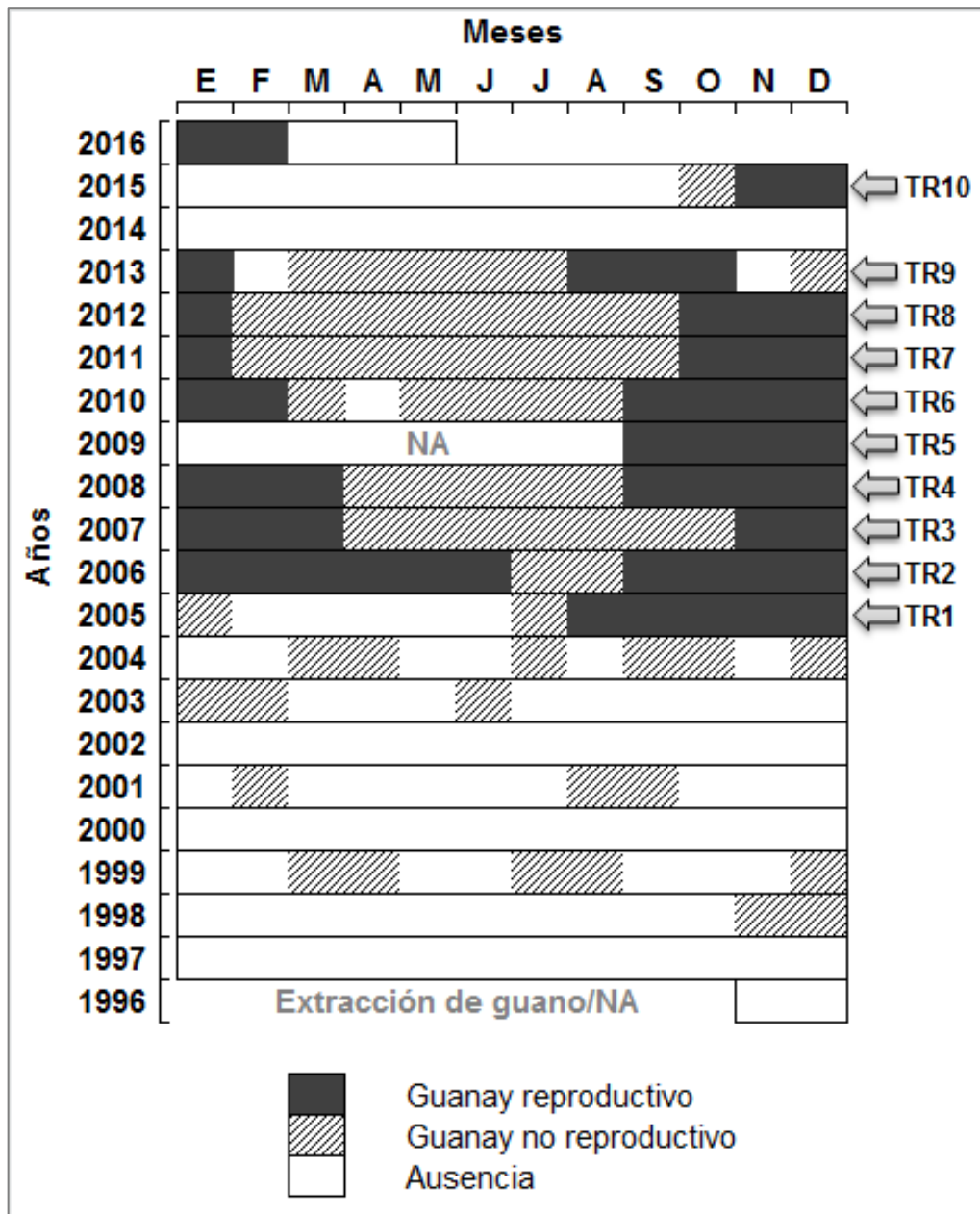


Figura 9. Identificación de los eventos reproductivos y no reproductivos de los grupos de *P. bougainvillii* desarrolladas sobre la zona de excavación durante los últimos 20 años. Reconstrucción realizada en base a datos de AgroRural.

\*Se indica al lado derecho las temporadas reproductivas (TR1-TR10) desarrolladas en la zona de la excavación.

\*\*NA: Datos no disponibles; no se encontró registro de mapas ni fichas de censo de las aves ni en la isla ni en la sede administrativa de AgroRural

#### **4.2. Descripción e identificación de las capas de guano en relación a eventos reproductivos**

La excavación en la corteza de guano reveló que la calicata PT1 tuvo una profundidad de 105 a 113 cm, mientras que la profundidad de la calicata PT2 tuvo una profundidad de 101 cm. Se observó variaciones en la coloración del guano según la profundidad de la excavación. Las capas más bajas (más antiguas) fueron más oscuras y húmedas que las capas superficiales. Asimismo, sus valores de densidad aparente fueron mayores con la profundidad ( $0.68\text{g/cm}^3$  en la capa más profunda y  $0.52\text{ g/cm}^3$  en la superficie). La calicata PT1 presentó una profundidad de 108cm, mientras que la calicata PT2 la profundidad fue de 101cm aproximadamente.

In-situ se observó que la calicata PT1 presentó 8 capas de plumas, entre ellas la de mayor altura midió 5cm, mientras que la capa de guano acumulado más gruesa midió 14 cm correspondiente a la capa superficial (CG8), aunque presentaba restos de plumas que pudieron pertenecer a la temporada reproductiva 2015-2016. Así como entre la capa de guano dos (CG2) y tres (CG3) se observó una capa de plumas muy delgada, no muy definida para poder diferenciar a estas capas (Ver fig. 10).

Para la calicata PT2 la capa de plumas con mayor tamaño midió 8cm presente sobre la capa de guano uno (CG1) y cuatro (CG4), mientras que la capa de guano más gruesa midió 11cm, correspondiente a la capa tres (CG3). La última capa de plumas fue muy delgada confundiéndose con la capa de guano 8 (Ver fig.11).

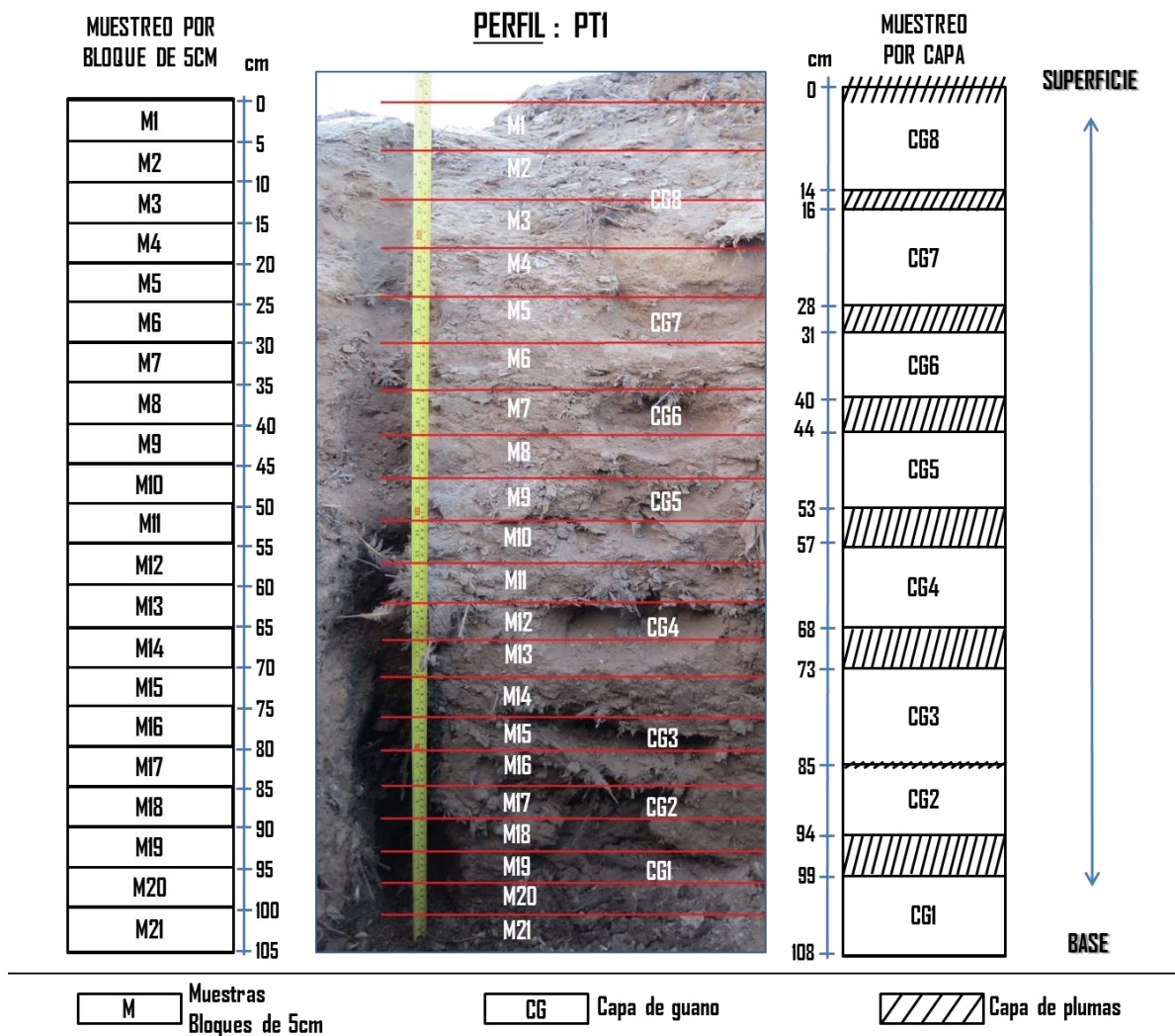


Figura 10. Perfil de guano, calicata PT1, se observa los tipos de muestreo empleados.

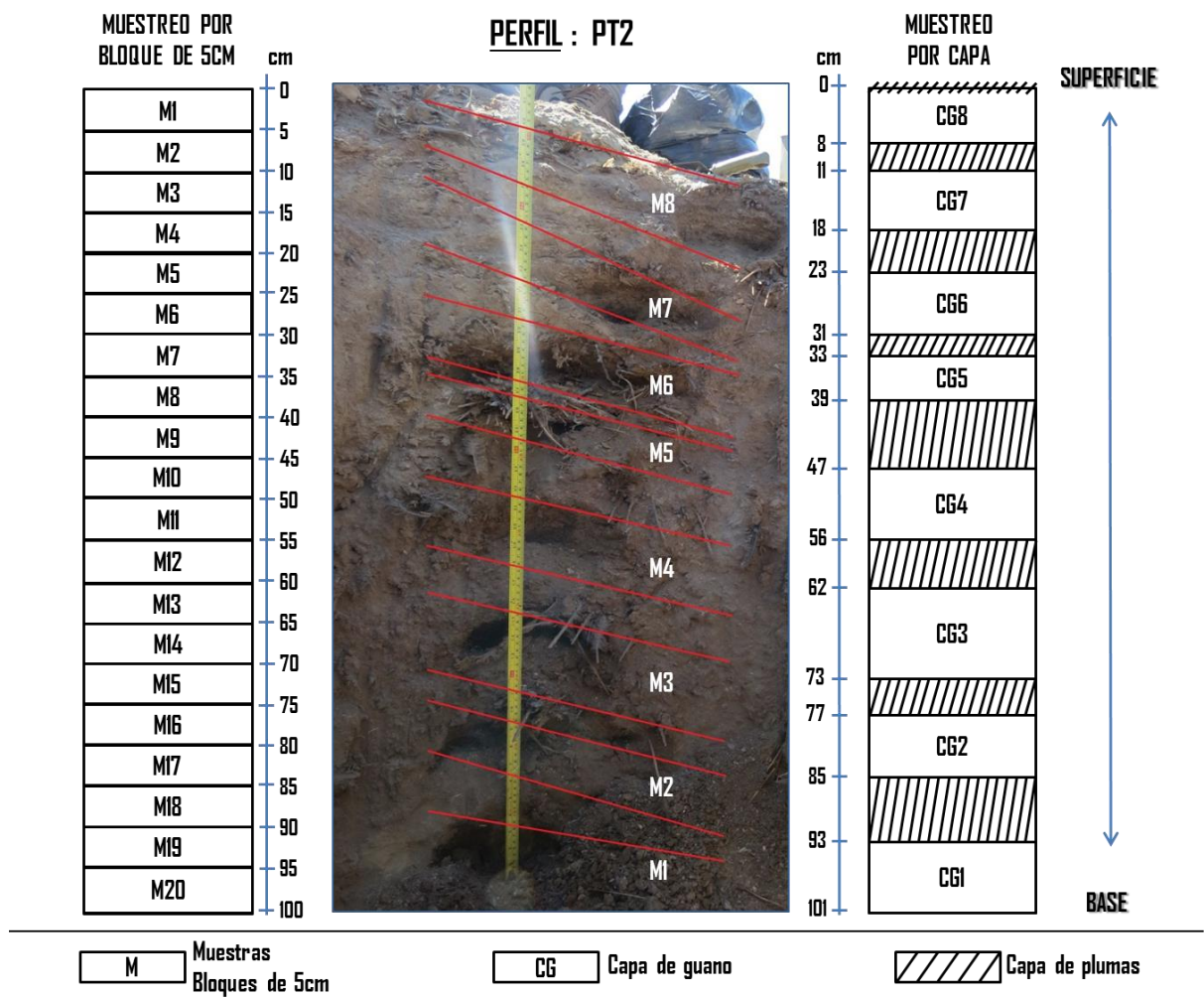


Figura 11. Perfil de guano, calicata PT2, se observa los tipos de muestreo empleados.

La figura 10 muestra el perfil de la excavación de la calicata PT1. Este perfil muestra 8 capas reproductivas reconocibles. Sin embargo, la línea de tiempo en base al análisis de mapas históricos muestra que hubo 10 eventos reproductivos en la zona de excavación (Fig. 9). Para hacer coincidir los eventos reproductivos con las capas de guano se procedió de la siguiente manera:

- Se ubicó la capa de plumas más profunda y se le catalogó como el primer evento reproductivo de AGO 2005- ENE 2006 según la figura 9.
- Mientras que la medida de la capa más superficial corresponde al evento reproductivo 2015-2016 según la figura 9.
- En términos generales basados en la altura total de ambas calicatas y los años de acumulación conocidos se pudo calcular la acumulación anual para la zona de estudio. De acuerdo al análisis de mapas históricos, la primera capa de guano (CG1) habría sido depositada por guanayes no reproductivos en 1998, 1999, 2001, 2003, 2004 y mediados del 2005. Por lo que esta capa debe ser descontada del cálculo anual, además considerando que en el 2014 no hubo presencia de aves, para el resto del perfil le corresponderían 10 años de acumulación con presencia de un evento reproductivo por año. De esta forma para el perfil PT1 con altura de 108cm y con CG1 de 9cm le correspondería una tasa de acumulación de 9.9cm/año, mientras que para el perfil PT2 con una altura de 101cm y con CG1 de 8cm sería 9.3cm/año. Por motivos prácticos de interpretación y muestreo se asignó 10cm para cada capa anual del perfil.

- La capa superficial correspondiente al evento reproductivo 2015-2016 no contaba con guano generado post-reproducción como en las otras capas. Sin embargo, a esta capa se le asignó también 10 cm para la calicata PT1, mientras que para la calicata PT2 fue 5cm. Ya que en la última capa de PT1 se presentaba la parte más alta de un nido, mientras que para PT2 esta capa superficial correspondía a la parte más baja ubicado entre nidos. Encontrándose estos datos dentro de los rangos hallados para la tasa de acumulación (Tabla 3).

Luego de calibrar la línea de tiempo reconstruida en base a mapas históricos con las fotografías de las calicatas, se procedió a interpretar las capas de la calicata.

Para la calicata PT2, se observó la presencia de dos capas de plumas de considerable altura, ubicadas sobre la primera capa de guano (CG1) y sobre la capa de guano cuatro (CG4); lo cual correspondería a que la primera abarcó un periodo reproductivos amplio desde Agosto de 2005 a junio de 2006. Mientras que para la capa de plumas ubicada sobre CG4, le correspondían dos temporadas reproductivas la del 2008-2009 y 2009-2010, ambas eventos no pudieron ser diferenciados in-situ debido a la posible presencia de eventos reproductivos seguidos que no tuvieron eventos no reproductivos sobre la zona para poder diferenciar las capas, lamentablemente no se cuenta con los mapas de la isla entre esos meses del 2009, lo que impide confirmar esta asunción.

Así mismo para la temporada reproductiva TR1, TR2 y TR3, las capas de plumas estuvieron apiladas una sobre otra no pudiendo diferenciar las capas in-situ, sobre todo para el perfil PT1. Mientras que para el perfil PT2 la temporada reproductiva



tres (TR3) no pudo ser reconocida en el muestreo por capas (in-situ) el cual corresponde a los meses Noviembre 2007 a Marzo 2008.

Debido a esta dificultad en la identificación en campo no se pudo coleccionar todas las muestras para las 10 temporadas reproductivas según el muestreo por capas. Así para el análisis estadístico posterior sólo se consideró resultados del porcentaje de otolitos de anchoveta obtenidos por el muestreo por bloques de 5cm.

Finalmente se realizó una tabla compilando las fechas recreadas para eventos reproductivos y no reproductivos ocurridos sobre la zona de la excavación, indicando los periodos a promediar para el análisis de las variables oceanográficas (Tabla 5).

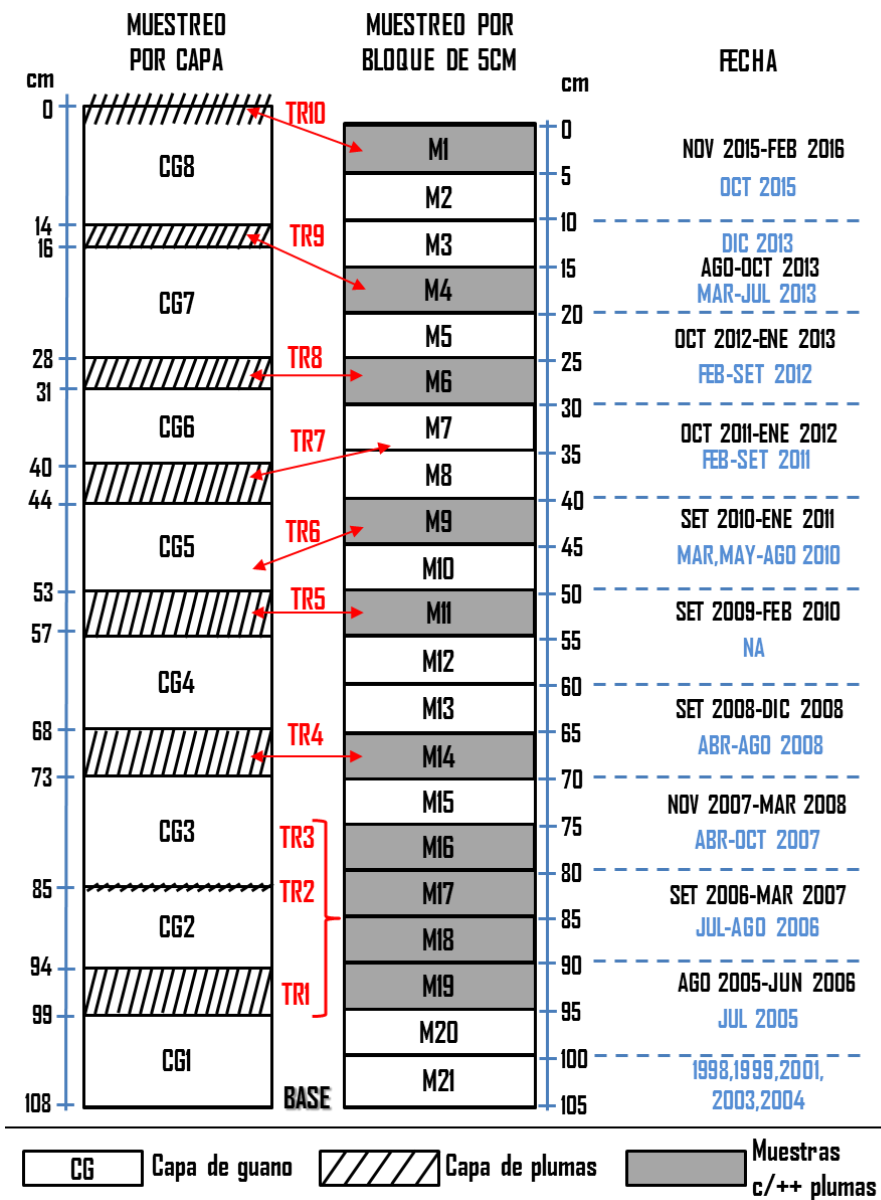


Figura 12. Identificación de las capas de guano del perfil PT1, se observa los tipos de muestreo empleados y la datación de las muestras.

\*A la derecha de la figura se presentan las fechas correspondientes a la acumulación de guano durante el periodo reproductivo (color negro) y no reproductivo (color celeste)

\*\*Las flechas y letras en rojo indican las temporadas reproductivas

Tabla 5. Agrupación de periodos para el posterior análisis de las variables

Sección del perfil PT1	Muestra	Fecha de depósito	Periodo a promediar para las variables y realizar el análisis
0cm-10 cm	M1+M2	<b>Nov 2015 - Feb 2016</b>	Mar2015_Feb2016
		Oct 2015	
10cm-20 cm	M3+M4	Dic 2013	Mar2013_Feb2014
		<b>Ago 2013 - Oct 2013</b>	
		Mar - Jul 2013	
20cm-30 cm	M5+M6	<b>Oct 2012 - Ene 2013</b>	Mar2012_Feb2013
		Feb - Set 2012	
30cm-40 cm	M7+M8	<b>Oct 2011 - Ene 2012</b>	Mar2011_Feb2012
		Feb - Set 2011	
40cm-50 cm	M9+M10	<b>Set 2010 - Ene 2011</b>	Mar2010_Feb2011
		Mar, May - Ago 2010	
50cm-60 cm	M11+M12	<b>Set 2009 - Feb 2010</b>	Mar2009_Feb2010
		NA	
60cm-70 cm	M13+14	<b>Set 2008 - Dic 2008</b>	Mar2008_Feb2009
		Abr - Ago 2008	
70cm-80 cm	M15+M16	<b>Nov 2007 - Mar 2008</b>	Mar2007_Feb2008
		Abr - Oct 2007	
80cm-90 cm	M17+M18	<b>Set 2006 - Mar 2007</b>	Mar2006_Feb2007
		Jul - Ago 2006	
90cm-100 cm	M19+M20	<b>Ago 2005 - Jun 2006</b>	Mar2005_Feb2006
		Jul 2005	

\* Para la fecha de depósito se observa resaltado en negrita a los periodos reproductivos.

\*\*De 100cm a 105cm correspondiente a M21, fue excluido del análisis pues le corresponde guano depositado por varios años de acumulación (1998, 1999, 2001, 2003 y 2004) cuando no se presentó eventos reproductivos.

### 4.3. Descripción y análisis de la variabilidad de la dieta

#### 4.3.1. Composición de la dieta

Se identificó 12 especies de peces que componen la dieta del guanay en Isla Santa Rosa, *Engraulis ringens* “anchoveta”, *Normanichthys crockeri* “camotillo” y *Odontesthes regia* “pejerrey”, *Anchoa nasus* “samasa”, *Aphos porosus* “pez fraile”, *Myctophum nitidulum* “pez linterna”, *Isacia conceptionis* “Cabinza”, *Sciaena deliciosa* “Lorna”, *Prionotus stephanophrys* “Falso Volador”, *Stellifer minor* “Mojarrilla”, *Chromis crusma* “Castañuela” y *Scorpaena histrio* “Diáblico”. Además se encontró restos de picos de calamares.

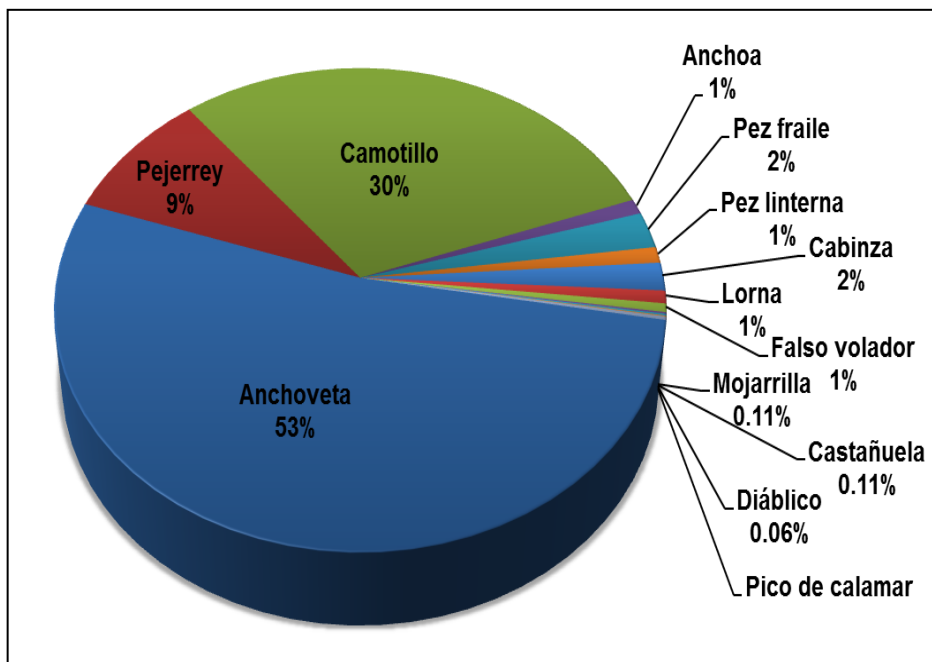


Figura 13. Composición global de la dieta de *P. bougainvillii* en los últimos 20 años en isla Santa Rosa, según muestreo por excavación de guano.

Se describe la presencia de moluscos encontradas en las muestras de guano en ambos tipos de muestreo, pertenecientes a la clase Gastropoda y Bivalvia, de las familias Mytilidae y Naticidae respectivamente, se pueden identificar dos especies en particular *Brachidontes* sp. y *Polinices* sp. Sin embargo estas especies no se incluyeron para el análisis de datos pues las valvas encontradas podrían tener función de gastrolito (Velando, 1997), así como haber sido ingeridos por los peces presa, ya que en su mayoría estos restos de moluscos medían menos de 2mm.

Según el muestreo por capa se pudo identificar 11 especies de peces, mientras que según el muestreo realizado cada 5cm se identificó a 9 especies de peces y un calamar (Ver tabla 6).

En general *E. ringens*, *O. regia* y *N. crockeri* presentaron la mayor frecuencia entre las especies, representando entre las tres el 92% de presas identificadas (Fig. 13).

Del análisis de bolos residuales colectados a inicio de la temporada reproductiva 2015-2016 se identificó 10 especies de peces, estos fueron *Engraulis ringens* “anchoveta”, *Normanichthys crockeri* “camotillo”, *Odontesthes regia* “pejerrey”, *Anchoa nasus* “samasa”, *Myctophum nitidulum* “pez linterna”, *Isacia conceptionis* “cabinza”, *Sciaena deliciosa* “lorna”, *Prionotus stephanophrys* “falso volador”, *Aphos porosus* “pez fraile”, *Mugil cephalus* “lisa”, además se encontró restos de crustáceos, poliquetos y algas. La anchoveta representó el 97.53% del total de otolitos encontrados. Sin embargo estos datos fueron excluidos del análisis por no ser representativo del periodo Marzo 2015 a Febrero 2016.

Tabla 6. Lista de especies identificadas en las muestras de guano, se muestra características de su hábitat, frecuencia numérica de cada especie (%N), según muestreo por capas (M\_capas) y muestreo por bloques de 5cm (M\_5cm).

Familia	Nombre común	Especie	Ambiente donde vive*	%N	
				M_capas	M_5cm
Engraulidae	Anchoveta	<i>Engraulis ringens</i>	Pelágica nerítica entre 20-65m de profundidad, forma cardúmenes muy densos.	38.9	62.4
Engraulidae	Samasa	<i>Anchoa nasus</i>	Pelágica costera y estuarina, forma densos cardúmenes.	0.5	1.4
Atherinidae	Pejerrey	<i>Odontesthes regia</i>	Pelágica nerítica sobre fondo arenoso, con vegetación y desembocadura de río.	11.3	7.2
Normanichthyidae	Camotillo	<i>Normanichthys crockeri</i>	Pelágica nerítica de agua frías y templadas.	39.3	23.1
Batrachoididae	Fraille	<i>Aphos porosus</i>	Bentónica sobre fondos blandos entre 40-90m de profundidad.	4.2	1.1
Myctophidae	Pez linterna	<i>Myctophum nitidulum</i>	Batipelágica desde la superficie hasta 1500 y 2740m de profundidad.	1.3	2.3
Haemulidae	Cabinza	<i>Isacia conceptionis</i>	Demersal costera sobre fondos arenosos y areno-rocosos con algas.	2.5	1.4
Sciaenidae	Lorna	<i>Sciaena deliciosa</i>	Bentopelágica de la plataforma continental sobre fondos someros arenosos y areno-rocosos, comunes en el área de la CCP.	1.2	0.4
Sciaenidae	Mojarrilla	<i>Stellifer minor</i>	Sobre fondos costeros arenosos, fangosos y zonas de rompiente en aguas del área de la CCP.	0.3	0.0
Pomacentridae	Castañuela	<i>Chromis crasma</i>	Viven cerca de fondos costeros rocosos, orilla rocosa y pozos de marea.	0.3	0.0
Scorpaenidae	Diáblico	<i>Scorpaena histrio</i>	Demersal sobre fondos rocosos con algas entre 15-30m de profundidad.	0.1	0.0
Triglidae	Falso volador	<i>Prionotus stephanophrys</i>	Demersal y bentónica, también se desplaza a la superficie.	0.0	0.8
Cefalópodos				0.0	0.4

\*Chirichigno y Cornejo (2010)

#### **4.3.2. Análisis de la variabilidad de la dieta**

Como se puede observar en la figura 14 y 15, respecto a los porcentajes de las principales presas consumidas por los guanayes existe una variabilidad en la dieta de las aves a través del tiempo, para este caso a nivel de temporadas reproductivas.

La diversidad de especies que componen la dieta según el muestreo por bloques de cada 5 cm fue mayor en las muestras más antiguas correspondientes a los años 2006\_2007 y 2008\_2009. Asimismo para el muestreo por capa, las muestras con mayor diversidad de Shannon resultaron ser las más profundas CG2 y CG1 (Figura 14 y 15).

Los periodos que presentaron un mayor porcentaje de anchoveta fueron el correspondiente a Setiembre 2009 a Febrero 2010 con 92.6%, y Octubre 2011 a Enero 2012 con 87.5%. Mientras que donde menor porcentaje de anchoveta se presentó fue en Noviembre 2015 a Febrero 2016 con 20.61%, que coincide con el mayor porcentaje de camotillo con 78.63%.

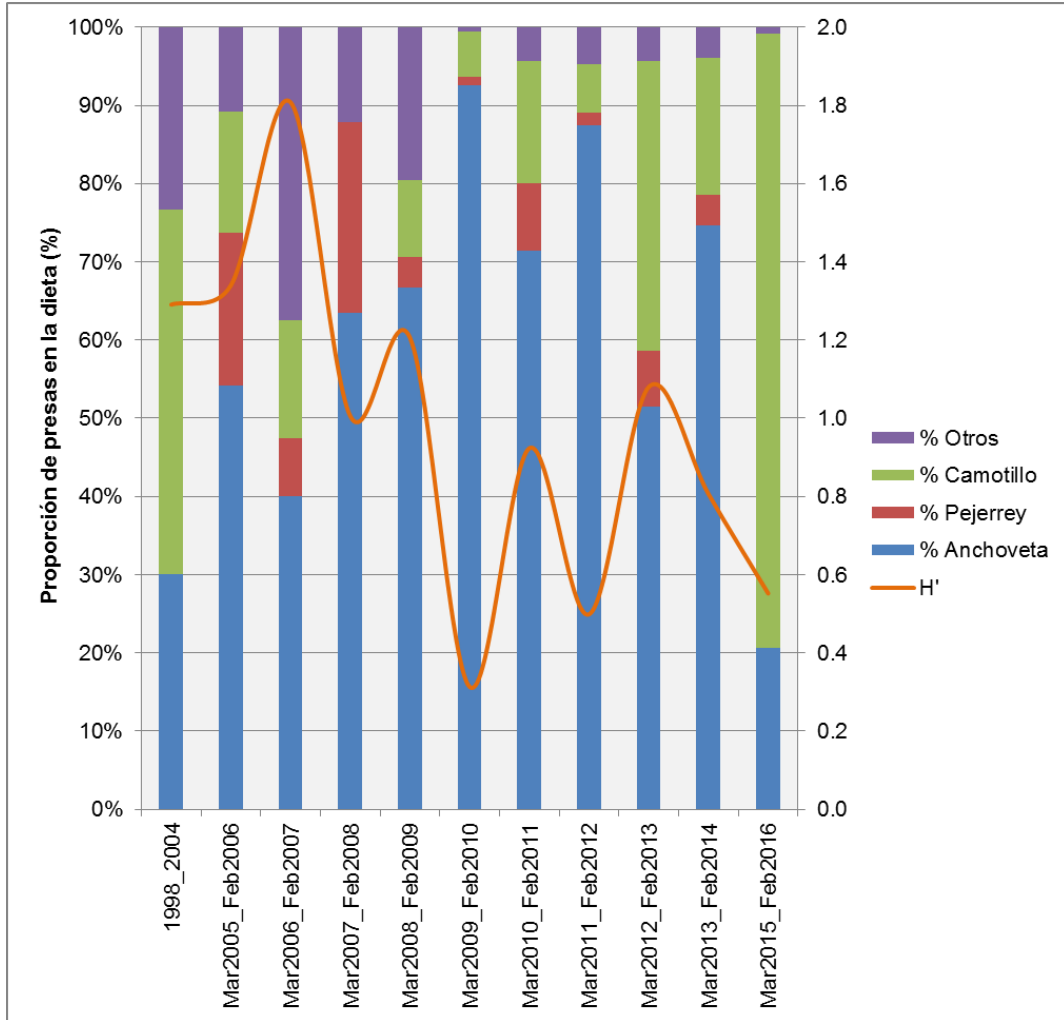


Figura 14. Proporción de presas en la dieta durante el período 1998 a Febrero 2016 según el muestreo de bloques de 5cm. Además se presenta la diversidad de especies consumidas (H').



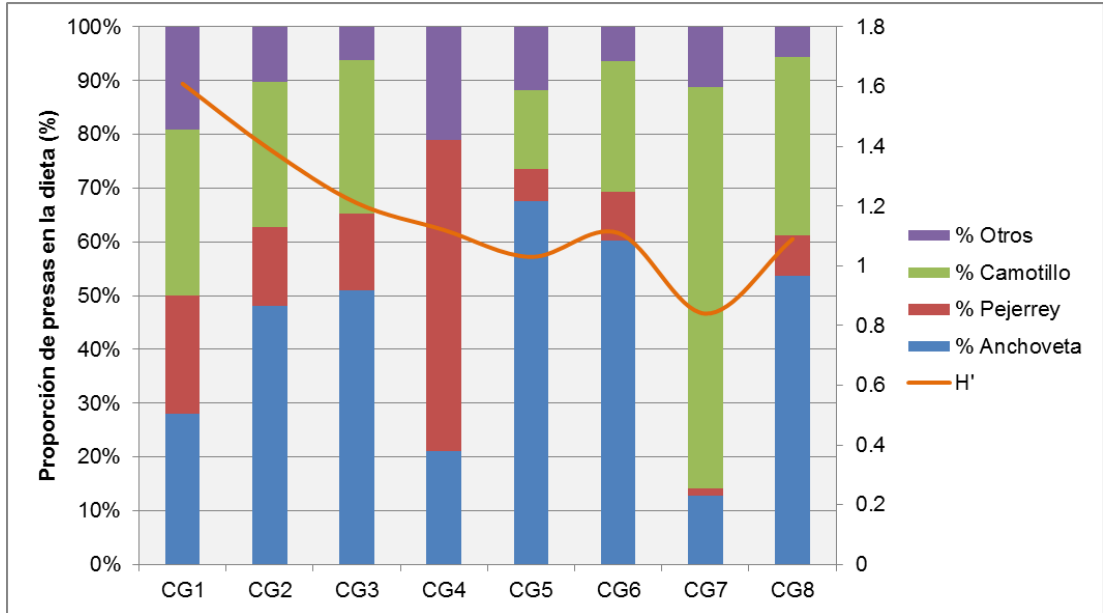


Figura 15. Proporción de presas en la dieta durante el período 1998 a Febrero 2016 según el muestreo por capa. Además se presenta la diversidad de especies consumidas ( $H'$ ).

#### **4.4. Relación de las variables oceanográficas con índices de abundancia de anchoveta**

Esta sección representa el tercer objetivo planteado en la presente investigación, tiene el fin de describir en primera instancia las condiciones oceanográficas que caracterizan los alrededores de la isla Santa Rosa, y como estas influyen en la dieta del guanay para los últimos 20 años.

##### **4.4.1. Descripción y análisis de las condiciones oceanográficas alrededor de isla Santa Rosa**

Se realizó un análisis exploratorio de las variables oceanográficas: temperatura superficial del mar (TSM), concentración de clorofila-a [Chl], índice de afloramiento (IU), velocidad de viento y concentración de oxígeno disuelto superficial (OD) para observar la tendencia que muestran sus valores a través de los meses y años mediante gráficas de caja. En la figura 16 se observa que las variables oceanográficas presentan una estacionalidad. Por ejemplo, en el invierno existe una disminución muy marcada en los valores de TSM. Mientras que la [Chl] disminuye en los meses de otoño e invierno. Asimismo el afloramiento se observa más intenso en la temporada de invierno. Mientras que los valores de OD son mayores en los meses de marzo y octubre, siendo menor el OD entre los meses de julio y setiembre.

Para los datos in-situ de TSM, se registraron valores promedios de 15.46°C (12.49°C - 23.20°C). Por otro lado de los valores satelitales, la TSM con un radio de 20Km presentó un promedio de 17.36°C (13.77°C - 24°C). La TSM – 40Km

presentó un promedio de 17.55°C (13.87°C – 24.09°C). La TSM a 60Km varió entre 14.06°C – 24.40°C, en promedio fue 17.79°C.

Los años 1997 y 1998 presentaron valores de TSM muy variables, obteniendo también los valores más altos. Por otro lado los años 2007 y 2010 presentaron valores dispersos teniendo valores muy bajos. Desde el 2014, 2015 y 2016, se observa la tendencia de incremento de temperatura, no tan variable entre los meses pero si considerablemente más altos que el resto de años. (Fig.16)

Para la [Chl] con un radio de 20Km el promedio fue de 2.395 mg/m<sup>3</sup> (0.65 mg/m<sup>3</sup> – 10.05 mg/m<sup>3</sup>). Mientras que considerando un radio de 40Km el promedio fue 2.57 mg/m<sup>3</sup> (0.64 mg/m<sup>3</sup> – 9.9 mg/m<sup>3</sup>). Para un radio de 60Km fue en promedio 2.648mg/m<sup>3</sup> (0.67 mg/m<sup>3</sup> – 8.72 mg/m<sup>3</sup>). La concentración de clorofila fue ligeramente variable en el año 2003 y 2010, 2006 y 2008 (fig.16).

El promedio de OD considerando un radio de 20Km fue 3.59mL/L (1.21mL/L – 5.49mL/L). Mientras que para un radio de 40Km el promedio fue 3.81mL/L (1.48mL/L – 5.88mL/L). Para un radio de 60Km el promedio fue 4.11mL/L. (1.89mL/L – 6.12mL/L). Según la Fig. 16, los valores de OD se observan más variables en el año 2003, teniendo este año los valores más bajos.

El valor mínimo de velocidad de viento fue de 2.56m/s y máximo de 9.65m/s, en promedio 5.53m/s. Se observó que el año 2007 fue el que mayor afloramiento presentó.

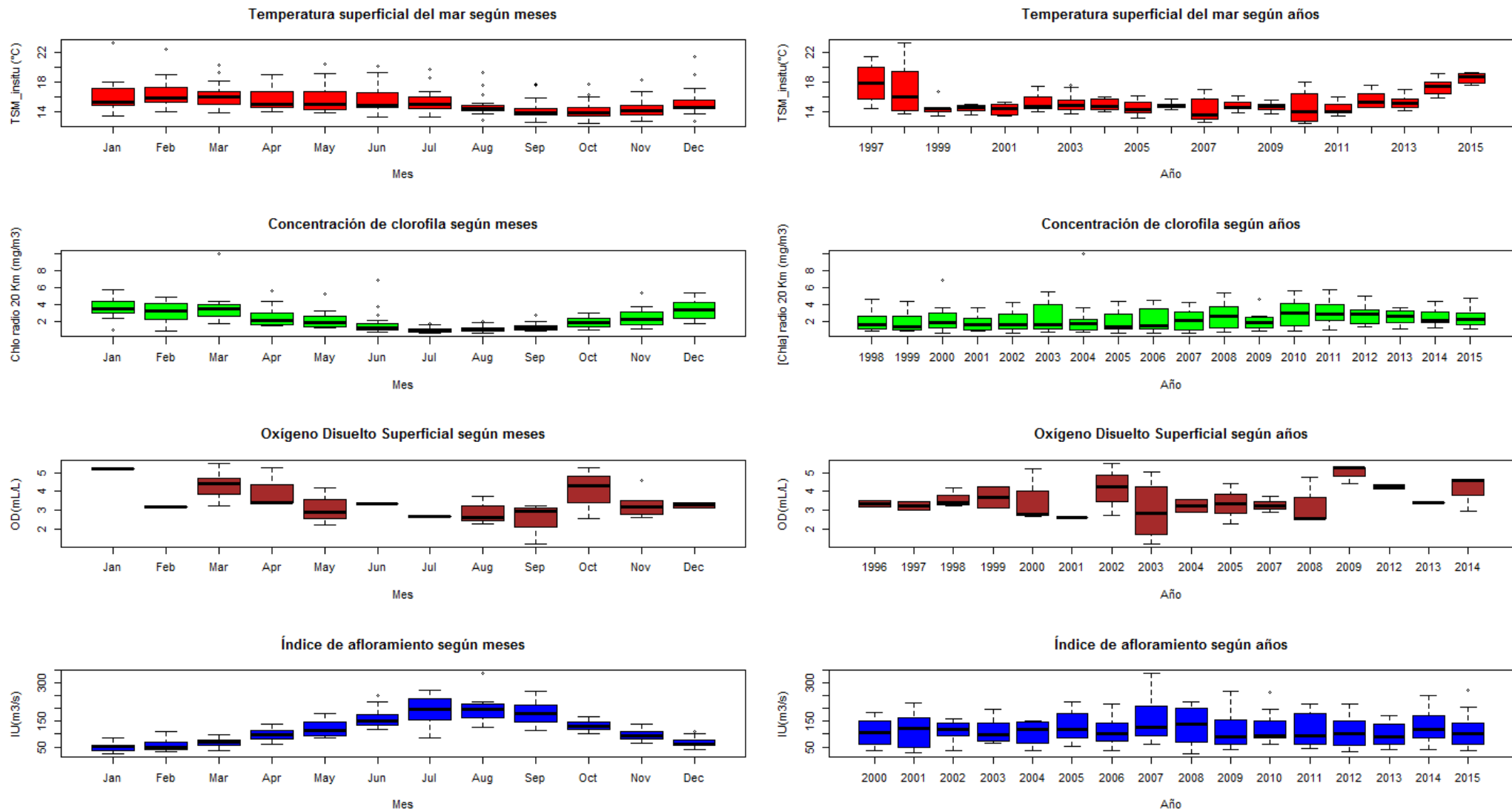


Figura 16. Condiciones oceanográficas presentes alrededor de isla Santa Rosa en los últimos 20 años.

Se realizó un análisis de componentes principales de las variables oceanográficas partir de promedios anuales (marzo a febrero), en base a los datos recabados de Imarpe y AgroRural. La gráfica del PCA considerando varias escalas de espacio (20Km, 40Km y 60Km) resultó densa, así se procedió seleccionar los valores para un radio de 40Km (fig.17). Como se puede observar en la figura 17 se obtuvo 4 grupos. Un grupo caracterizado por contener una mayor [Chl] (40Km) que contiene a los años Mar2010-Feb2011, Mar2013-Feb2014 y Mar2011-Feb2012. Mientras que el segundo grupo se caracterizó por presentar años con mayor OD correspondiente a los años Mar2009-Feb2010, Mar2012-Feb2013 y Mar2004-Feb2005. Mientras que el tercer grupo se caracterizó por presentar una mayor TSM correspondiente a los años Mar2003-Feb2004, Mar2006-Feb2007, Mar2002-Feb2003, Mar2014-Feb2015. El último grupo presentó un mayor índice de afloramiento incluyendo los años Mar2007-Feb2008 y Mar2001-Feb2002.

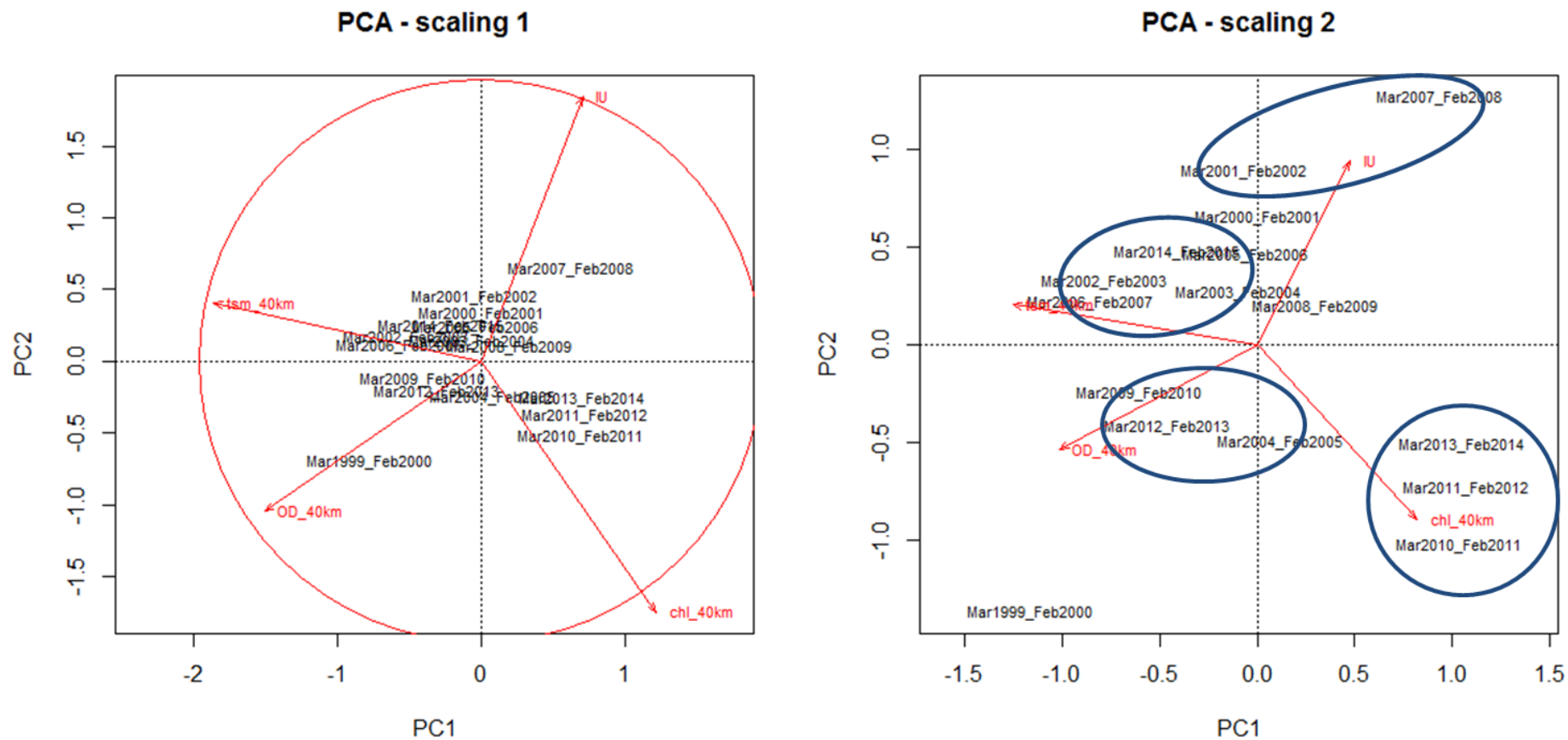


Figura 17. Biplots del Análisis de componentes principales (PCA) de las variables oceanográficas: temperatura superficial del mar (TSM) promedio a 40Km, concentración de clorofila promedio a 40Km, oxígeno disuelto superficial promedio a 40Km e índice de afloramiento (IU), en base a promedios anuales de Marzo a Febrero (n=15). Modo Q (Izquierda) y Modo R (Derecha).

#### **4.4.2. Análisis de la relación existente entre las variables oceanográficas y porcentaje de otolitos de anchoveta**

Para el análisis de correlación, generación de series de tiempo y gráficas de dispersión, y análisis de componentes principales (PCA), se consideró trabajar con promedios anuales (Marzo a Febrero) de los valores de las variables oceanográficas correspondientes a los periodos identificados para las temporadas reproductivas en la zona de excavación (Ver Tabla 5). De esta forma para el porcentaje de otolitos de anchoveta encontrados en las muestras de guano (%Anchoveta\_Guano) se consideran periodos entre Marzo de 2005 a Febrero de 2016, recordando que en años anteriores a este periodo (1998, 1999, 2001, 2003, 2004) sólo se acumuló guano de aves no reproductivas. Por otro lado se consideró trabajar sólo con datos sobre el porcentaje de otolitos de anchoveta obtenidos del muestreo por bloques de 5cm, ya que como se mencionó algunas capas no pudieron ser identificadas in-situ para el muestreo por capas.

En la serie de tiempo de la figura 18, se observa que el porcentaje de otolitos de anchoveta (%Anchoveta\_Guano) presenta cierta relación positiva con la variable concentración de clorofila (20Km de radio), mientras que mostró una relación inversa con el índice de afloramiento. Por otro lado al observar el diagrama de dispersión se puede observar que la variable TSM (20Km) mantiene una relación inversa con porcentaje de otolitos de anchoveta presente en el guano.

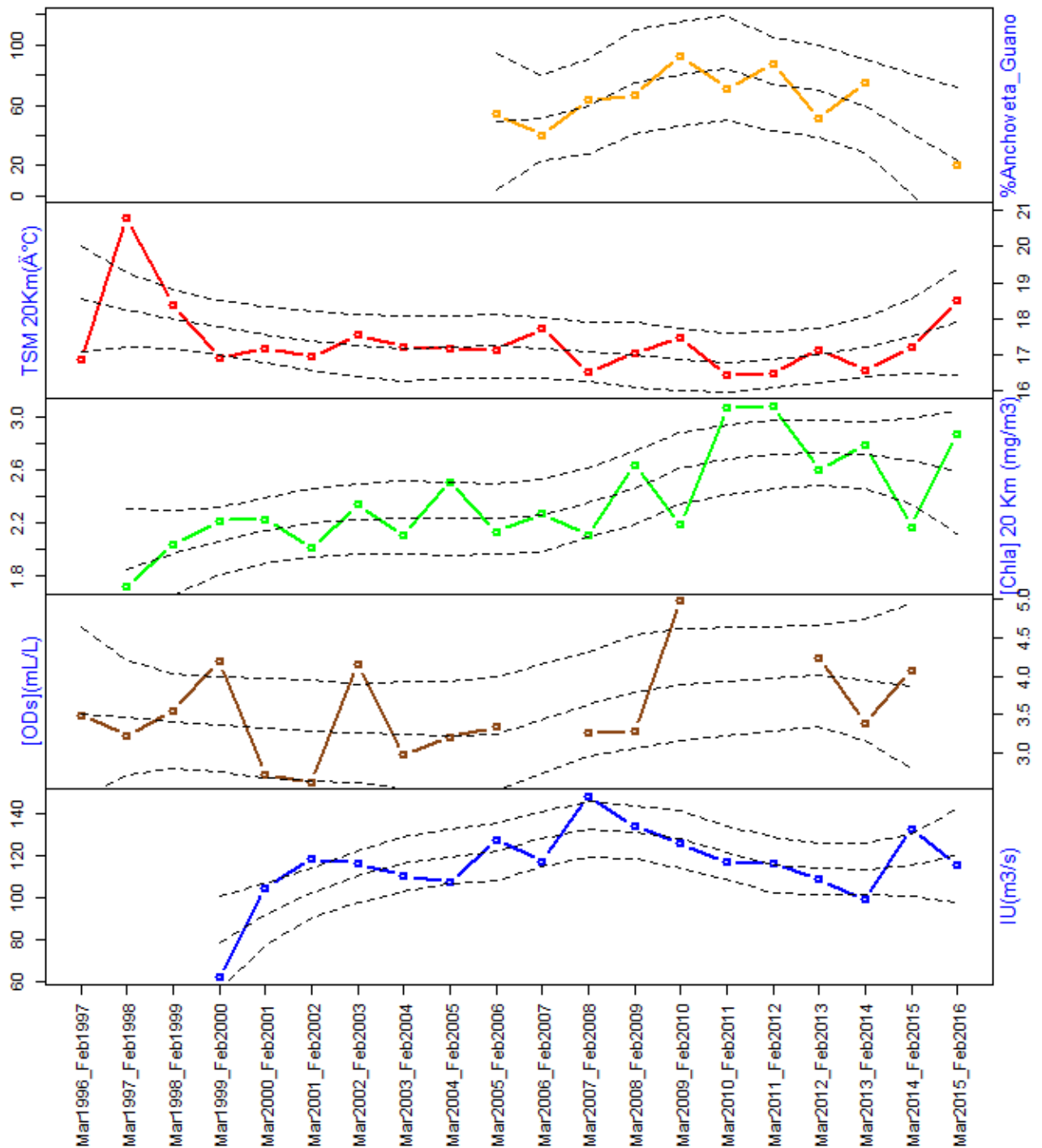


Figura 18. Series de tiempo de las variables oceanográficas temperatura superficial del mar y concentración de clorofila a 20Km, e índice de afloramiento promediadas según épocas reproductivas y porcentaje de anchoveta presente en cada capa.



Se realizó un PCA de las variables oceanográficas (promedio a un radio de 40Km para abarcar mayor cantidad de datos) incluyendo al porcentaje de otolitos de anchoveta (%Anchoveta\_Guano) con el objetivo de apreciar visualmente las posibles relaciones existentes entre las variables. Así se obtuvo tres grupos. El primero agrupa a los años Mar2010-Feb2011, Mar2011-Feb2012 y Mar2013-Feb2014, caracterizándose por ser los años en que se encontró mayor porcentaje de anchoveta en la dieta y mayor concentración de clorofila. El segundo grupo comprende los años Mar2006-Feb2007, Mar2009-Feb2010 y Mar2012-Feb2013, caracterizados por presentar valores de OD y TSM altos. El tercer grupo comprende a los años Mar2005-Feb2006 y Mar2008-Feb2009; de acuerdo al análisis descriptivo de las variables oceanográficas, en estos años se presentó una mayor intensidad de afloramiento, base a intensidad viento. (Ver Fig. 19)

Del análisis de correlación de Pearson entre las variables oceanográficas y porcentaje de otolitos de anchoveta, se obtuvo que la temperatura superficial del mar tomada in-situ y obtenida de satélites con promedios a 20Km, 40Km y 60Km de radio, presentaban una relación inversa significativa ( $r=-0.75$ ,  $-0.79$ ,  $-0.80$ ,  $-0.81$ , respectivamente) (Ver Anexo 9).

Mientras que la concentración de clorofila e índice de afloramiento no tuvieron ninguna relación significativa con el porcentaje de otolitos de anchoveta en ninguna escala espacial. Con respecto a la concentración de oxígeno disuelto, el porcentaje de otolitos de anchoveta mostró una relación directa a los 20Km ( $r=0.43$ ,  $p>0.05$ ), y tuvo una relación inversa ( $r=-0.44$ ,  $p>0.05$ ) a una escala de 60Km, sin embargo ninguna de estas correlaciones fue significativa (Ver Anexo 9).

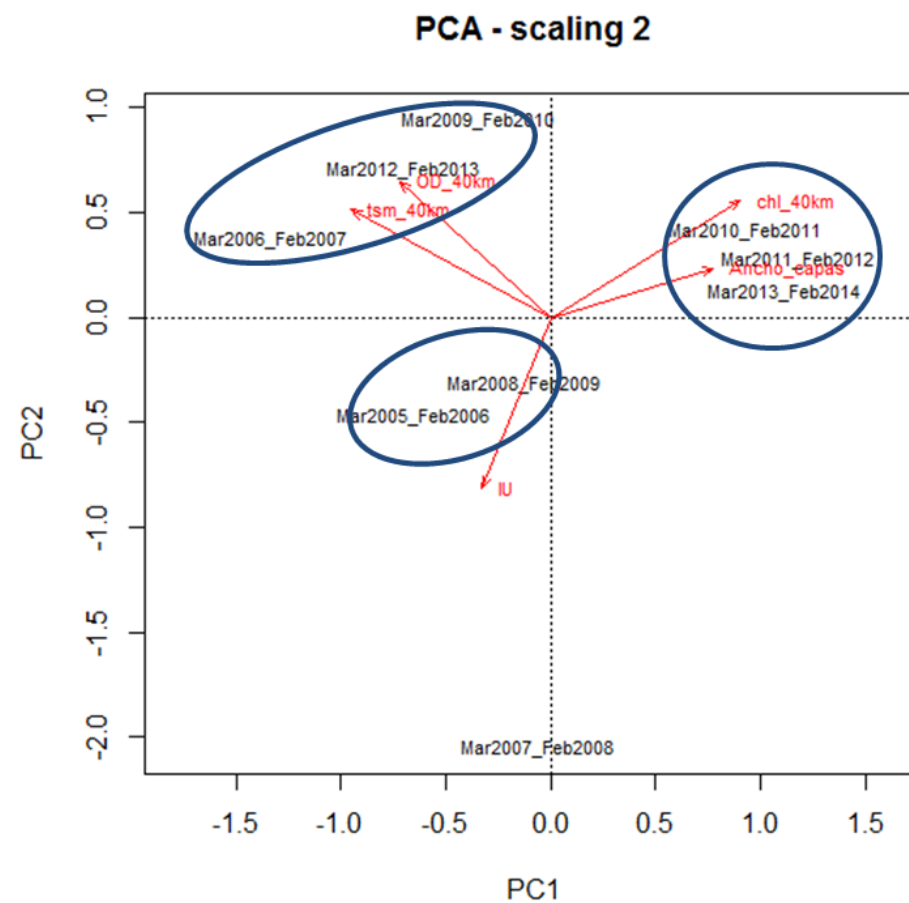
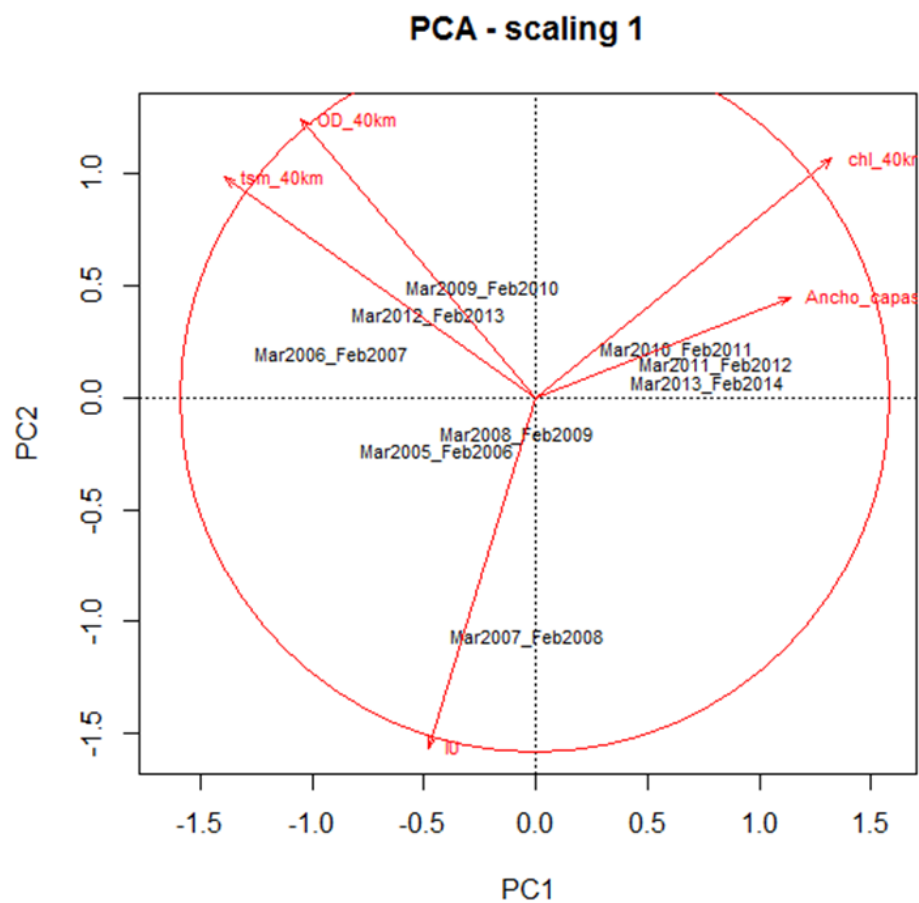


Figura 19. Biplots del Análisis de componentes principales (PCA) de las variables oceanográficas, incluyendo al porcentaje de otolitos de anchoveta, promedios anuales de Marzo a Febrero (n=8). Modo Q (Izquierda) y Modo R (Derecha)

#### 4.4.3. Análisis con variables índices de abundancia de anchoveta

Se realizó un análisis de correlación y se generó series de tiempo entre las variables anteriormente descritas e indicadores de la biomasa de anchoveta, considerado entre ellas al porcentaje de anchoveta presente en bolos de guanay, a la estimación de la biomasa de anchoveta a través de cruceros hidroacústicos, y desembarques de anchoveta en la caleta de San Andrés. Esto con el objetivo de poder explicar mejor las variaciones de la anchoveta en la dieta de guanay y sus relaciones con las variables oceanográficas.

En la Fig. 20 se observa que el porcentaje de otolitos de anchoveta presente en las muestras de guano (%Achoy\_guano) presenta cierta relación con la variable de estimación de la biomasa por cruceros hidroacústicos (Biomasa\_anchoveta), en general para ambas series de tiempo. Así según el índice de Pearson, ambas variables tienen una correlación directa significativa ( $r=0.71$ ,  $p<0.05$ ). Sin embargo el porcentaje de otolitos de anchoveta tuvo una correlación inversa con las variables de %Anchoveta\_Bolos y CPUE ( $r=-0.44$  y  $r=-0.31$  respectivamente), en ninguno de los casos la correlación fue significativa (Ver Anexo 9).

Además en Fig.20 se observa que entre la Biomasa\_anchoveta y el %Anchoveta\_Bolos presentan cierta relación de acuerdo a sus tendencias ascendentes desde el año 2002 al 2007, teniendo ambas una correlación significativa ( $r=0.64$ ,  $p<0.05$ ) (Ver Anexo 9).

Sobre el porcentaje de anchoveta en bolos residuales (%Anchoveta\_Bolos), sólo la variable de OD a 20Km y 40Km tuvieron correlaciones significativas ( $r= 0.7$  y  $0.65$ ,  $p<0.05$ , respectivamente) (Ver Anexo 9).

Sobre la variable de estimación de la biomasa por cruceros hidroacústicos (Biomasa\_anchoveta), presentó una correlación significativa con la concentración de clorofila [Chl] ( $r=0.5$ ,  $p<0.05$ ) a las tres escalas espaciales. Mientras que presentó una correlación inversa con la TSM (20Km, 40Km y 60Km), sin embargo no fue significativa ( $p>0.05$ ) (Ver Anexo 9).

La CPUE presentó una correlación inversa con el índice de afloramiento ( $r=-0.47$ ,  $p>0.05$ ), aunque no fue significativa (Ver Anexo 9).

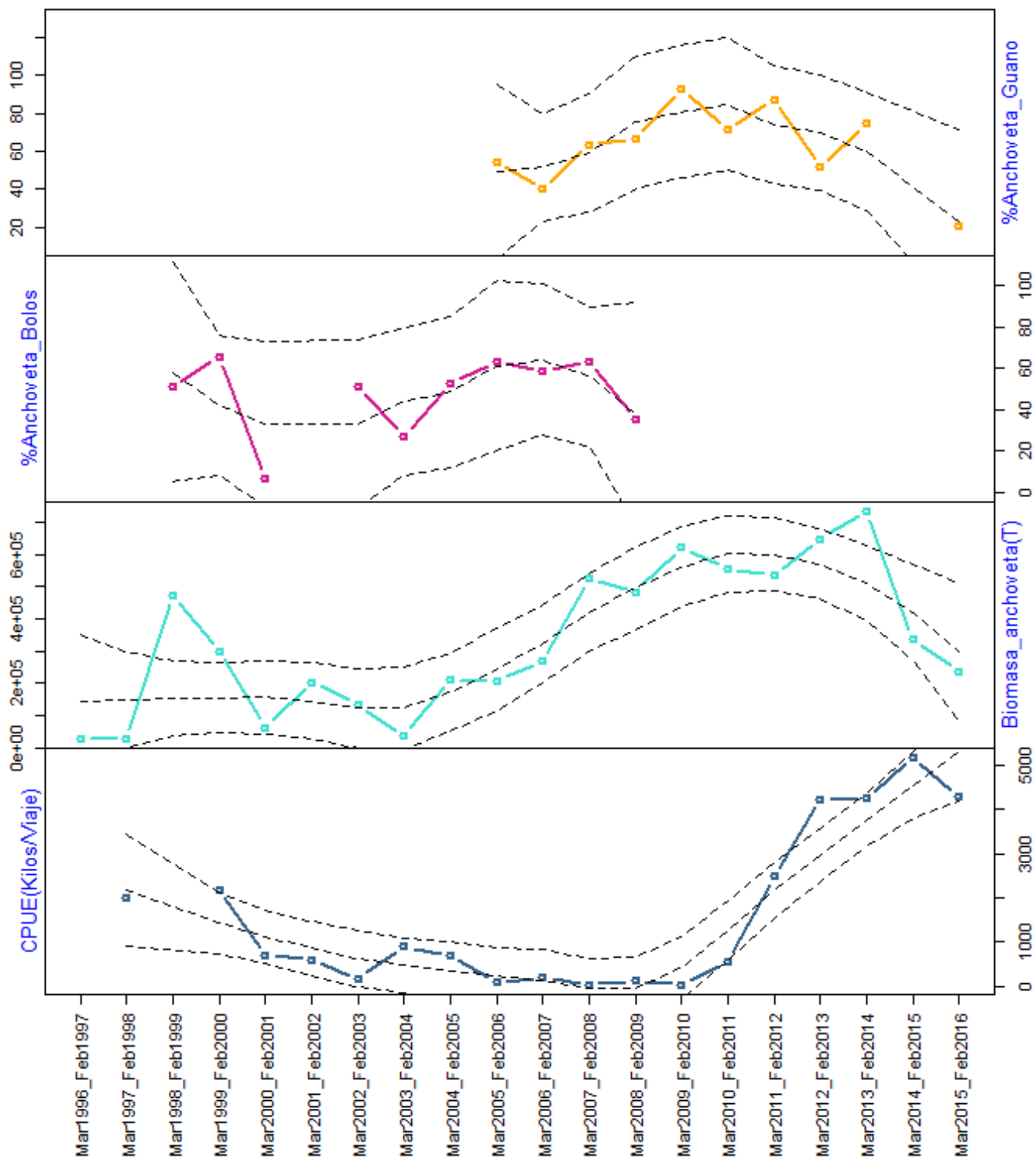


Figura 20. Serie de tiempo sobre los índices de abundancia de anchoveta.

## 5. Discusión

### 5.1. Sobre la reconstrucción de eventos reproductivos para su identificación y descripción de las capas de guano

La zona óptima para realizar la excavación, aquella que contenía la mayor cantidad de eventos reproductivos para *P. bougainvillii* en Isla Santa Rosa, presentaba individuos de *S. humboldti* en anidación. Así se optó por elegir otra zona que también sea representativa de acuerdo al número de eventos reproductivos para el guanay. De esta manera la presencia de pingüinos fue determinante para la elección de la ubicación de las calicatas (Fig.5), considerando además que isla Santa Rosa representa una de las colonias más importantes de *S. humboldti*, estableciéndose principalmente al extremo sur de la isla (Zavalaga y Alfaro-Shigueto, 2015).

Por esta razón, inicialmente se esperó encontrar una profundidad mayor a las halladas para las calicatas. Considerando que al no haberse extraído guano de isla Santa Rosa en los últimos 20 años (AGRORURAL, 2014) y tomando de referencia una tasa de deposición anual de 8cm por año (Hutchinson, 1950) se esperaba encontrar aproximadamente 1.60 m de profundidad de guano acumulado. Sin embargo las calicatas tuvieron en promedio 106 cm de profundidad. Al analizar los mapas de ocupación reproductiva del guanay, se logró identificar que en la zona sólo se habían desarrollado 10 eventos reproductivos, y que antes del 2005 las aves estuvieron por algunos pocos meses en estado no reproductivo sobre la zona (Fig. 9). De esta forma es necesario considerar factores que puedan estar influyendo en la acumulación

del guano en la isla como tiempo de erosión del viento, inclinación del terreno (Hutchinson, 1950), permanencia de la colonia, estado reproductivo de las aves, y tiempo de permanencia en el día, dependiendo esta última de la disponibilidad de alimento (Zavalaga, 2015). Es decir que la tasa de acumulación de guano va a variar dependiendo de las condiciones de cada isla, por ejemplo para el estudio piloto que se desarrolló en la isla Guañape Sur (Anexo 1), la tasa de acumulación fue de 18.8cm/año, muy por encima de lo observado para isla Santa Rosa con 9.9-9.3cm/año, mientras que fue 5.7cm/temporada reproductiva. Es necesario considerar que isla Santa Rosa está expuesta a vientos de intensidad alta provenientes del sur; siendo estas zonas las de mayor predilección para la reproducción, ubicadas al sureste de la isla (fig. 5).

Sobre la descripción de las capas de guano, las medidas observadas para la acumulación de plumas y guano en las calicatas correspondieron con lo hallado para la tasa de acumulación por temporada reproductiva, cuyos rangos mínimos variaron entre 2.5cm y 5.25cm (parte más baja entre nidos), mientras que los máximos variaron entre 6cm y 9cm (parte más alta de los nidos en forma de taza). Sin embargo es necesario mencionar que estos datos son referenciales, ya que a la siguiente temporada reproductiva y/o presencia de aves, estas capas pueden compactarse, disminuyendo la medida de la capa depositada en la anterior temporada reproductiva.

En general para ambas calicatas (PT1y PT2) se observó que la medida de las capas (en un mismo nivel) no fue uniforme, por lo se generaron diferentes medidas para las capas que equivalen a un mismo periodo pero en diferentes

calicatas, sin embargo al realizar el análisis de mapas históricos para cada excavación se logró hacer corresponder estas capas. Algunas capas no fueron identificadas fácilmente en campo, ya que al ocurrir temporadas reproductivas de forma continua las capas quedaron apiladas de plumas dificultando la diferenciación visual, como fue el caso de la tercera y sexta temporada reproductiva (TR3 y TR6).

De los 10 eventos reproductivos ocurridos sobre la zona de la excavación, sólo se pudo reconocer en campo 8 capas de guano. En principio se identificó las capas de guano diferenciadas por cúmulos de plumas, cascaras de huevo y carcasas de polluelos correspondientes a temporadas reproductivas. Así se colectó muestras por capas de guano que se encontraban por encima de estos restos de nidos, es decir las muestras colectadas corresponderían a parte del ciclo anual, específicamente al final de la reproducción y a la temporada no reproductiva. De esta forma el tipo de muestreo por capa no obtuvo resultados representativos, habiéndose omitido muestras de las capas que in-situ no se pudieron diferenciar, además que las muestras de guano no se colectaron de forma continua. Sin embargo a nivel cualitativo aportó información sobre la presencia de 3 especies *Stellifer minor*, *Chromis crusma*, y *Scorpaena histrio* en la dieta, que no se encontraron en el muestreo por bloques de 5cm. Lo que pude explicarse en la mayor cantidad de guano que el muestreo por capas requirió en comparación con el muestreo por bloques de 5cm (Ver tabla 6).

Una de las dificultades o limitaciones para la identificación de las capas fue la poca presencia de carcasas de polluelos. Los guardaislas mencionaron que luego de cada temporada reproductiva, exitosa o no, se suele realizar una



limpieza general de las zonas reproductivas, realizando el levantamiento de cadáveres de polluelos que fueron abandonados. Ellos explican que al realizar esta limpieza nuevas parejas reproductivas regresan a la zona de anidación para la siguiente temporada reproductiva (guardaisla-AGRORURAL, comunicación personal), ya que de lo contrario en la zona proliferarían insectos descomponedores y ectoparásitos.

Cuando se halló la correlación de Pearson existente entre las variables oceanográficas y el porcentaje de anchoveta encontrado en las capas de guano, se observó que las correlaciones con la TSM in-situ, concentración de clorofila-a rango 60Km y OD presentaron un  $r$  mayor a 0.5, sin embargo ninguna de estas correlaciones fue significativa ( $p > 0.05$ ). La correlación podría hacerse significativa si se tuvieran más muestras de guano diferenciadas en capas. De esta forma se presenta la necesidad de obtener mayor cantidad de réplicas dentro de cada nivel de capas, así minimizar el error por muestreo.

Por otro lado, se debe considerar que el porcentaje de recuperación de los otolitos a través de los bolos residuales interviene cuando del tamaño de la presa se trata, según menciona Rivas (2000) presas con otolitos más grandes presentan una tasa de recuperación mayor, a diferencia de las presas con otolitos pequeños, lo que podría influir en lo encontrado en los depósitos de guano, pues estos otolitos además tendrían una erosión adicional. Aunque para nuestro caso no se están considerando frecuencias absolutas sino relativas. Si bien es cierto debido a la acumulación del guano los otolitos pueden romperse, el porcentaje de erosión fue mínimo (6.2% erosionado y

6.8% muestras no identificadas), así se logró identificarlos y se pudo trabajar con ellos.

El método presenta limitaciones, sin embargo mejorará en la medida que se implementen nuevas técnicas para la datación de muestras con periodo de acumulación menores a 100 años. Si bien es cierto existen en la actualidad análisis isotópicos que podrían ayudar a la datación de muestras. Como en el caso de análisis de radiocarbono en otolitos y picos de calamares (Emslie y McDaniel, 2002), así como el uso de isótopos estables de nitrógeno para la diferenciación de amplitud de nichos por presas consumidas utilizando muestras de tejidos de piel y plumas (Mariano-Jelicich *et al.*, 2017). Estos análisis sólo pueden servir para estudios geológicos por la sensibilidad del método. Además se han realizado estudios en datación de sedientos marinos que contienen material ornitogénico generado por colonias de aves en islas de América del Norte, en base a radiocronología utilizando  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{137}\text{Cs}$  (Stewart *et al.*, 2015). Estos análisis de radiocronología en sedimentos se basan en que las células acumulan de forma constante material radioactivo hasta su deceso, pudiendo hallar por decaimiento la antigüedad del sedimento (J. Osoreo<sup>1</sup>, comunicación personal). Sin embargo para nuestro caso el guano de las aves no es propiamente sedimento pues no acumula fitoplancton por ejemplo. De todas formas siempre existe la posibilidad de que el Pb 210 pueda ser una opción para la datación de este tipo de muestra, lo que dependerá de realizar ensayos exploratorios para determinar si las muestras

---

<sup>1</sup> Laboratorio de radiocronología – Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

poseen la cantidad suficiente de Pb radioactivo para luego hallar un factor de calibración y poder datar las muestras.

Finalmente el método de excavaciones en depósitos de guano logró reconstruir a manera general la composición de la dieta del guanay, y sirvió para realizar el análisis de la variabilidad de la dieta. El análisis de los mapas históricos resultó ser una herramienta importante para la reconstrucción. Este recreó una línea de tiempo de los eventos reproductivos desarrollados en la zona de estudio, donde los más antiguos se encontraban en las capas basales y los más recientes en la parte más superficial, calibrándolos con lo observado en el perfil de la calicata; así asignar un periodo de tiempo a una capa. Siendo necesario tomar fotografías y realizar un muestreo continuo como el de bloques de 5cm para no perder información, y poder analizar los eventos reproductivos a detenimiento post-colecta. De esta forma, esta metodología podría apoyar a futuros estudios para la costa peruana, ya que es posible ubicar lugares ocupados por guanayes que no han sido sujetos a la extracción comercial del guano, y que podrían contener información valiosa sobre la composición de la dieta a escala decadal o geológica.

## 5.2. Sobre la variabilidad de la dieta de *P. bougainvillii*

Las especies encontradas en la dieta del guanay corresponden a peces de hábito pelágicos, bentónicos, batipelágicos, demersales, bentopelágicos y de fondos rocosos (Tabla 6). De esta manera se corrobora que la dieta de estas aves es muy variable (García-Godos y Goya, 1999; Janhcke y Goya, 1998). Siendo necesario mencionar que la zona de Bahía Independencia representa una de las principales áreas para el desove y criadero de peces debido a su alta densidad y amplio rango de estados larvarios que se pueden presentar en esta Bahía (Vélez *et al.*, 2005).

En la tabla 6, también se pudo observar las diferencias encontradas en los porcentajes para ambos tipos de muestreo (por capas y por bloques de 5cm). Así se discute los valores contrastantes hallados para la frecuencia de anchoveta presentes para ambos muestreos, para el muestreo por capa fue de 38.9% mientras que para el de bloques fue 62.4%. Estas diferencias se explicarían en que el muestreo por capas no fue continuo en la toma de muestra, considerando así sólo periodos parciales (Tabla 4).

En concordancia con diferentes autores (Ávila, 1954; Jordán, 1959; Janhcke y Goya, 1998) *Engraulis ringens* representa ser la principal presa para el guanay. Así mismo considerar que según Vélez *et al.* (2005) en un estudio que realizó en el año 2000 en Bahía Independencia, encontró que *E. ringens* es el taxón con mayor abundancia de larvas, además de *Normanichthys crockeri* y *Scartichthys* sp. las cuales pueden presentarse durante todo el año.

En concordancia con lo hallado por Tovar y Galarza (1984), Jahncke y Goya (1997, 1998) y Zavalaga y Paredes (1999), que observaron la variabilidad de la dieta del guanay mediante estudios de periodos cortos, se corrobora la existencia de variabilidad en la dieta a través del análisis de muestras de guano pertenecientes a diferentes años de acumulación. Como se observa en la figura 14 y 15, los porcentajes de las principales especies así como la diversidad varían para los últimos 12 años (Ver anexo 6).

De esta forma se reporta para ambos métodos de muestreo empleados en la presente investigación (muestreo por capas y muestreo por bloques de 5cm), que las muestras más profundas resultaron tener valores mayores de riqueza y diversidad de especies en comparación con las capas superficiales, así se plantea que esta variabilidad en las capas profundas podría corresponder a la no disponibilidad de anchoveta para los guanayes en años con variaciones ambientales marcadas, por lo que tuvieron que reemplazar el consumo de su presa predilecta, la anchoveta, por una diversidad de especies, en concordancia con lo descrito por Tovar y Galarza (1984) para isla Mazorca.

### **5.3. Sobre la relación de las variables oceanográficas y el porcentaje de anchoveta presente en las muestras de guano**

En general los valores oceanográficos descritos para Isla Santa Rosa muestran una variabilidad espacio temporal que también fue descrita por Quispe *et al.*, (2010) dentro de la Bahía Independencia entre los años 1999 a 2004. Así el autor menciona que las variaciones temporales que ocurren dentro de la bahía son causadas por la circulación marina, intervención de vientos y entorno geomorfológicos (Quispe *et al.*, 2010).

De esta manera respecto a la variabilidad espacial se realizó series tiempo de las variables oceanográficas en las tres escalas espaciales (20Km, 40Km y 60Km). Se observó que la TSM seguía similares patrones en las distintas escalas. Mientras que para el OD se observó que mientras más amplio fue el radio de influencia, mayor fueron sus valores; encontrándose en aguas oceánicas mayor concentración de oxígeno, concordando por lo reportado por Graco *et al.* (2007). Asimismo se observó que la concentración de clorofila es mayor en aguas oceánicas. (Ver Anexo 4)

Mediante el gráfico de cajas de la Fig. 17, se pudo observar la presencia de patrones a consecuencia de la estacionalidad. Asimismo mediante un PCA de dichas variables se observó principalmente dos agrupaciones (componente 1 con 65.11% de variación): a la derecha se encontraban los que presentaban relación directa positiva con la TSM, [Chl] y OD, mientras que a la izquierda se encontraban los meses de años con mayor afloramiento, lo que apoyaría a la presencia de la estacionalidad de invierno y verano en concordancia con

Passuni *et al.* (2016). Asimismo se pueden observar otros grupos de datos influenciados por la presencia de años anómalos, lo que indicaría la existencia de una variabilidad interanual. Hecho que es mejor observado en el PCA de la Fig.17 en base a promedios anuales.

En dicho PCA se generaron 4 grupos. Un grupo caracterizado por presentar mayores valores de concentración de clorofila, conteniendo a los años Mar2010-Feb2011, Mar2013-Feb2014 y Mar2011-Feb2012. Según el ENFEN (2012, 2013) a las dos primeras fechas le corresponden Eventos La Niña, mientras que en el tercero se presentaron condiciones frías. El segundo grupo se caracterizó por presentar años con mayor concentración de oxígeno disuelto correspondiente a los años Mar2009-Feb2010, Mar2012-Feb2013 y Mar2004-Feb2005, que coincide con años donde se presentaron Eventos El Niño de magnitud débil; esta variación se explicaría en la intromisión de masas de agua cálidas con mayor concentración de oxígeno disuelto, las cuales corresponderían a la intromisión de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) según describe Quispe *et al.* (2010). Mientras que el tercer grupo se caracterizó por presentar una mayor TSM correspondiente a los años Mar2003-Feb2004, Mar2006-Feb2007, Mar2002-Feb2003, Mar2014-Feb2015, en cuyos años se desarrollaron desde la presencia de ondas Kelvin cálidas hasta eventos El Niño de intensidad débil y moderada (ENFEN 2012, 2014, 2015). El cuarto grupo presentó un mayor índice de afloramiento incluyendo los años Mar2007-Feb2008 y Mar2001-Feb2002, en donde según el ENFEN (2012) se presentaron los Eventos La Niña de magnitud fuerte y débil respectivamente. (Ver figura 17)

Para el análisis de componentes principales realizado entre las variables oceanográficas y el porcentaje de otolitos de anchoveta en las muestras de guano, se observaron 3 grupos. El primero agrupa los años Mar2010-Feb2011, Mar2011-Feb2012 y Mar2013-Feb2014, los cuales comparten entre sí el presentar mayores porcentaje de anchoveta en la dieta y mayor productividad primaria expresada en concentración de clorofila-a. Según el ENFEN (2012) en estos años se presentaron eventos La Niña y condiciones frías. El segundo agrupa a los años Mar2006-Feb2007, Mar2009-Feb2010 y Mar2012-Feb2013, caracterizados por presentar mayores valores de OD y TSM, según el ENFEN (2012) estos años corresponden a eventos El Niño de intensidad moderada y débil. Esto puede ser explicado según Quispe *et al.* (2010) a la presencia de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), y a masas de agua con mayor oxigenación y temperatura correspondientes a aguas Ecuatoriales subsuperficiales (AESS) que se presentan dentro de la Bahía Independencia frente a eventos El Niño (Ver figura 19).

Para el análisis estadístico se consideró un periodo de tiempo anual desde marzo de un año a febrero del siguiente año, esto con el objetivo de abarcar la mayor parte de los periodos reproductivos. Así se estandarizó periodos donde los efectos de las variables oceanográficas sean promediados y factores específicos no interfieran en el análisis. Es por esta razón tal vez que se observó correlaciones débiles con las demás variables debido a que es probable que estén ocurriendo un cúmulo de eventos específicos dentro de este periodo, y que no pudieran ser visibles en los promedios anuales. Sobre todo porque existe una variabilidad estacional (Quispe *et al.*, 2010 y Passuni



*et al.*, 2016). Sin embargo la TSM sí resultó ser una variable en donde sus variaciones no sólo son estacionales sino que pueden mostrarse a escala interanual.

Basados en la relación inversa observada entre la TSM y el porcentaje de otolitos de anchoveta presentes en las muestras de guano, se puede tener indicios sobre la vulnerabilidad que *P. bougainvillii* frente ante el cambio climático. Así a largo plazo ante episodios cálidos el porcentaje de anchoveta en la dieta de *P. bougainvillii* sería menor, por lo que esta ave variaría su distribución en búsqueda de su principal presa. Además, según Gutiérrez *et al.* (2011) uno de los posibles escenarios frente al cambio climático sería la reducción del hábitat de la anchoveta. Además si considerando la presión de la pesquería de anchoveta la población de esta ave se vería afectada negativamente.

#### **5.4. Sobre la relación del porcentaje de anchoveta presente en las muestras de guano y otras variables indicadores de abundancia de anchoveta**

De acuerdo a la información solicitada al área de Depredadores Superiores de Imarpe sobre la composición de la dieta en base al análisis de bolos residuales, se han identificado 35 especies de peces y 7 no han sido determinadas para isla Santa Rosa entre los años 1998 y 2008. Sin embargo del total de especies sólo 13 representaron más del 1% de frecuencia numérica relativa en algún momento de este periodo.

En general los datos hallados en la presente tesis coinciden con lo hallado por Imarpe en que la anchoveta es la presa más importante para la dieta del guanay para los años 2005 al 2008, donde existe traslape de muestreos realizados por el laboratorio de Depredadores Superiores y los datos de las excavaciones. Sin embargo al realizar las correlaciones de Pearson con respecto al porcentaje de otolitos de anchoveta encontrados en los depósitos de guano y el porcentaje de otolitos de anchoveta encontrado en bolos residuales se obtuvo una relación inversa no significativa ( $r_{\text{Pearson}} = -0.802$ ,  $p = 0.103$ ). Considerar que esta correlación se calculó en base a un  $n = 5$ ; las colectas de bolos por Imarpe fueron realizadas en meses puntuales, en el mejor de los casos fue de 3 veces por año, mientras que para nuestro caso las proporciones de otolitos representan lo acumulado por temporadas reproductivas anual. Además la colecta de bolos que se realizó durante la presente investigación, específicamente en octubre-noviembre de 2015 emitieron un porcentaje alto de anchoveta 97.53%, que en comparación con lo hallado en la muestra de guano correspondiente a Mar2015-Feb-2016 fue de 20.61%. Cabe resaltar que sería probable utilizar datos de dieta generados por Imarpe para La Vieja, isla cercana a la zona de estudio, en donde las aves podrían traslapar las áreas de forrajeo de la población de isla Santa Rosa, por lo que información sobre bolos colectados en dicha isla podría ampliar las comparaciones con nuestro estudio.

Como se puede observar en la figura 20 a partir del año 2009 se ve incrementada la CPUE, el cual podría servir como indicador de la cantidad de biomasa disponible para las aves. Este incremento en los desembarques

podría estar relacionado a la normativa de pesca que se inició en ese año sobre la asignación de cuotas como una forma de evitar la pesca intensiva de anchoveta “Carrera olímpica”, con esta nueva normativa el tiempo de pesca anual se vio alargada (Joo *et al.*, 2015). Además se puede apreciar dos decrecimientos en la cantidad de anchoveta en el año 2013 y 2015.

## 6. Conclusiones

1. El método de excavaciones en depósitos de guano, permite reconstruir la dieta del guanay y estudiar sus variaciones interanuales. Siendo útil para el estudio de la dieta en zonas inaccesibles para realizar la colecta periódica de bolos residuales. Sin embargo es necesario el uso de mapas históricos sobre la distribución y ocurrencia reproductiva de las aves para realizar la calibración o datación de las capas del perfil de guano. Esto mejorará en la medida que se desarrollen métodos más precisos para la datación.
2. La tasa de acumulación de guano varió entre 9.9cm y 9.3cm por año, mientras que la tasa de acumulación por temporada reproductiva fue en promedio 5.7cm.
3. Se identificó 12 especies de peces y una de calamar que componen la dieta del guanay en Isla Santa Rosa, siendo *Engraulis ringens* “anchoveta” la especie con mayor porcentaje seguido de *Normanichthys crockeri* “camotillo” y *Odontesthes regia* “pejerrey”.
4. Isla Santa Rosa a pesar de estar localizada dentro de Bahía Independencia, que representa una de las principales con mayor afloramiento para el Perú, sus condiciones oceanográficas presentan una variabilidad además de estacional (primavera-verano vs. otoño-invierno) también interanual, donde resaltan eventos cálidos como el Niño y fríos como la Niña, que pudo registrarse mediante la variabilidad de la dieta (porcentaje de otolitos de anchoveta).

5. La variación interanual de la dieta en base al porcentaje de otolitos de anchoveta pudo ser explicada por los cambios interanuales de las condiciones oceanográficas, principalmente con la temperatura superficial del mar. Obteniendo que a mayor temperatura se observó un menor porcentaje de otolitos de anchoveta.
6. Se halló la existencia de una relación directa significativa entre la biomasa de anchoveta hallada por prospecciones hidroacústicas y el porcentaje de otolitos de anchoveta presentes en las muestras de guano.
7. Basados en la relación existente entre la biomasa de anchoveta y la temperatura superficial del mar, es probable que ante episodios cálidos a largo plazo la población de *P.bougainvillii* se vería afectada negativamente o variaría su distribución.

## 7. Recomendaciones

- Realizar un análisis previo de mapas históricos sobre la distribución de las aves para toda la zona de estudio, de esta forma tener más opciones en caso al zona esté ocupada por otras aves. Además se minimiza el error de identificación in-situ de las capas de guano, para su posterior descripción y calibración con los eventos reproductivos.
- Se recomienda utilizar muestreos similares al de colecta de guano por bloques de 5cm, ya que se caracteriza por coleccionar muestras de forma continua a lo largo del perfil, así se evita perder muestra ubicada entre las capas de plumas. Así mismo considerar tomar réplicas por cada nivel de capa, de esta forma reducir el error de muestreo.
- Considerar que las condiciones para cada zona de estudio son diferentes, siendo de ayuda determinar la tasa de deposición de cada lugar a estudiar. Se recomienda colocar marcas para la identificación anual de las capas de guano, inclusive considerar coleccionar muestras anuales para su posterior calibración con el perfil.
- Considerar hallar la composición de la dieta en depósitos de guano para periodos cortos de deposición. Ya que es más factible identificar la tasa de deposición pues existe menos compactación y más precisión al identificar los eventos reproductivos en las capas de guano.
- Considerar realizar colectas periódicas de bolos de guanay en paralelo a la utilización del método de excavaciones, así poder estandarizar la metodología y validarla.

## 8. Referencias bibliográficas

- AGRO RURAL. (2014). Plan anual de manejo - campaña de recolección de guano de isla 2014. Dirección de operaciones. Subdirección de insumos y abonos. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Arévalo L., J. Alegre y Ch. Palm. (2003). Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA).
- Ávila E. (1954). Potencia deyeativa del guanay. Boletín de la Compañía Administradora del Guano, 1(2):22-49.
- Bertellotti M., Donázar J.A., Blanco G. y Forero M.G. (2003). Inminent extinction of the guanay cormorant on the Atlantic South American coast: a conservation concern? Biodiversity and Conservation, 12.
- Bertrand Sophie, Dewitte Boris, Tam Jorge, Díaz Erich y Bertrand A. (2008) Impact of Kelvin wave forcing in the Peru Humboldt Current system: Scenarios of spatial reorganizations from physics to fishers. Progress in Oceanography, 79:278-289.
- Bertrand Arnaud, Chaigneau A., Peraltilla S., Ledesma J., Graco M., Monetti F., Chavez F. (2011). Oxygen: A Fundamental Property Regulating Pelagic Ecosystem Structure in the Coastal Southeastern Tropical Pacific. PLoS ONE, 6(12): e29558. doi:10.1371/journal.pone.0029558
- Bertrand Sophie, Rocio Joo, Claude Arbulu Smet, Yann Tremblay, Christophe Barbraud and Henri Weimerskirch. (2012). Local depletion by a fishery can affect seabird foraging. Journal of Applied Ecology, 49:1168-1177.
- Bertrand A., Grados D., Colas F., Bertrand S., Capet X. y Chaigneau A. (2014). Broad impacts of fine-scale dynamics on seascape structure from zooplankton to seabirds. Nat. Commun, 5:1-9. doi: 10.1038/ncomms6239
- Biffi D. y Iannacone J. (2010). Variabilidad trófica de *Lontra felina* (Molina 1782) (Carnivora: Mustelidae) en dos poblaciones de Tacna (Perú) entre agosto y diciembre de 2006. Mastozoología Neotropical, 17(1):11-17.
- Boyd, C., Castillo, R., Hunt, G. L., Punt, A. E., VanBlaricom, G. R., Weimerskirch, H. y Bertrand, S. (2015). Predictive modelling of habitat selection by marine predators with respect to the abundance and depth distribution of pelagic prey. J Anim Ecol, 84: 1575–1588. doi:10.1111/1365-2656.12409
- Chávez Francisco, Arnaud Bertrand, Renato Guevara-Carrasco, Pierre Soler y Jorge Csirke. (2008). The Northern Humboldt Current System: Ocean Dynamics, Ecosystem Processes, and Fisheries. Progress in Oceanography, 79(2–4): 95–105.

- Chirichigno, N. y Cornejo, M. (2001). Catálogo comentado de los peces marinos del Perú. Instituto del Mar del Perú. Publicación especial. Callao –Perú.
- Coker, R. (1919). Habits and economic relations of the guano birds of Peru. *Proceedings of the US National Museum*, 56: 449-511.
- Crawford, R.J.M., Jahncke, J. (1999). Comparison of trends in abundance of guano-producing seabirds in Peru and southern Africa. *South African Journal of Marine Science*, 21: 145-156.
- Cushman, G.T. (2003). *The Lords of Guano: Science and the Management of Peru's Marine Environment, 1800-1973*. Doctoral Thesis. Faculty of the Graduate School of the University of Texas at Austin.
- Cury, P. and C. Roy. (1989). Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46: 670-680.
- Duffy D.C. (1983). The foraging ecology of Peruvian seabirds. *Auk*, 100: 800-810.
- Duffy D.C., Wilson R.P. and Wilson M.P. (1987). Spatial and temporal patterns of diet in the Cape cormorant off Southern Africa. *The Condor*, 89: 830-834.
- Duffy D.C. y Laurenson L.J.B. (1983). Pellets of Cape Cormorants as indicators of diet. *Condor*, 85:305-307.
- ENFEN. (2012). Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Comité Técnico del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño. Recuperado de: [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_comenf\\_not\\_tecni\\_enfen\\_09abr12.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_comenf_not_tecni_enfen_09abr12.pdf)
- ENFEN. (2013). Se confirma la presencia de “la niña” en la costa peruana. Comunicado Oficial ENFEN N°07-2013
- ENFEN. (2014). Continúa la presencia de ondas kelvin cálidas en la costa peruana. Comunicado Oficial ENFEN Extraordinario N°02-2014
- ENFEN. (2015). Estado del sistema de alerta: Alerta de El Niño Costero. Comunicado Oficial ENFEN N°15-2015.
- Emslie S. y E. Woehler. (2005). A 9000-year record of Adélie penguin occupation and diet in the Windmill Islands, East Antarctica. *Antarctic Science*, 17 (1): 57-66. DOI: 10.1017/S0954102005002427
- García-Godos Aquiles y Goya Elisa. (2000). Dieta de las aves guaneras en la costa peruana durante noviembre 1999. Informe progresivo. N°115. Instituto del mar del Perú (IMARPE), 1-11



- García-Godos Ignacio. (2001). Patrones morfológicos del otolito *sagitta* de algunos peces óseos del mar peruano. Boletín IMARPE, 20 (1-2).
- Guillén V. (1993). Alimentación de aves guaneras y reproducción de lobos en el Perú. Boletín de Lima, 85:79-95.
- Gutiérrez, Dimitri; Bertrand, Arnaud; Wosnitza-Mendo, Claudia; Dewitte, Boris; Purca, Sara; Peña, Cecilia; Chaigneau, Alexis; Tam, Jorge; Graco, Michelle; Echevin, V.; Grados, Carmen; Fréon, Pierre y Guevara-Carrasco, Renato. (2011). Sensibilidad del sistema de afloramiento costero del Perú al cambio climático e implicancias ecológicas. Revista Peruana Geo-atmosférica. 3: 1-24.
- Hutchinson G.E. (1950). The biogeochemistry of vertebrate excretion. Survey of Contemporary knowledge of Biogeochemistry. Bulletin of the American museum of natural history, N°93. Volume 96. New York
- Jahncke J. (1998). Las poblaciones de aves guaneras y sus relaciones con la abundancia de anchoveta y la ocurrencia de eventos el Niño en el mar peruano. Boletín IMARPE, 17 (1-2):1-13
- Jahncke J. y Goya E. (1997). Variación latitudinal y estacional en la dieta del guanay (*Leucocarbo bougainvilli*) y el piquero peruano (*Sula variegata*) en la costa peruana. Bol. Inst. Mar Perú, 16(1):23-41
- Jahncke J. y Goya E. (1998). Las dietas del guanay y del piquero peruano como indicadores de la abundancia y distribución de anchoveta. Boletín IMARPE, 17 (1-2):15-33.
- Jahncke J. y Rivas C. (1998). Recuperación, erosión y retención de otolitos en bolos de guanay. ¿Son los bolos realmente buenos indicadores de la dieta? Boletín IMARPE, 17 (1-2): 35-45
- Jahncke, J., Checkley, D. M., y Hunt, G. L. (2004). Trends in carbon flux to seabirds in the Peruvian upwelling system: effects of wind and fisheries on population regulation. Fisheries oceanography, 13(3): 208-223.
- Joo R., Salcedo O., Gutierrez M, Fablete R. y Bertrand S. (2015). Defining fishing spatial strategies from VMS data: Insights from the world's largest monospecific fishery. Fisheries Research, 164: 223-230.
- Jordán R. (1959). El fenómeno de las regurgitaciones en el guanay (*Phalacrocorax bougainvillii*) y un método para estimar la ingestión diaria. Boletín de la Compañía Administradora del Guano; 35(4):23-40.
- Jordán R. (1963). Resultados de los censos gráficos de las aves guaneras efectuados en noviembre de 1960 y enero de 1962. Callao, Inf. Inst. Invest. Recurs. Mar., 12:1-21.

- Jordán R. (1966). The predation of guano birds on the peruvian Anchovy (*Engraulis ringens* Jenyns). California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations, 11: 105-109.
- Koepcke H. y M. Koepcke. (1963). Las Aves Silvestres de importancia Económica para el Perú. Ministerio de Agricultura.
- Mariano-Jelicich, R., Copello, S., Seco Pon, J.P., Favero M. (2017). Long-term changes in Black-browed albatrosses diet as a result of fisheries expansion: an isotopic approach. Mar Biol, 164: 148. doi:10.1007/s00227-017-3176-z
- Moore Eduardo. (1926). El cormorán (Guanay o Yeco). Revista Chile de Historia Natural, 176-183.
- Murphy R. C. (1926). El ave más valiosa del mundo. Boletín de la Compañía Administradora del Guano.
- Murphy R. C. (1936). Oceanic Birds of South America. Vol. II. MacMillan. New York.
- Passuni Giannina , Barbraud C., Chaigneau A., Demarq H., Ledesma J., Bertrand A., Castillo R., Perea A., Mori J., Viblanc V., Maita T.J. y S. Bertrand. (2016). Seasonality in marine ecosystems: Peruvian seabirds, anchovy and oceanographic conditions. Ecological society of America. Ecology, 97(1):182–193.
- Plenge, M. A. (2016). Lista de las Aves de Perú. Lima, Perú. Disponible en: <https://sites.google.com/site/boletinunop/checklist>
- Quispe D., Graco M. Correa D., Tam J., Gutierrez D., Morón O., Flores G.y C. Yamashiro. (2010). Variabilidad espacio-temporal de condiciones hidrofíscas en Bahía independencia, Pisco- Perú, desde 1995 al 2004. Ecología aplicada, 9(1), 9-18.
- RNSIIPG. (2010). Cartilla de Instrucciones para el uso de las fichas de monitoreo de aves y mamíferos en la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) y Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural (AgroRural)
- Rivas Cecilia. (2000). Utilidad de los bolos residuales de guanay en los estudios de dieta, pérdida y erosión de otolitos en estómagos de guanayes en cautiverio. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Schulenberg T. S., D. F. Stotz, D. F. Lane, J. P. O'Neill & T. A. Parker III (2010). Aves de Perú. Serie Biodiversidad. Corbidi 01
- Stewart E.M., Michelutti N., Shenstone-Harris S., Grooms C., Weseloh C., Kimpe L.E., Blais J., Smol J. (2015). Tracking the History and

Ecological Changes of Rising Double-Crested Cormorant Populations Using Pond Sediments from Islands in Eastern Lake Ontario. PLoS ONE, 10(7): e0134167. doi:10.1371/journal.pone.0134167

- Sydeman W.J., Hester M.M., Thayer J. A., Gress F., Martin P., Buffa J. (2001). Climate change, reproductive performance and diet composition of marine birds in the southern California Current system, 1969–1997. *Progress in Oceanography*, 49:309–329
- Tovar H. y N. Galarza. (1984). Cambios en el régimen alimentario del guanay. *Boletín de Lima*, 35(6):85-91.
- Tovar H. y D. Cabrera. (2005). Conservación y Manejo de aves guaneras. Asamblea Nacional de Rectores. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Velando A. (1997). Ecología y comportamiento del cormorán moñudo *Phalacrocorax aristotelis* en las islas Cíes y Ons. Tesis Doctoral. Departamento de Ecología e Biología Animal. Universidade de Vigo.
- Vélez J., Watson W., Arntz W., Wolff y Schnack-Schiel S. (2005). Larval fish assemblages in Independencia Bay, Pisco, Perú: temporal and spatial relationships. *Marine Biology*, 147:77-91
- Vogt W. (1942). Informe sobre las aves guaneras. *Boletín de la Compañía administradora del guano*, 18(13):1-132.
- Weeb Lisa y Harvey James. (2015). Diet of piscivorous seabirds reveal spatiotemporal variation in abundance of forage fishes in the Monterey Bay region. *Journal of Marine Systems*, 146:59-71.
- Weimerskirch H, Bertrand S, Silva J, Marques JC, Goya E. (2010). Use of Social Information in Seabirds: Compass Rafts Indicate the Heading of Food Patches. PLoS ONE, 5(3). doi:10.1371/journal.pone.0009928
- Weimerskirch H., Bertrand S., Silva J., Charly B. y S. Peraltilla. (2012) Foraging in Guanay cormorant and Peruvian booby, the major guano-producing seabirds in the Humboldt Current System. *Marine Ecology Progress Series*, 458:231-245.
- Zavalaga C. y Paredes R. (1999). Foraging behaviour and diet of the guanay cormorant. *South African Journal of Marine Science*, 21: 251-258.
- Zavalaga C. B. y Alfaro-Shigueto J. (2015). Unveiling an Important Humboldt Penguin (*Spheniscus humboldti*) Breeding Colony in Peru and the Need for its Protection Against the Potential Impact of Guano Harvest. *Waterbirds*, 38(3):302-307.
- Zavalaga C.B. (2015). Índices para el inicio y cierre de las campañas de extracción de guano en la RNSIIPG (Especial atención a los aspectos reproductivos de las tres especies de aves guaneras y considerando como

caso de estudio a la Isla Guañape Sur). Informe técnico Proyecto GEF Humboldt – UNDP.

## **9. Anexos**

### **Anexo 1: Estudio piloto en Isla Guañape Sur**

Se consideró realizar un estudio previo en una isla donde no se haya acumulado guano por tanto tiempo, y donde se haya registrado los eventos reproductivos y extracciones de guano por AgroRural. El estudio piloto tuvo como objetivo confirmar la presencia de otolitos enterrados en el guano de isla. Además poder diferenciar visualmente las capas de guano a través de la presencia de cúmulos de plumas, carcasas de polluelos y huevos abandonados, que al mismo tiempo deberían mantener alguna relación con los eventos reproductivos mostrados en los mapas históricos.

De esta manera se realizó una visita de campo a la Isla Guañape Sur (Virú, La Libertad) el 18 de agosto de 2015. En esta fecha la isla se encontraba con una campaña de recolección de guano realizada por AgroRural (iniciada en Marzo 2015), así se pudo aprovechar la ayuda del personal que se encontraba laborando, para poder realizar excavaciones para la obtención de calicatas y coleccionar muestras de guano.

La zona de excavación se eligió además de considerar el análisis de mapas históricos, una zona que aún no se haya extraído guano por la campaña en desarrollo. Así la zona de la excavación se ubicó al Norte de la isla UTM 17L 0723830mO, 9052766mS. (Ver la figura)

La profundidad de la calicata fue de 85cm, correspondientes a 4 años y medio de acumulación, considerando que la penúltima campaña de extracción de guano se realizó entre abril y noviembre de 2010. De esta forma la tasa de acumulación de guano para esta isla es de 18.8 cm/año.

De esta manera se logró diferenciar visualmente por la coloración del guano 7 horizontes. Sin embargo sólo se pudo identificar 5 capas de acuerdo a la presencia vestigios reproductivos, en la base se observaron pichones de 2 meses, además de huevos de pelícanos, y de guanay. Por lo que parte de la zona pudo estar ocupada por otras aves además del guanay.

De las 5 capas identificadas se colectó aproximadamente 300gr de cada una. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio donde se tamizó 100gr de guano con agua para no saturar los tamices.

Luego de tamizar las muestras, se pudo hallar cristalinós e identificar otolitos. Los de anchoveta representaron el 81%, mientras que de camotillo 16%; pejerrey, anchoa, mictófidó y merluza alrededor del 1%.

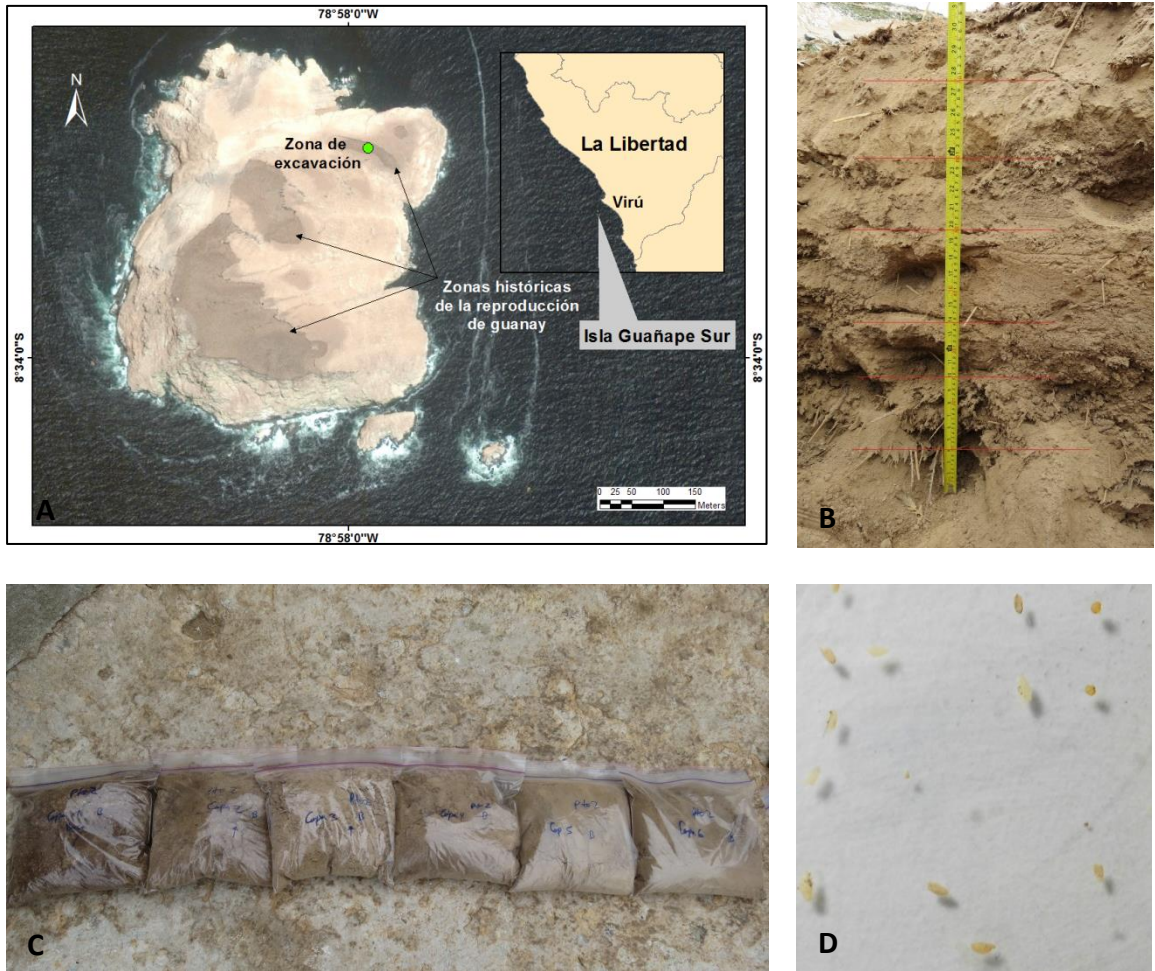


Figura. (A) Mapa de isla Guañape Sur donde se indica la zona de excavación. (B) Calicata de 85cm de alto donde se observa la diferenciación de capas de guano por la coloración, asimismo se observó la presencia de cúmulos de plumas correspondientes a nidos elaborados en diferentes temporadas reproductivas. (C) Muestras de guano extraídas de cada capa de la calicata, se observa que las capas más cercanas a la base son más oscuras y húmedas (D) Otolitos hallados luego de tamizar las muestras de guano con agua en el laboratorio.

**Anexo 2:** Porcentaje de humedad de muestras de guano. Para el muestreo cada 5cm, la muestra M01 es la más superficial, siendo la más reciente.

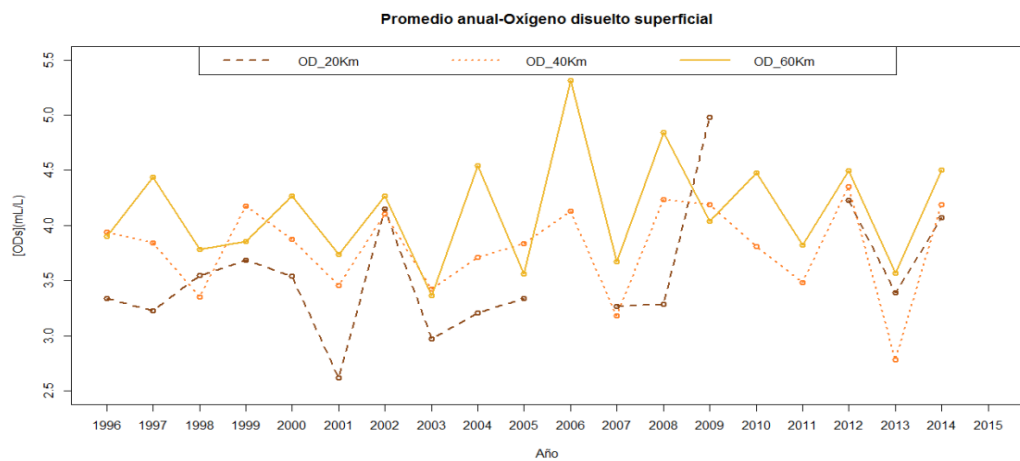
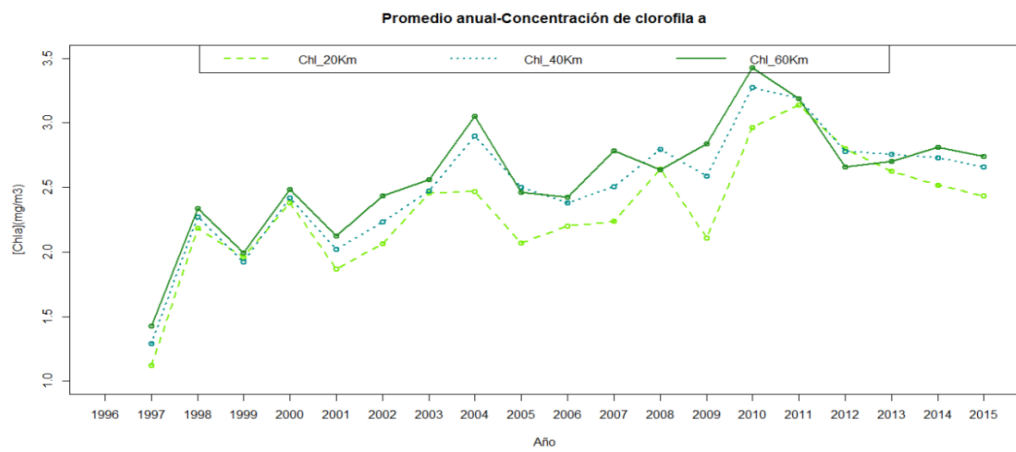
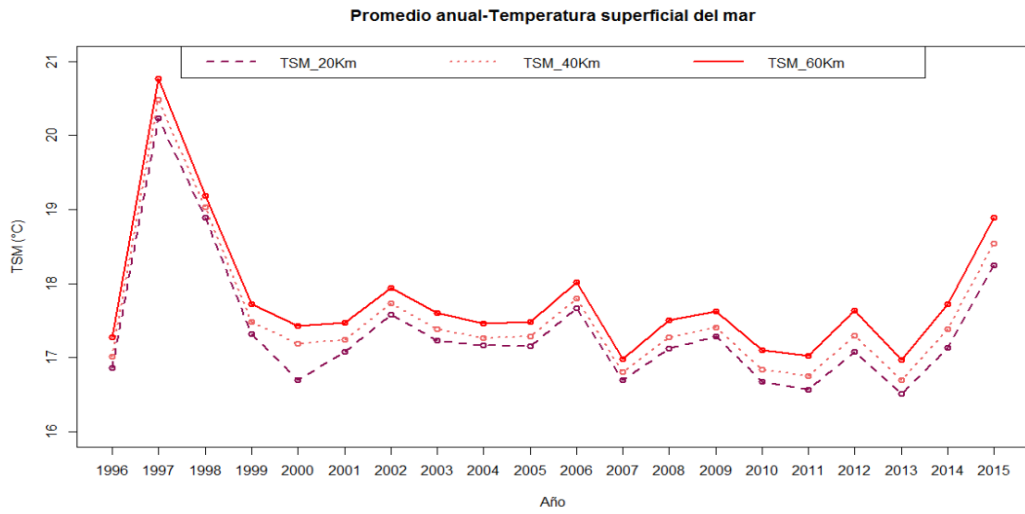
<b>Punto</b>	<b>Muestra</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>%Humedad</b>
Pt1X	M01	253.1	223.74	11.6
Pt1X	M02	224.2	196.9	12.2
Pt1X	M03	219.5	194.1	11.6
Pt1X	M04	292.4	260.1	11.0
Pt1X	M05	256.5	216.7	15.5
Pt1X	M06	244.7	217.1	11.3
Pt1X	M07	253.6	214.5	15.4
Pt1X	M08	254.6	210.3	17.4
Pt1X	M09	285.6	236.7	17.1
Pt1X	M10	269.9	225	16.6
Pt1X	M11	263.6	222.8	15.5
Pt1X	M12	385	327.3	15.0
Pt1X	M13	386.7	322.8	16.5
Pt1X	M14	328.4	243.3	25.9
Pt1X	M15	320.4	244.9	23.6
Pt1X	M16	350.6	275	21.6
Pt1X	M17	526.2	432.9	17.7
Pt1X	M18	371.1	273.9	26.2
Pt1X	M19	384.7	311.6	19.0
Pt1X	M20	328.8	270.2	17.8
Pt1X	M21	422	343.8	18.5

**Anexo 3:** Densidad aparente de guano ( $\text{g/cm}^3$ ) calculado a partir de la medición de cubos de 10 cm de lado. Para el muestreo por capa, las muestras M01 fueron tomadas de la base es decir son las más antiguas.

<b>Punto</b>	<b>Muestra</b>	<b>Densidad (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>	<b>Punto</b>	<b>Muestra</b>	<b>Densidad (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>
Pt1A	M01	0.78	Pt2A	M01	0.68
Pt1A	M02	0.86	Pt2A	M02	0.62
Pt1A	M03	0.81	Pt2A	M03	0.62
Pt1A	M04	0.73	Pt2A	M04	0.65
Pt1A	M05	0.65	Pt2A	M05	0.64
Pt1A	M06	0.57	Pt2A	M06	0.59
Pt1A	M07	0.58	Pt2A	M07	0.52
Pt1A	M08	0.57	Pt2A	M08	0.52
Pt1B	M01	0.70	Pt2B	M01	0.67
Pt1B	M02	0.68	Pt2B	M02	0.57
Pt1B	M03	0.69	Pt2B	M03	0.61
Pt1B	M04	0.72	Pt2B	M04	0.61
Pt1B	M05	NA	Pt2B	M05	0.57
Pt1B	M06	0.61	Pt2B	M06	0.55
Pt1B	M07	0.49	Pt2B	M07	0.56
Pt1B	M08	0.49	Pt2B	M08	0.54

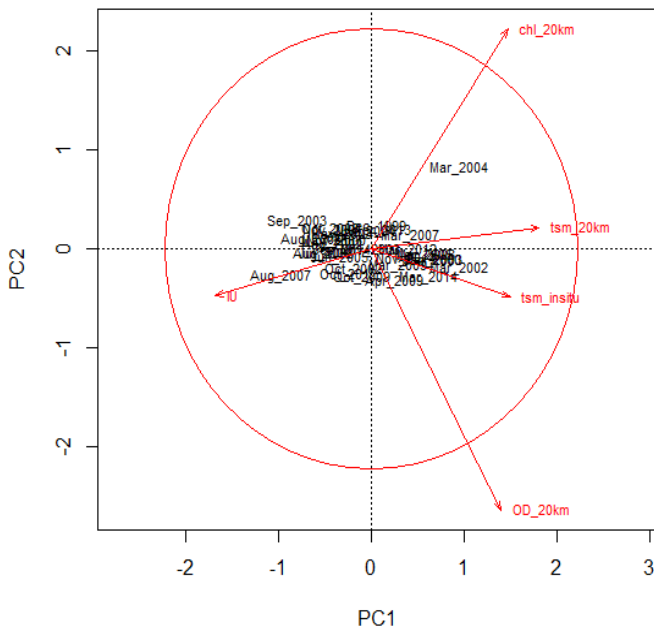


**Anexo 4:** Variables oceanográficas según los tres rangos de estudio: 20Km, 40Km y 60Km, para la zona de Santa Rosa

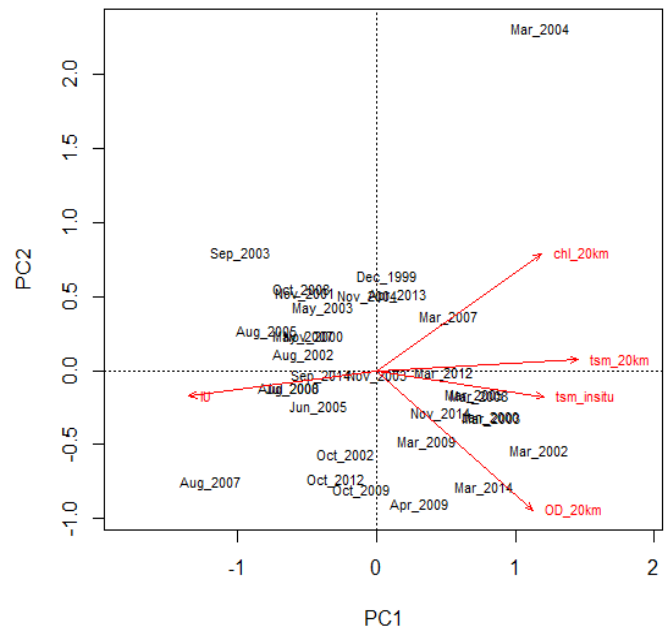


**Anexo 5:** Análisis de componentes principales de las variables oceanográficas temperatura superficial del mar (TSM) promedio a 20Km, concentración de clorofila promedio a 20Km, oxígeno disuelto superficial promedio a 20Km e índice de afloramiento (IU), en base a datos mensuales.

PCA - scaling 1



PCA - scaling 2

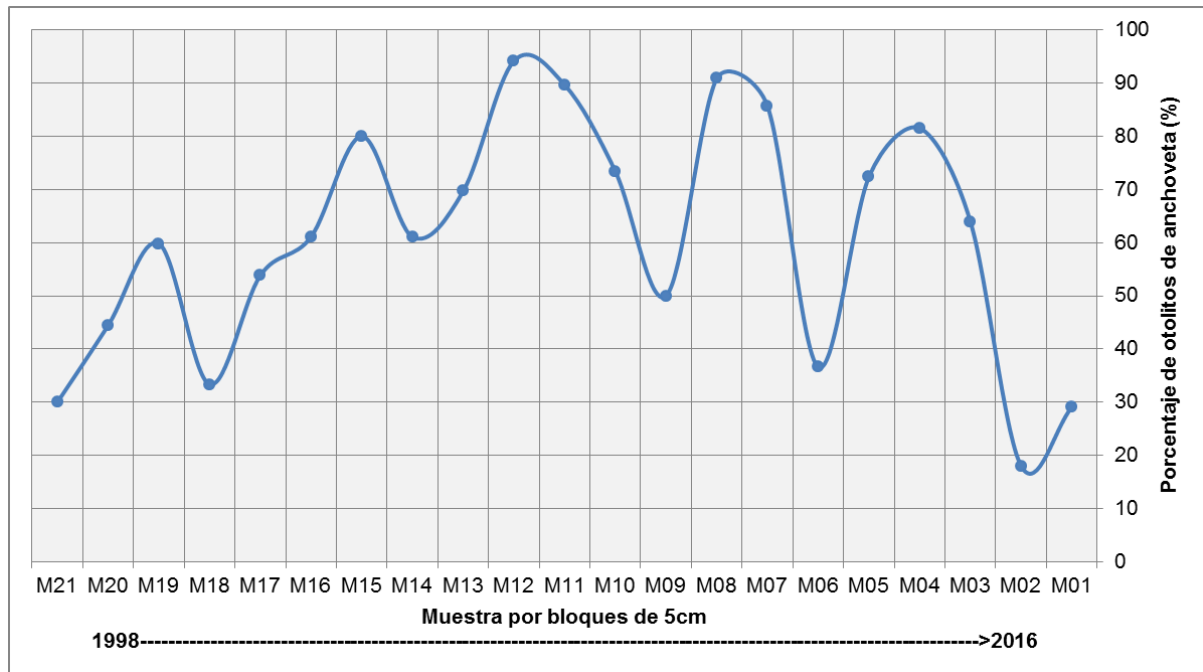


**Anexo 6:** Tabla sobre la composición de especies presa presentes en las muestras de guano, además se muestran valores de número de cristalinos, presencia de plumas, diversidad de Shannon (H') y riqueza de especies presa.

Muestra	<i>E. ringens</i>	<i>O. regia</i>	N. crockeri	<i>A. nasus</i>	<i>A. porosus</i>	<i>M. nitidulum</i>	<i>I. conceptionis</i>	<i>S. deliciosa</i>	<i>P. stephanophrys</i>	Pico de calamar	Total otolitos	Número de Cristalinos	H'	Riqueza de especies
M01	9	0	21	0	0	1	0	0	0	0	31	205	0.7	3
M02	18	0	82	0	0	0	0	0	0	0	100	731	0.5	2
M03	32	2	14	0	0	2	0	0	0	0	50	181	0.9	4
M04	62	3	8	0	0	0	3	0	0	0	76	203	0.7	4
M05	21	3	4	0	0	0	1	0	0	0	29	294	0.9	4
M06	15	2	22	1	0	1	0	0	0	0	41	241	1.0	5
M07	36	1	4	0	0	1	0	0	0	0	42	245	0.5	4
M08	20	0	0	0	0	2	0	0	0	0	22	113	0.3	2
M09	3	1	0	0	0	1	1	0	0	0	6	201	1.2	4
M10	47	5	11	0	1	0	0	0	0	0	64	346	0.8	4
M11	61	0	6	0	0	0	1	0	0	1	68	313	0.4	4
M12	114	2	5	0	0	0	0	0	0	0	121	473	0.3	3
M13	23	2	4	0	3	1	0	0	0	0	33	360	1.0	5
M14	11	0	1	0	1	1	2	0	2	2	18	251	1.3	7
M15	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	181	0.5	2
M16	22	9	0	0	1	0	1	0	3	1	36	313	1.1	6
M17	7	1	1	0	2	1	1	0	0	0	13	432	1.4	6
M18	9	2	5	3	1	1	3	3	0	0	27	399	1.8	8
M19	73	32	9	4	1	0	1	0	2	0	122	286	1.1	7
M20	32	6	21	3	1	8	0	1	0	0	72	174	1.4	7
M21	9	0	14	3	0	3	0	0	1	0	30	104	1.3	5
Total	628	72	232	14	11	23	14	4	8	4	1006	6046	1.1	9

 Presencia abundante de plumas en el tamizado

**Anexo 7:** Línea de tiempo sobre el porcentaje de otolitos de anchoveta presentes en las muestras de guano según el método por bloques de 5cm. Nótese las muestras más antiguas.



**Anexo 8:** Valores del Test de Shapiro-Wilk de las variables

Variables	W	p-value
tsm_insitu	0.79539	0.0007381
tsm_20km	0.73644	0.0001123
tsm_40km	0.73973	0.0001241
tsm_60km	0.74466	0.0001441
chl_20km	0.92932	0.1683
chl_40km	0.97919	0.9325
chl_60km	0.97954	0.9369
OD_20km	0.93383	0.2802
OD_40km	0.97659	0.8958
OD_60km	0.90736	0.06623
IU	0.88816	0.04322
%Anchov_bolos	0.94635	0.5977
Biomasa	0.9347	0.1901
CPUE	0.80759	0.001948
%Anchov_guano	0.97321	0.9189

**Anexo 9:** Índice de correlación de Pearson entre variables oceanográficas e índices de abundancia de anchoveta, considerando una data de promedios anuales (Mar-Feb)

	Fila	Columna	r	p
1	tsm_insitu	tsm_20Km	0.810	0.000
2	tsm_insitu	tsm_40Km	0.825	0.000
3	tsm_20Km	tsm_40Km	0.997	0.000
4	tsm_insitu	tsm_60Km	0.847	0.000
5	tsm_20Km	tsm_60Km	0.994	0.000
6	tsm_40Km	tsm_60Km	0.999	0.000
7	tsm_insitu	chl_20Km	-0.178	0.465
8	tsm_20Km	chl_20Km	-0.509	0.026
9	tsm_40Km	chl_20Km	-0.497	0.031
10	tsm_60Km	chl_20Km	-0.469	0.043
11	tsm_insitu	chl_40Km	-0.263	0.276
12	tsm_20Km	chl_40Km	-0.595	0.007
13	tsm_40Km	chl_40Km	-0.593	0.007
14	tsm_60Km	chl_40Km	-0.570	0.011
15	chl_20Km	chl_40Km	0.923	0.000
16	tsm_insitu	chl_60Km	-0.329	0.169
17	tsm_20Km	chl_60Km	-0.639	0.003
18	tsm_40Km	chl_60Km	-0.641	0.003
19	tsm_60Km	chl_60Km	-0.624	0.004
20	chl_20Km	chl_60Km	0.827	0.000
21	chl_40Km	chl_60Km	0.960	0.000
22	tsm_insitu	OD_20Km	0.202	0.454
23	tsm_20Km	OD_20Km	0.000	1.000
24	tsm_40Km	OD_20Km	0.026	0.923
25	tsm_60Km	OD_20Km	0.042	0.876
26	chl_20Km	OD_20Km	0.197	0.482
27	chl_40Km	OD_20Km	0.300	0.278
28	chl_60Km	OD_20Km	0.335	0.223
29	tsm_insitu	OD_40Km	0.175	0.473
30	tsm_20Km	OD_40Km	0.164	0.501
31	tsm_40Km	OD_40Km	0.190	0.436
32	tsm_60Km	OD_40Km	0.202	0.408
33	chl_20Km	OD_40Km	-0.092	0.715
34	chl_40Km	OD_40Km	0.005	0.983
35	chl_60Km	OD_40Km	0.024	0.926
36	OD_20Km	OD_40Km	0.764	0.001
37	tsm_insitu	OD_60Km	0.310	0.197
38	tsm_20Km	OD_60Km	0.250	0.302

39	tsm_40Km	OD_60Km	0.259	0.285
40	tsm_60Km	OD_60Km	0.273	0.258
41	chl_20Km	OD_60Km	0.109	0.668
42	chl_40Km	OD_60Km	0.102	0.688
43	chl_60Km	OD_60Km	0.112	0.659
44	OD_20Km	OD_60Km	0.607	0.013
45	OD_40Km	OD_60Km	0.700	0.001
46	tsm_insitu	IU	0.113	0.665
47	tsm_20Km	IU	0.045	0.865
48	tsm_40Km	IU	-0.060	0.818
49	tsm_60Km	IU	-0.052	0.844
50	chl_20Km	IU	-0.046	0.860
51	chl_40Km	IU	0.091	0.728
52	chl_60Km	IU	0.180	0.489
53	OD_20Km	IU	-0.135	0.659
54	OD_40Km	IU	-0.197	0.465
55	OD_60Km	IU	-0.038	0.888
56	tsm_insitu	%Anchov_bolos	0.097	0.791
57	tsm_20Km	%Anchov_bolos	0.018	0.960
58	tsm_40Km	%Anchov_bolos	0.026	0.944
59	tsm_60Km	%Anchov_bolos	0.023	0.949
60	chl_20Km	%Anchov_bolos	-0.044	0.904
61	chl_40Km	%Anchov_bolos	0.147	0.685
62	chl_60Km	%Anchov_bolos	0.009	0.981
63	OD_20Km	%Anchov_bolos	0.699	0.036
64	OD_40Km	%Anchov_bolos	0.650	0.042
65	OD_60Km	%Anchov_bolos	0.396	0.258
66	IU	%Anchov_bolos	0.008	0.984
67	tsm_insitu	BIOMASA	-0.199	0.399
68	tsm_20Km	BIOMASA	-0.443	0.051
69	tsm_40Km	BIOMASA	-0.431	0.058
70	tsm_60Km	BIOMASA	-0.423	0.063
71	chl_20Km	BIOMASA	0.555	0.014
72	chl_40Km	BIOMASA	0.600	0.007
73	chl_60Km	BIOMASA	0.569	0.011
74	OD_20Km	BIOMASA	0.437	0.090
75	OD_40Km	BIOMASA	0.106	0.664
76	OD_60Km	BIOMASA	0.196	0.421
77	IU	BIOMASA	0.128	0.624
78	%Anchov_bolos	BIOMASA	0.637	0.048
79	tsm_insitu	CPUE	0.493	0.038
80	tsm_20Km	CPUE	0.165	0.514
81	tsm_40Km	CPUE	0.215	0.390

82	tsm_60Km	CPUE	0.251	0.316
83	chl_20Km	CPUE	0.276	0.267
84	chl_40Km	CPUE	0.084	0.740
85	chl_60Km	CPUE	-0.027	0.915
86	OD_20Km	CPUE	-0.043	0.883
87	OD_40Km	CPUE	-0.076	0.772
88	OD_60Km	CPUE	0.014	0.956
89	IU	CPUE	-0.476	0.054
90	%Anchov_bolos	CPUE	-0.323	0.397
91	BIOMASA	CPUE	-0.092	0.716
92	tsm_insitu	%Anchov_guano	-0.745	0.013
93	tsm_20Km	%Anchov_guano	-0.792	0.006
94	tsm_40Km	%Anchov_guano	-0.808	0.005
95	tsm_60Km	%Anchov_guano	-0.813	0.004
96	chl_20Km	%Anchov_guano	-0.013	0.972
97	chl_40Km	%Anchov_guano	0.120	0.742
98	chl_60Km	%Anchov_guano	0.236	0.512
99	OD_20Km	%Anchov_guano	0.433	0.391
100	OD_40Km	%Anchov_guano	-0.196	0.614
101	OD_60Km	%Anchov_guano	-0.442	0.233
102	IU	%Anchov_guano	0.096	0.791
103	%Anchov_bolos	%Anchov_guano	-0.445	0.555
104	BIOMASA	%Anchov_guano	0.713	0.021
105	CPUE	%Anchov_guano	-0.310	0.383

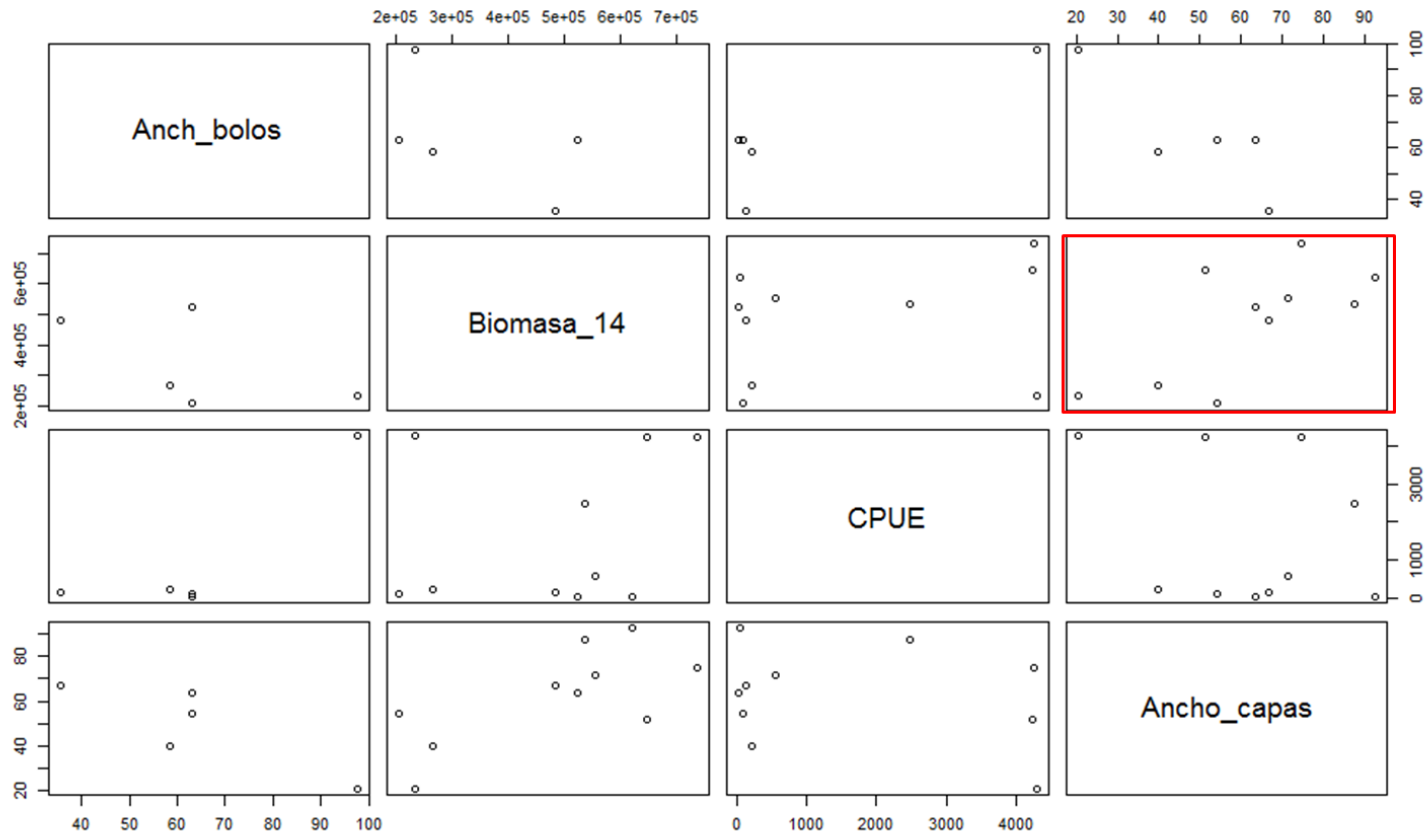
**Anexo 10:** Diagrama de dispersión de variables oceanográficas y porcentaje de otolitos de anchoveta. En rojo se muestra la existencia de correlación significativa



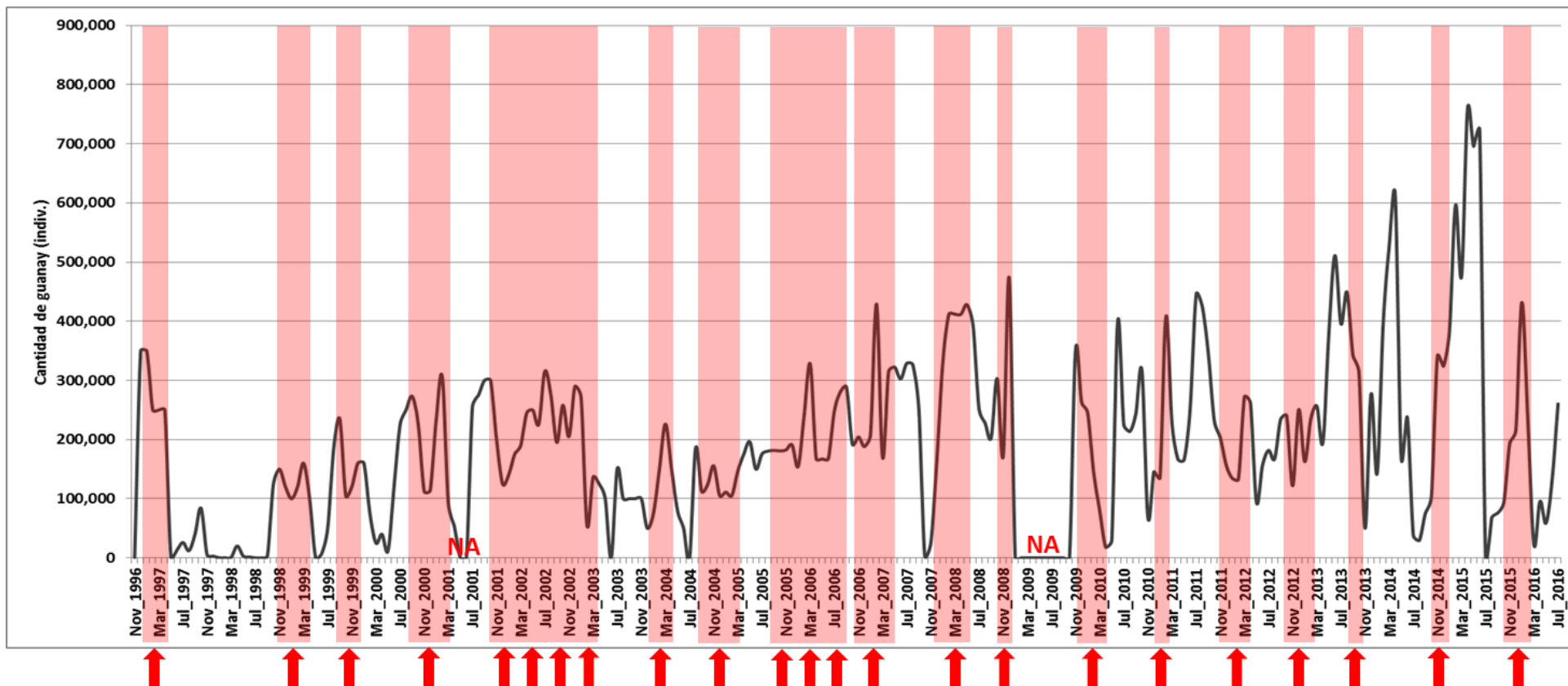


**Anexo 11:** Diagrama de dispersión de de variables oceanográficas y porcentaje de otolitos de anchoveta. En rojo se muestra la existencia de correlación significativa

**Diagrama de dispersión: Indicadores de la abundancia de anchoveta**



**Anexo 12.** Variaciones temporales de la población de *P. bougainvillii* e identificación de eventos reproductivos ocurridos en Isla Santa Rosa 1996-2016 (Fuente: AgroRural)



\*NA: Datos no disponibles en AgroRural correspondientes a Mayo a Junio de 2001, y Febrero a Julio del 2009.

Las flechas en rojo indican cada evento reproductivo, y las barras rosadas indican la extensión del periodo reproductivo en la isla.

**Anexo 13.** Formato de mapa mensual realizado por los guardianes de isla Santa Rosa sobre la población de aves guaneras. Nótese en color negro las colonias de *P. bougainvillii* (guanay), en rojo colonias de *S. variegata* (piquero) y en color azul colonias de *P. thagus* (pelicano). Fuente AgroRural

