



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
ESCUELA DE POSGRADO VÍCTOR ALZAMORA CASTRO

**INDICADORES MORFOMÉTRICOS DE
CONDICIONES AMBIENTALES EN UN AVE
MARINA: EL ZARCILLO (*Larosterna inca*)**

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

CARLOS LUIS GABRIEL CALVO MAC

LIMA - PERÚ

2016

ASESOR DE LA TESIS

Dr. Yann Tremblay

Agradecimientos

Quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) y al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico e Innovación Tecnológica (FONDECYT - CIENCIACTIVA) por la subvención de mis estudios en la maestría de Ciencias del Mar de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH), así como por el financiamiento en parte de la presente tesis. Al Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) por otra parte del financiamiento de la presente tesis. Al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) y a al Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural (AGRORURAL) por las facilidades y permisos para la investigación.

Un agradecimiento especial a mí asesor, el Dr. Yann Tremblay, por sus valiosos consejos y apoyo constante. Al jurado evaluador de la presente tesis, el Dr. Carlos Zavalaga, la Dra. Joanna Alfaro y el Dr. Daniel Grados, por sus importantes comentarios, correcciones y sugerencias las cuales contribuyeron sustancialmente en la culminación de esta investigación.

A todas las personas que fueron asistentes de campo: Claudia Tejada, Bruno Ibañez, Mariel Aybar, Daniella Biffi, Karen Verde, Renato Espinosa, David Chang, Juan Carlos Jerí, Rommy Camasca y en especial a Maite Arangüena por su generosa ayuda todo el tiempo. A Los guardaislas de AGRORURAL por su ayuda y apoyo en campo. A Micaela De La Puente, Criscely Luján, Wencheng Lau, Analí Jiménez, Rocio Joo, Marissela Pozada y Paul Tacuri por su ayuda y consejos.

1 Resumen

Las aves marinas son integradoras de procesos ecológicos en los ambientes marinos. Debido a su relación entre su historia natural y la energía del ecosistema algunas especies pueden ser utilizadas como bio-indicadoras. Este trabajo tiene como objetivo determinar la relación entre las características morfométricas en el zarcillo (*Larosterna inca*) y algunas variables de su medio ambiente como, la concentración de clorofila-a (chl-a) en el mar, la temperatura superficial del mar (TSM) y sus respectivas anomalías utilizando Modelos Aditivos Generalizados (GAM). Se colectó información de las medidas biométricas y el peso de las aves entre noviembre de 2013 y 2015 en islas del centro de Perú; y se construyeron índices de condición corporal (ICC), de asimetría de la pluma del zarcillo y del ala. Se encontró que a mayor TSM, concentración de chl-a y anomalía positiva de la chl-a, el ICC aumenta. Así mismo, se encuentra mayor índice de asimetría del ala cuando hay bajas concentraciones de chl-a, para la asimetría de la pluma del zarcillo se encuentra que aumenta con anomalías positivas de TSM. Es necesario seguir explorando las distintas variables que puedan estar relacionadas con la condición corporal y la asimetría de las plumas de estas y otras aves marinas en el SCH, y que estas puedan ser utilizadas como especies indicadoras de la disponibilidad y abundancia de alimento en el SCH bajo un enfoque ecosistémico.

Palabras Clave: Zarcillo (*Larosterna inca*), clorofila-a, temperatura superficial del mar, índice de condición corporal, asimetría corporal.

2 Abstract

Top predators, such as seabirds, are integrators of processes in marine ecosystems that can be indicator species because of the relationship between their natural history and the energy in the ecosystem. The aim of this thesis is to determine the relationship between morphometric characteristics in the Inca Tern (*Larosterna inca*), an endemic seabird of the Humboldt Current System (HCS), with chlorophyll-a (chl), sea surface temperature (TSM) and their anomalies using Generalized Additive Models (GAM). Information of biometric measurements and weight of the birds were recorded between November 2013 and 2015 in islands of Peru. With this information, body condition indexes (ICC) and asymmetry indexes for the mustache and wing feather were built. It was found that a higher TSM, chl-a and chl-a anomaly, the ICC increases. Likewise, the greater asymmetry of the wing is founded when there are low chl-a concentrations, the asymmetry of the mustache increases with positive TSM anomalies. It is necessary to continue exploring the different variables that may be related to body condition and the asymmetry of the plumage of these and other seabirds in the SCH, and that these can be used as indicators of the availability and abundance of food in the SCH under an ecosystem approach.

Palabras Clave: Inca Tern (*Larosterna inca*), chlorophyll-a, sea surface temperature, body condition index, body asymmetry.

Índice general

1. Resumen	
2. Abstract	
3. Introducción	4
4. Planteamiento de la Investigación	5
4.1. Planteamiento del Problema	5
4.2. Marco teórico	6
4.2.1. Ecosistema de la Corriente de Humboldt	6
4.2.2. Las aves marinas y la variabilidad ambiental	7
4.2.3. La asimetría como un indicador de condiciones ambientales	8
4.2.4. El zarcillo (<i>Larosterna inca</i>) como una potencial especie indicado- ra en el Sistema de la Corriente de Humboldt	11
4.3. Justificación	12
4.4. Objetivos	13
4.4.1. Objetivo principal	13
4.4.2. Objetivos específicos	13
4.5. Hipótesis	13

5. Metodología	14
5.1. Diseño del estudio	14
5.1.1. Población	14
5.1.2. Muestra	14
5.2. Consideraciones éticas	14
5.3. Procedimientos y técnicas	17
5.4. Operacionalización de variables	18
5.4.1. Índice de condición corporal (ICC)	18
5.4.2. Índices de asimetría	19
5.4.3. Variables ambientales	19
5.5. Plan de análisis	20
5.5.1. Relación entre el ICC y las variables ambientales	20
5.5.2. Relación entre asimetrías y las variables ambientales	21
6. Resultados	22
6.1. Relación entre el ICC y las variables ambientales	22
6.2. Relación entre los índices de asimetrías y las variables ambientales	33
7. Discusión	39
7.1. Relación entre las variables ambientales y el ICC	39
7.2. Relación entre las variables ambientales y el índice de asimetría del ala	40
7.3. Relación entre las variables ambientales y el índice de asimetría del zarcillo	41
7.4. El zarcillo (<i>Larosterna inca</i>) como una potencial especie indicadora en el Sistema de la Corriente de Humboldt	42
8. Conclusiones y recomendaciones	44
Bibliografía	46

Índice general

A. Fotos de los muestreos.	57
B. Tablas de resultados del cálculo del ICC con estructuras corporales.	62

3 Introducción

Los ecosistemas están organizados en comunidades de productores, consumidores y descomponedores juntos con los factores abióticos que influyen en los flujos de energía. La energía que es transformada en materia orgánica por los productores primarios es usada en procesos reproductivos, de crecimiento, de mantenimiento y de supervivencia a lo largo de la vida de los seres vivos [1]. Por ejemplo, en todas las aves, parte de la energía es usada para el desarrollo de las plumas; las cuales son importantes para funciones como el vuelo, la termorregulación y la selección sexual. [2]. En la mayoría de aves se da un recambio de las plumas de manera anual, o en intervalos más o menos frecuentes, en un proceso conocido como la muda del plumaje [3][4]. Sin embargo, debido a su alto costo energético [5], alteraciones en el desarrollo de las plumas pueden aparecer ante condiciones ambientales desfavorables [6][7]. Una de estas alteraciones es el crecimiento asimétrico, que puede traer consecuencias al reducir la maniobrabilidad durante el vuelo y, por lo tanto, reducir las posibilidades de sobrevivir u obtener alimento [8][9]. Estas respuestas a los cambios en las condiciones ambientales pueden ser usadas como indicadores de dichos eventos. El presente trabajo plantea encontrar asociaciones entre caracteres morfométricos externos del zarcillo (*Larosterna inca*), un ave marina endémica del sistema de la corriente de Humboldt, con algunas variables ambientales teniendo en cuenta que la alta variabilidad estacional e interanual de las condiciones oceanográficas del sistema de la corriente de Humboldt podría promover cambios en la condición corporal y la simetría del plumaje.

4 Planteamiento de la Investigación

4.1 Planteamiento del Problema

El manejo mono-específico de las pesquerías en ecosistemas marinos no ha proporcionado el marco necesario para asegurar su sostenibilidad [10][11]. La preocupación sobre el estado de los ecosistemas marinos y la sostenibilidad de las pesquerías ha llevado a apostar por un manejo ecosistémico, bajo un marco que integran factores económicos, sociales y ecológicos [12]. Es necesario la identificación de indicadores como puntos de referencia para el monitoreo del estado del ecosistema y de las actividades antropogénicas realizadas en él [13]. Depredadores como los mamíferos marinos y las aves marinas son integradores de procesos en los ecosistemas marinos [14][15]. En el ecosistema del mar peruano, donde existe una gran variabilidad ambiental, existen especies y grupos de organismos cuyas respuestas a esta variabilidad pueden ser usadas como indicadoras, sin embargo, el uso de aves marinas como indicadoras no ha sido muy explorado en el Perú [16]. Identificar la relación entre algunas características de la historia de vida de una especie de ave marina y las condiciones ambientales es necesario para poder considerar a una especie como indicador de cambios en el ecosistema y su potencial aplicación como una herramienta para el manejo en el marco del enfoque ecosistémico. Un ave poco estudiada es el zarcillo (*Larosterna inca*), el cual se presenta como una potencial especie indicadora debido a sus posibles respuestas biológicas a las variantes condiciones

ambientales. Por lo anteriormente expuesto, la pregunta de esta investigación es: ¿Cómo podemos utilizar a los zarcillos como indicadores de las condiciones ambientales? o, específicamente: ¿Qué características morfológicas de los zarcillos están relacionadas a las condiciones ambientales?

4.2 Marco teórico

4.2.1 Ecosistema de la Corriente de Humboldt

Mundialmente, existen diversos ecosistemas marinos, siendo unos de los más importantes y estudiados los sistemas de afloramiento costero debido a su gran productividad biológica, que está asociada a pesquerías económicamente importantes [17].

Uno de estos ecosistemas es el del Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) o Sistema de Afloramiento Peruano, el cual está ubicado en las costas occidentales de Sudamérica [18]. Este ecosistema tiene una enorme biomasa de peces pelágicos, compuesta casi en su totalidad por la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) [19][20], especie que sostuvo la pesquería comercial mono-específica más grande del mundo hasta fines de los años 60 [21], para luego dar paso a su colapso debido a la sobrepesca y a un evento El niño en los años 70. Estos eventos también tuvieron efectos negativos en la abundancia de los depredadores de la anchoveta peruana como son las aves marinas [22].

Al igual que muchos ecosistemas, el Sistema de Afloramiento Peruano está regido por una variación estacional. En el verano austral, los vientos del sur este y el afloramiento son débiles, esto convierte al Sistema de la Corriente de Humboldt más angosto y cercano a la costa, lo cual provoca que los peces asociados a este, como la anchoveta peruana, se encuentren más disponible para las pesquerías y las aves marinas, debido a la disminución de su hábitat. Durante el invierno, los vientos y el afloramiento son más

4. Planteamiento de la Investigación

fuertes, lo que ocasiona que el Sistema de la Corriente de Humboldt sea más ancho, provocando que los cardúmenes de peces asociados a aguas frías como la anchoveta se encuentren más profundos y dispersos, siendo menos disponibles para los depredadores superiores marinos y las pesquerías [23].

Además de esta variación estacional predecible, existe una variación interanual menos predecible, conocidos como la alternancia entre El Niño y La Niña. El Niño se caracteriza por la llegada de aguas calientes en el sistema lo que provoca un elevamiento del nivel del mar y aguas pobres en nutrientes, trayendo como consecuencia la disminución de la producción primaria [24] y una redistribución de organismo y, si el evento es intenso, alta mortalidad de organismos nativos del Sistema de la Corriente de Humboldt, como aves marinas[25]. El Sistema de la Corriente de Humboldt, en general, es particularmente variable en distintas escalas espaciales y temporales. Los organismos que habitan este y otros ecosistemas variables necesitan desarrollar una respuesta adaptativa a estos cambios en el tiempo y espacio [26].

4.2.2 Las aves marinas y la variabilidad ambiental

Las aves marinas, presentes en todos los océanos, presentan respuestas notorias a la variabilidad ambiental en aspectos reproductivos, alimenticios, comportamentales, etc. Estas respuestas ante los cambios ambientales pueden ser usadas como indicadores de dichas variaciones de las condiciones ambientales [12]. La variabilidad ambiental afecta la disponibilidad de presas para sus depredadores, la que se ve reflejada en las variaciones en su dieta [27]. En una escala decadal, se pudo observar un gran cambio en la dieta de *Morus bassana*; de especies asociadas a aguas calientes, como peces pelágicos pequeños y calamares, a una dieta asociada a aguas frías, como arenques, bacalao y salmones. Estos cambios coincidieron con una perturbación de aguas frías en el nor-oeste del atlántico

durante la década de los 90s [28].

Por otro lado, este cambio en la disponibilidad de las presas se puede ver reflejado también en aspectos reproductivos en las aves marinas. En el golfo de California, el pez pelágico predominante es la sardina del Pacífico (*Sardinops caeruleus*) y es un componente clave en la alimentación de aves, mamíferos marinos, pesquerías y otros peces. Al igual que muchos peces pelágicos pequeños, como la anchoveta peruana, la sardina del pacífico está influenciados por condiciones ambientales como El Niño, el cual se vio reflejado en el colapso del éxito reproductivo de las Gaviotas Plomizas (*Larus heermanni*) durante los años 1992 y 1998 en el golfo de California [29]. En otras especies, como en los pingüinos azules (*Eudyptula minor*), que habitan Nueva Zelanda, la influencia de los cambios en las condiciones ambientales que puede ocasionar La Niña se puede ver reflejada en el retraso en la fecha de inicio de puesta de huevos y en un pequeño aumento en la proporción de parejas que anidan dos veces al año [30].

Ejemplos del uso de las aves marinas en un manejo ecosistémico se puede ver en el Mar del norte. Cuando el éxito reproductivo de la gaviota tridáctila (*Rissa tridactyla*) cae bajo un nivel mínimo determinado, se cierra la pesquería de peces ammodítidos (Ammodytidae) en el sector del evento, la pesquería en dicho sector es abierta nuevamente una vez el éxito reproductivo de la gaviota tridáctila se recupera [31][32].

4.2.3 La asimetría como un indicador de condiciones ambientales

Un indicador poco estudiado de los efectos de perturbaciones que crean condiciones ambientales no favorables para los organismos es la asimetría. La asimetría es la pequeña desviación que ocurre entre el lado izquierdo y derecho de características bilateralmente

4. Planteamiento de la Investigación

simétricas[33], es ampliamente considerado como un proxy de stress ambiental y genético en muchas especies [34][35][36][37][38], ya que es considerado la herramienta más utilizada para estimar la estabilidad del desarrollo [39][40][41]. La capacidad de un organismo de producir un fenotipo adaptado a condiciones ambientales específicas es llamado la estabilidad del desarrollo [42], es decir las capacidades de un individuo de resistir las perturbaciones durante su crecimiento y desarrollo[41][43][44]. Se denomina inestabilidad del desarrollo a la tendencia de un sistema del desarrollo para producir cambios morfológicos como respuesta a las perturbaciones [45][43][44].

La principal idea de la asimetría como una medida de inestabilidad del desarrollo se basa en que ambos lados (derecho e izquierdo) de la característica bilateral se desarrollan bajo el control de un mismo genoma, que bajo condiciones óptimas logra la simetría [44][46][45]. Sin embargo, en el proceso natural del desarrollo de un organismo, casi siempre existen pequeñas perturbaciones (Inestabilidades del desarrollo) que afectan el desarrollo de la característica bilateral [47]. Como estas perturbaciones se producen en una pequeña parte del organismo, se espera que los efectos se acumulen de forma independiente en el lado izquierdo y derecho [45]. Esto quiere decir que la asimetría visible y cuantificable de los lados izquierdo y derecho de las estructuras morfológicas sería por tanto la expresión de las perturbaciones que se han acumulado durante el desarrollo de dicha estructura [6][47].

La asimetría ha sido utilizada para comparar los niveles de perturbaciones en poblaciones de organismos sometidas a una serie de factores abióticos tales como: temperaturas extremas, radiación, contaminación química, biológica o física, ya sea con enfoques experimentales en estudios en laboratorios o en el campo [6][48]. Por ejemplo: la asimetría del largo del ala de moscas se incrementa al ser sometidas a altas temperaturas [49], la asimetría de las aletas pélvicas del salmón del pacífico (*Oncorhynchus kisutch*) aumenta con temperatura fluctuante del agua [50], la asimetría de varias estructuras en la

4. Planteamiento de la Investigación

mostaza silvestres (*Sinapsis arvensis*) aumenta ante condiciones desfavorables de agua, nutrientes y luz [51] estos y otros ejemplos soportan la hipótesis que a niveles altos de estrés ambiental se observarían altos niveles de asimetría [52][53][54].

Sin embargo, otros estudios no han encontrado estas relaciones [55], haciendo que la hipótesis pierda consistencia. Además, cuando múltiples características son estudiadas, solo algunas muestran esta relación esperada [56]. La inconsistencia entre estudios podría tener múltiples razones, que pueden ser agrupados en: cuando las asociaciones no han sido detectadas cuando están presentes (error tipo I) y cuando fueron detectadas pero no estaban presentes (error tipo II). La primera razón en el error de tipo I es que las medidas están sujetas a un alto error de medición, segundo las variables ambientales medidas no difieren lo suficiente para generar la asimetría. Las siguientes razones tienen que ver con el tiempo, los efectos del ambiente sobre la simetría de una característica solo son visibles en una determinada ventana de tiempo y es muy probable que si estos afectan negativamente a los individuos, estos sean incompatibles con el ambiente y muera. En las razones del error de tipo II se centran en la presencia de endogamia en una población, además del error de medición, este error se da más en estudios de poblaciones naturales donde no hay control de la mayoría de variables [48].

Algunas estructuras que se pueden ver afectadas en aves son las plumas, trayendo consigo asimetrías en la muda del plumaje. De manera experimental, una limitación de alimento inducida puede traer crecimiento lento de las plumas [57] y un crecimiento asimétrica [6][7], normalmente cuando las aves mudan las plumas primarias, las mismas plumas en cada ala son reemplazadas al mismo tiempo, una característica mantenida por selección natural[58]. La muda asimétrica puede reducir la maniobrabilidad durante el vuelo [8][9].

4.2.4 El zarcillo (*Larosterna inca*) como una potencial especie indicadora en el Sistema de la Corriente de Humboldt

Los estudios relacionados al uso de aves marinas como indicadores en el Sistema de la Corriente de Humboldt en el Perú son muy pocos, y se reducen a tendencias poblacionales a lo largo de los años, en su mayoría sobre las poblaciones de las principales aves guaneras[16]. El zarcillo es un ave marina de pequeño tamaño que se reproduce en las costas peruanas y chilenas[59][60] y se alimenta principalmente de anchoveta [61]. Otras especies reportadas como dieta de zarcillo son el pejerrey (*Odontesthes regia regia*) y la múnida (*Munida* sp.)[60][62][63]. Son aves monógamas, forman parejas cada temporada y ambos sexos incuban el huevo y proveen de alimento al pichón [64][65]. Bajo condiciones estables tiene dos nidadas en un año dentro de un periodo reproductivo prolongado [61], con dos estaciones reproductivas definidas: en otoño (abril a junio) y primavera (octubre-diciembre), con picos en mayo y noviembre respectivamente [65]. Sin embargo, anomalías térmicas positivas de la temperatura superficial del mar pueden ocasionar un retraso en la iniciación de la estación reproductiva del zarcillo como lo observado en otoño de 1963 [66]. Eventos como El Niño pueden traer consecuencias no solo en el retraso en la iniciación de la estación reproductiva del zarcillo, como lo observado en Punta San Juan de Marcona en Ica, Perú (15 °21'S , 75 °11'O) en 1992[65], sino también la ausencia de las estaciones reproductivas como lo ocurrido durante eventos intensos como en 1998 [67]. Adicionalmente, El Niño puede llevar también a eventos de mortalidades de Zarcillos y otras aves marinas [67] o cambios en su distribución y dinámica poblacional [59][65]. En los zarcillos, los sexos son muy similares en apariencia, ambos exhiben elaborados ornamentos incluyendo un largo bigote blanco de plumas, llamado comúnmente zarcillo, y una carnosidad amarilla en la comisura del pico. Cambios en el

desarrollo del plumaje durante eventos El Niño o desfavorables para el zarcillo no han sido estudiados, solo se menciona que el largo del bigote o también llamado zarcillo fue más corto durante noviembre de 1998 [68]. Muy pocos datos existen sobre la muda del plumaje del zarcillo, sin embargo Zavalaga en 1997 sugiere que podría ser durante el verano austral [65], cuando el alimento es abundante y disponible y puede cubrir los altos requerimientos energéticos del crecimiento de nuevas plumas [69]. El bigote y la carnosidad amarilla se exhiben durante todo el año siendo el largo del zarcillo un buen signo de la condición corporal y que además está correlacionado con el éxito reproductivo de estas aves [68], pudiendo ser un buen indicador de las condiciones ambientales durante el desarrollo de dicha pluma.

4.3 Justificación

Una especie puede ser utilizada como indicador del ambiente si se comprueba una relación entre una de sus características y una del ambiente. En el ecosistema de la corriente de Humboldt existen aves marinas que pueden ser usadas como indicadoras, como lo demuestran estudios que han utilizado biologging [70]. Sin embargo, estas técnicas son solo utilizadas en aves guaneras durante la época reproductiva. Por otro lado, los zarcillos son aves marinas costeras de pequeño tamaño, por lo que pueden responder más rápido a cambios en las condiciones oceanográficas en una escala local que aves más grandes [71]. Adicionalmente, se reproducen durante gran parte del año con picos reproductivos en otoño y primavera bajo condiciones favorables para la disponibilidad de alimento [65]; bajo condiciones desfavorables, como en periodos El Niño, pueden responder con fallos en el comportamiento reproductivo, de forrajeo e incluso mortalidades [66][67]. Al ser forrajeadores de superficie son más vulnerables a cambios en la disponibilidad de alimentos influenciados por los cambios ambientales que pueden profundizar los cardúmenes

de peces [72]. Además, tienen una distribución a lo largo de toda la costa [61] y sus zonas de anidación y descanso son de fácil acceso. Por último, tienen ornamentos sexuales presentes a lo largo del año y en ambos sexos, relacionados a la condición corporal del ave y a parámetros reproductivos [68]; los cuales son potencialmente, junto con el índice de condición corporal, las características morfométricas indicadoras de las condiciones ambientales que la investigación busca obtener como respuesta a la pregunta central.

4.4 **Objetivos**

4.4.1 **Objetivo principal**

- Determinar la relación entre los cambios en las características morfométricas en el zarcillo con cambios en las condiciones ambientales.

4.4.2 **Objetivos específicos**

- Determinar un índice de condición corporal del zarcillo.
- Determinar un índice de asimetría de estructuras de plumas bilaterales (largo del zarcillo y largo del ala).
- Relacionar las asimetrías y la condición corporal del zarcillo con variables ambientales.

4.5 **Hipótesis**

- Las condiciones ambientales tienen consecuencias medibles en las características morfométricas de los zarcillos que pueden ser usadas como indicadores de dichas condiciones.

5 Metodología

5.1 Diseño del estudio

El estudio es de tipo explicativo, no experimental.

5.1.1 Población

El estudio se realizó en la Isla El Frontón ($12^{\circ}6'44.65''\text{S}$, $77^{\circ}10'55.32.^{\circ}$), Isla Pescadores ($11^{\circ}47'25.28''\text{S}$, $77^{\circ}12'42.59.^{\circ}$) e Islas Ballestas ($13^{\circ}43'58.92''\text{S}$, $76^{\circ}23'50.00.^{\circ}$) (Figura 5-1) entre Noviembre de 2013 y 2015.

Se tomaron en cuenta animales adultos, excluyendo las crías y juveniles.

5.1.2 Muestra

Se utilizó un muestreo por conveniencia, lográndose obtener las siguientes observaciones por muestreo mostradas en la Tabla 5-1:

5.2 Consideraciones éticas

El proyecto fue evaluado, registrado y aprobado por la Dirección Universitaria de Investigación, Ciencia y Tecnología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia bajo el

5. Metodología

código SIDISI 65222. Cuenta con permisos del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP) mediante las siguientes documentos: CARTA N° 205 - 2014 - SERNANP - RNSIIPG y CARTA N° 251 - 2015 - SERNANP - RNSIIPG.

Cuadro 5-1.: Número de salidas (Muestreos) y observaciones por muestreo para el Índice de Condicion Corporal (ICC) y las asimetrías corporales.

Número de salidas	Mes(año)	Lugar	Reproducción de la colonia	Número de observaciones
1	Nov(2013)	Pescadores	No	32
2	Abr(2014)	Frontón	No	18
3	Jul(2014)	Frontón	No	9
4	Nov(2014)	Pescadores	No	28
5	Mar(2015)	Frontón	Si	25
6	Abr(2015)	Frontón	Si	22
7	May(2015)	Frontón	Si	23
8	May(2015)	Ballestas	Si	31
9	Jul(2015)	Frontón	No	4
10	Jul(2015)	Pescadores	No	8
11	Ago(2015)	Frontón	No	9
12	Set(2015)	Pescadores	No	27
13	Nov(2015)	Pescadores	Si	31
Total de observaciones:				267

5. Metodología

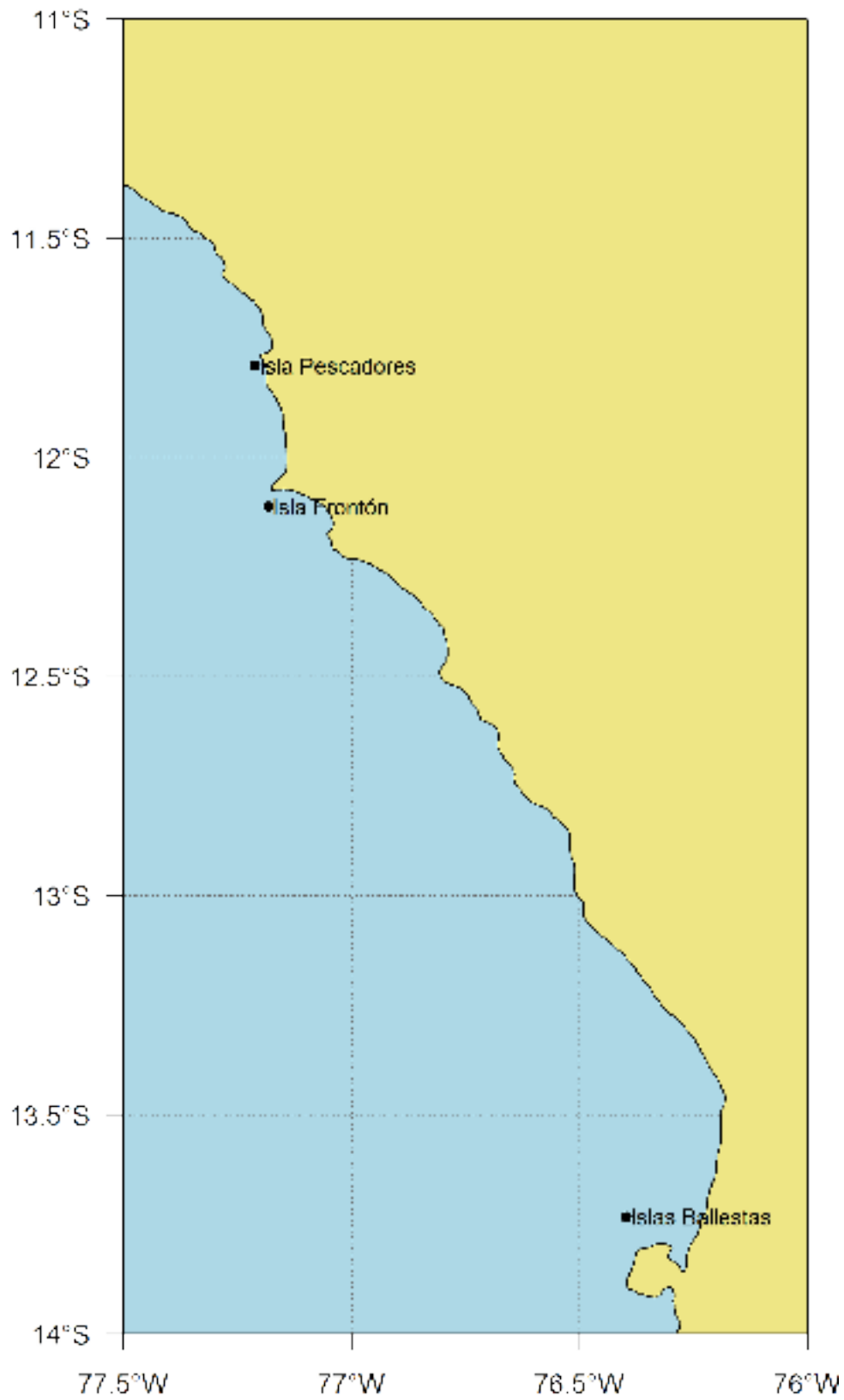


Figura 5-1.: Lugares de muestreo: Isla El Frontón ($12^{\circ}06'44.65''S$, $77^{\circ}10'55.32''O$), Isla Pescadores ($11^{\circ}47'25.28''S$, $77^{\circ}12'42.59''O$) e Islas Ballestas ($13^{\circ}43'58.92''S$, $76^{\circ}23'50.00''O$).

5.3 Procedimientos y técnicas

Se capturaron zarcillos mediante el uso de redes de niebla, colocadas en lugares estratégicos de tránsito de las aves, cerca de sus nidos (Figura **A-1**). Una vez caída un ave en la red de niebla, se procedió a desenredarla cuidadosamente (Figura **A-2**) y colocarla en una bolsa de tela, llevándola a la mesa de muestreo (un lugar cubierto del viento, sol y lluvia para disminuir el estrés en el ave) (Figura **A-3**). Una vez en la mesa de muestreo se procedió al pesado del ave en una balanza electrónica con la ayuda de un tubo de PVC para su inmovilización.

Luego se procedió a tomar las medidas biométricas siguientes con ayuda de un vernier electrónico (Figura **A-4**) y una regla de metal:

Medidas de características estructurales unilaterales:

- Largo de cabeza: desde el final del pico hasta el occipucio en el cráneo.
- Largo de culmen: desde el inicio del plumaje en la frente hasta el final del pico
- Ancho de culmen: desde la base del borde ventral de la mandíbula inferior al borde de la superior.

Medidas de características estructurales bilaterales:

- Largo del tarso x2 (Derecha e izquierda): desde la articulación entre la tibia y el metatarso hasta el borde inferior de la articulación del metatarso con el dedo medio del pie.

Medidas de estructuras de plumas bilaterales:

- Largo del ala x2 (Derecha e izquierda): desde el vértice flexor del ala hasta el extremo de la primaria más larga.

- Largo del zarcillo x2 (Derecha e izquierda): desde el inicio de la pluma hasta el extremo final.

Las medidas fueron apuntadas en una ficha de muestreo (Figura **A-7**). Luego de las medidas, se procedió a su liberación con un anillo plástico de identificación.

5.4 Operacionalización de variables

5.4.1 Índice de condición corporal (ICC)

Al tener datos de distintas medidas corporales y el peso, se decidió evaluar una variable común en estudios de aves, la condición corporal. Para evitar el efecto del tamaño del ave sobre el peso, se estimó el ICC de cada ave usando los residuos de la regresión ordinaria de mínimos cuadrados del peso del ave (expresada en gramos) con la medida de una estructura corporal (expresado en milímetros) [73]. En este estudio se utilizaron cuatro medidas distintas (largo de cabeza, largo del culmen, largo del tarso y ancho del culmen), las combinaciones entre ellas y los primeros componentes principales del análisis de componentes principales (ACP) de las cuatro estructuras corporales mencionadas. Por diseño, los residuos de la regresión ordinaria de mínimos cuadrados son calculados para evitar la correlación entre estos y los predictores (en este estudio las medidas de estructuras corporales que representan el tamaño del ave). Para este estudio se busca la relación entre la condición corporal y variables ambientales, por lo que otras variables como el efecto del estadio reproductivo sobre el peso del ave, se evitó eliminando los muestreos en los cuales la población se encontraba reproduciéndose (los muestreos número 5,6,7,8 y 13), por lo tanto solo quedaron muestreos en la isla Pescadores y Frontón. Detalles de las regresiones lineales pueden verse en la Tabla **B-1**

5.4.2 Índices de asimetría

Para determinar la asimetría de un individuo se procedió a calcular la relación entre las mediciones de cada lado de un individuo (derecho/izquierdo o izquierdo/derecho) [39]. Para lograr un índice que pueda ser comparable entre las estructuras, se procedió a dividir el valor mínimo entre el valor máximo de la estructura, de esta forma los individuos con valores de 1 son aquellos simétricos y los mas lejanos de 1 los que tienen mayor asimetría. Para este estudio se utilizaron estructuras conformadas por plumas (el zarcillo y el ala), debido a que estas cambian por lo menos una vez al año durante la muda del plumaje [3][4] y la alteración en el crecimiento de estas puede estar relacionado a las variables ambientales.

5.4.3 Variables ambientales

En aves marinas, como los gaviotines, la condición corporal está directamente relacionada a la abundancia y disponibilidad de alimento [74][75] y estas a su vez con las condiciones ambientales en las que se alimentan [76]. La anchoveta es uno de los principales alimentos del zarcillo [61], diversos trabajos han relacionado a la presencia y abundancia de anchoveta con variables ambientales como la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila-a [77][78][79].

Para el presente trabajo se utilizaron datos mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM; °C) y la concentración de clorofila-a (chl a; mg/m^3) entre el periodo de noviembre de 2012 a octubre de 2015, obtenidos mediante el satélite MODIS (resolución de 4 km.), para un área de 80 km alrededor de cada uno de los lugares de muestreo. Además, para cada variable ambiental se calculó su anomalía mensual en base a una climatología usando datos entre 2003 a 2014. El rango escogido se determinó bajo dos sustentos: el máximo rango de forrajeo para aves guaneras en el SCH es de 82.8 km.

para el pelícano peruano (*Pelecanus thagus*) [80], de 90.5 km. para el piquero peruano (*Sula variegata*) [81] y de 60 km. para el zarcillo (C.Zavalaga, datos sin publicar); para las áreas estudiadas, el radio de 80 km. pertenece a una zona donde en promedio, las variables ambientales se mantienen estables. Por lo que usar un rango de 80km para las variables ambientales se justifica.

5.5 Plan de análisis

La respuesta de la anchoveta y otros pequeños pelágicos a los condiciones ambientales tiende a ser no lineal y multivariada, por esta razón se optó por utilizar modelos aditivos generalizados (GAM) en este estudio [82][83][84].

5.5.1 Relación entre el ICC y las variables ambientales

Se realizó el GAM con las variables ambientales de un mes anterior al muestreo. Algunos autores sugieren utilizar a los gaviotines, como el zarcillo, como indicadores de la disponibilidad de alimento en periodos de tiempo cortos, de un mes a menos debido a que son aves pequeñas que se alimentan en la superficie[72][85]. En este estudio se buscan relaciones del ICC con las variables ambientales que influyen en la disponibilidad de alimento. Los GAMs fueron realizados con dos variables explicativas la TSM y la chl-a y la interacción entre ellas, usando una distribución gaussiana.

5.5.2 Relación entre asimetrías y las variables ambientales

No existen datos exactos sobre los patrones, duración y temporada de muda del zarcillo. Sin embargo, se sabe que las plumas primarias del ala, en gaviotines, crecen durante 6 a 9 meses [86], por lo que el GAM par el índice de asimetría del ala se realizó para el promedio, de cada anomalía de cada variable ambiental, de los 6 hasta los 9 meses antes del muestreo. Esto último debido a que no tenemos información sobre el mes de inicio de muda de cada individuo muestreado, por lo que se asume que el mes de muestreo es el último de la temporada de muda. Por otro lado, datos sobre la muda del zarcillo son inexistentes pero se asume que esta sometida a muda por lo menos una vez al año como cualquier otra pluma [3][4] por lo que el tiempo que demora en crecer podría ser desde un mes hasta 12 meses. Por esta razón, para el GAM del índice de asimetría del zarcillo se utilizó el promedio, de cada anomalía de cada variable ambiental, desde el primer mes hasta los 12 meses antes del muestreo. Los GAMs fueron realizados con dos variables explicativas, las anomalías de la TSM y la chl-a. Usando una distribución beta (valores entre 0 y 1).

6 Resultados

6.1 Relación entre el ICC y las variables ambientales

El ICC tiene una tendencia clara a aumentar con la TSM, con la chl-a y su anomalía para la mayoría de tipos de ICC calculados (Figuras **6-1,6-2,6-3,6-4,6-5,6-6,6-7,6-8,6-9,6-10,6-11,6-12,6-13,6-14,6-15,6-16,6-17**).

Las relaciones significativas con la TSM y la chl-a no son muy fuertes, tienen desviaciones explicadas entre 11.1 % y 20.8 % (Tabla **6-1**). Para el caso de las anomalías, las relaciones significativas son solo para la chl-a y la desviación explicada va desde 10 % a 16 % (Tabla **6-2**).

6. Resultados

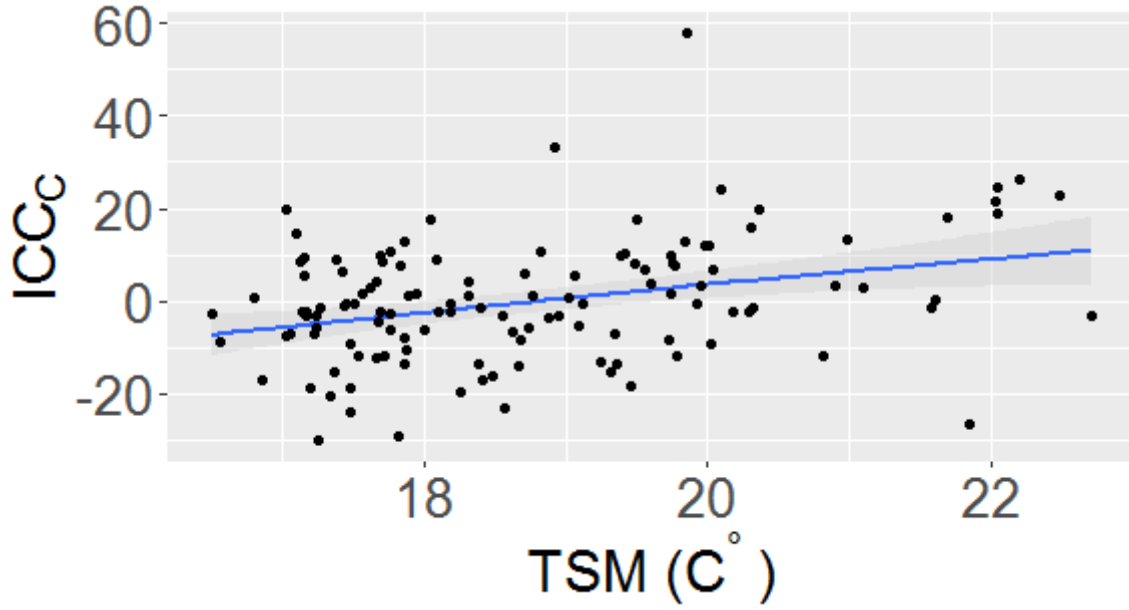


Figura 6-1.: Relación entre el ICC, usando el largo de cabeza como índice de tamaño, con la TSM ($^{\circ}\text{C}$).

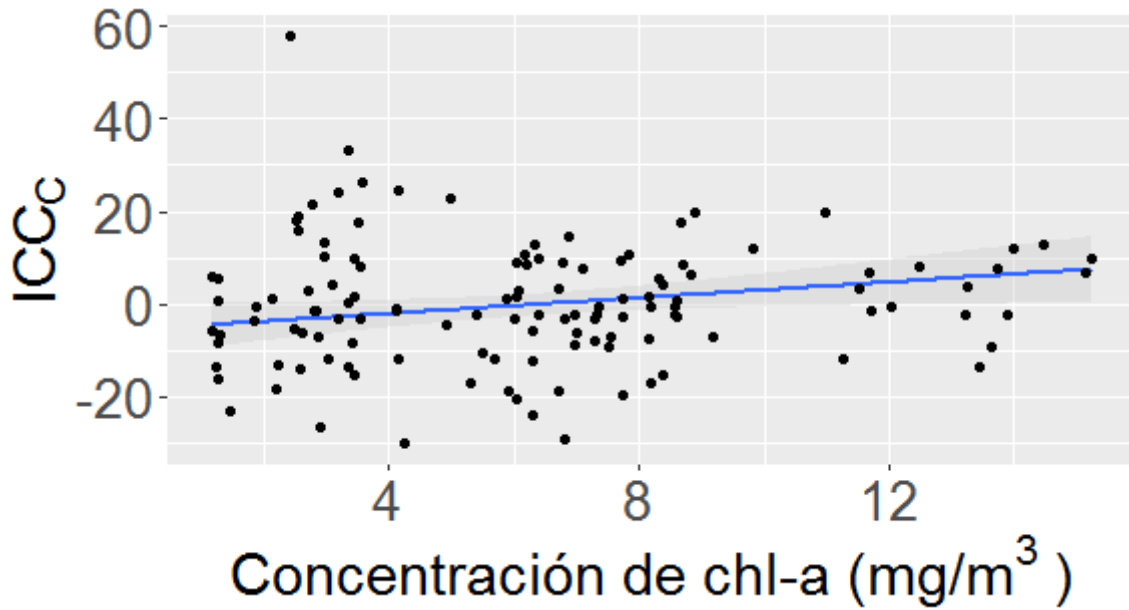


Figura 6-2.: Relación entre el ICC, usando el largo de cabeza como índice de tamaño, con la chl-a (mg/m^3).

6. Resultados

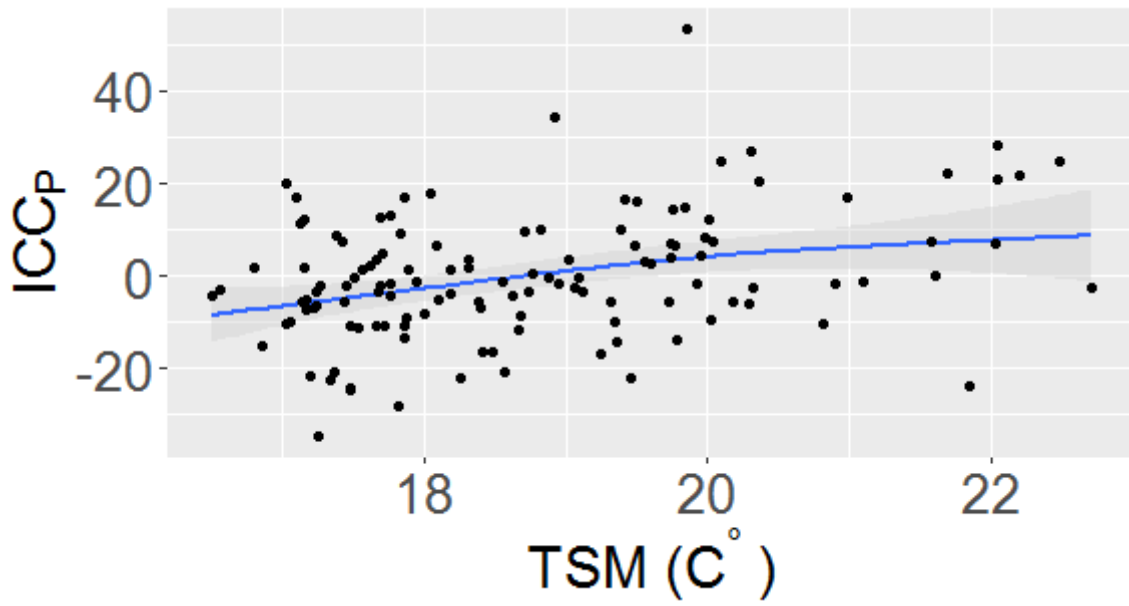


Figura 6-3.: Relación entre el ICC, usando el largo del culmen como índice de tamaño, con la TSM ($^{\circ}\text{C}$).

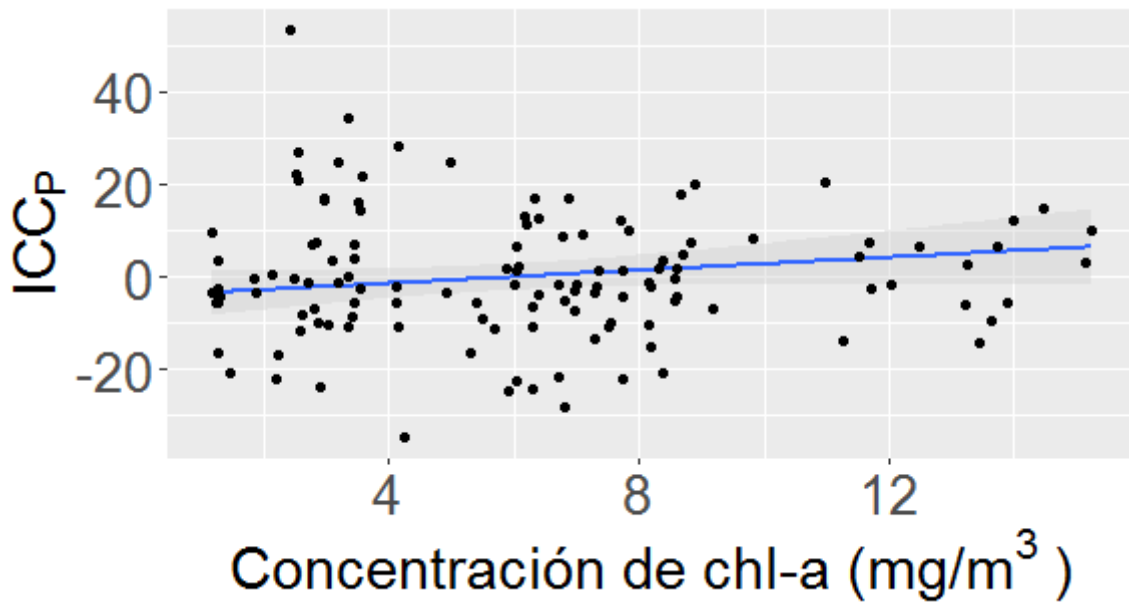


Figura 6-4.: Relación entre el ICC, usando el largo del culmen como índice de tamaño, con la chl-a (mg/m^3).

6. Resultados

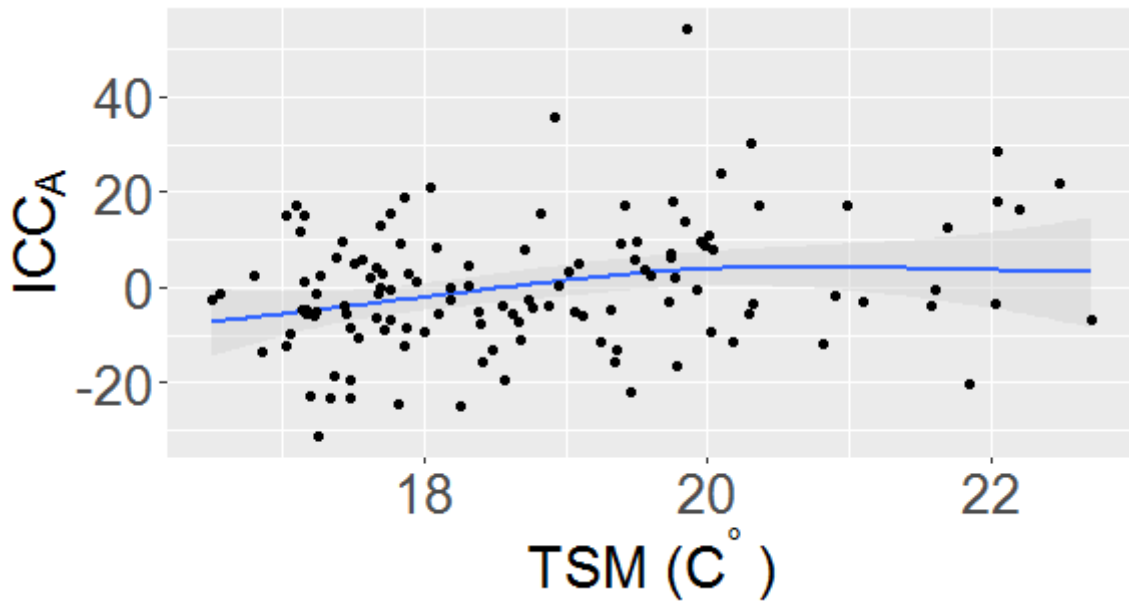


Figura 6-5.: Relación entre el ICC, usando el ancho del culmen como índice de tamaño, con la TSM ($^{\circ}\text{C}$).

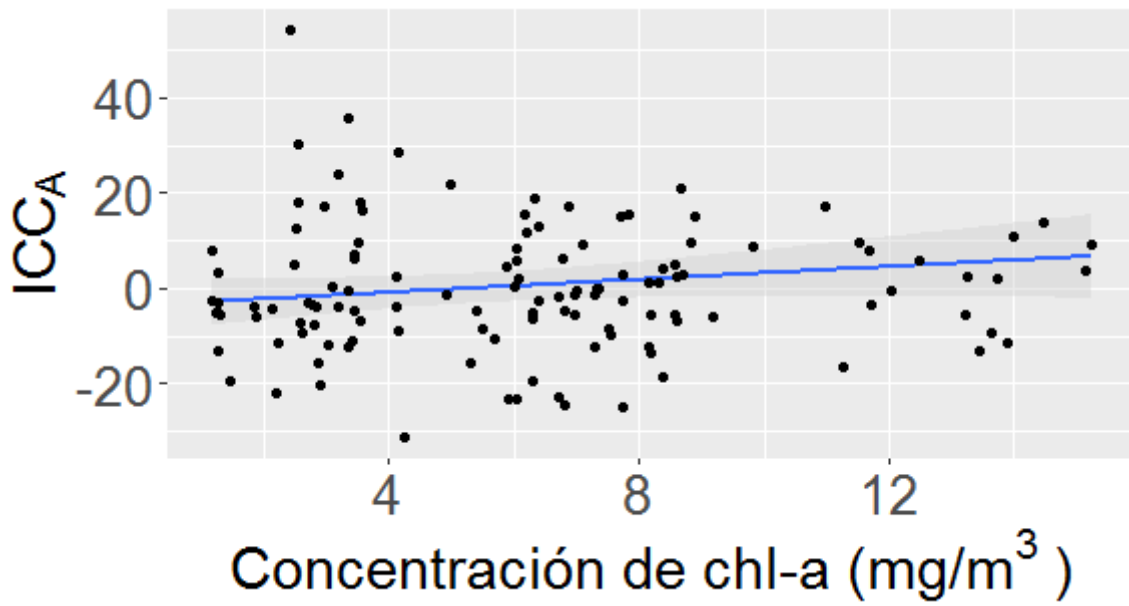


Figura 6-6.: Relación entre el ICC, usando el ancho del culmen como índice de tamaño, con la chl-a (mg/m^3).

6. Resultados

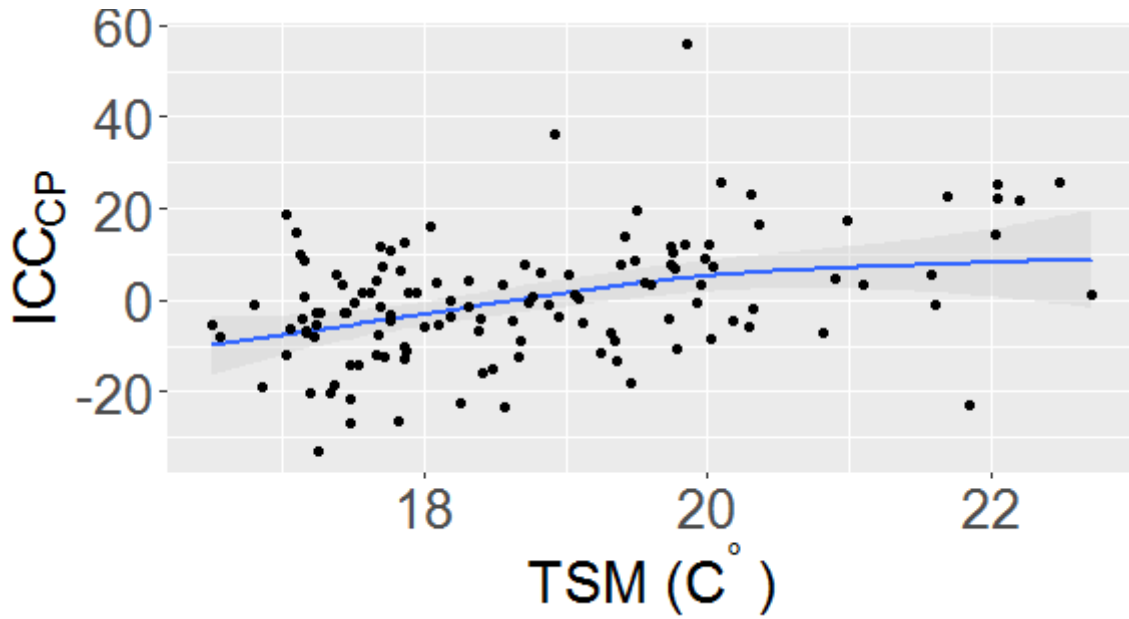


Figura 6-7.: Relación entre el ICC, usando el largo de cabeza y del culmen como índice de tamaño, con la TSM (°C).

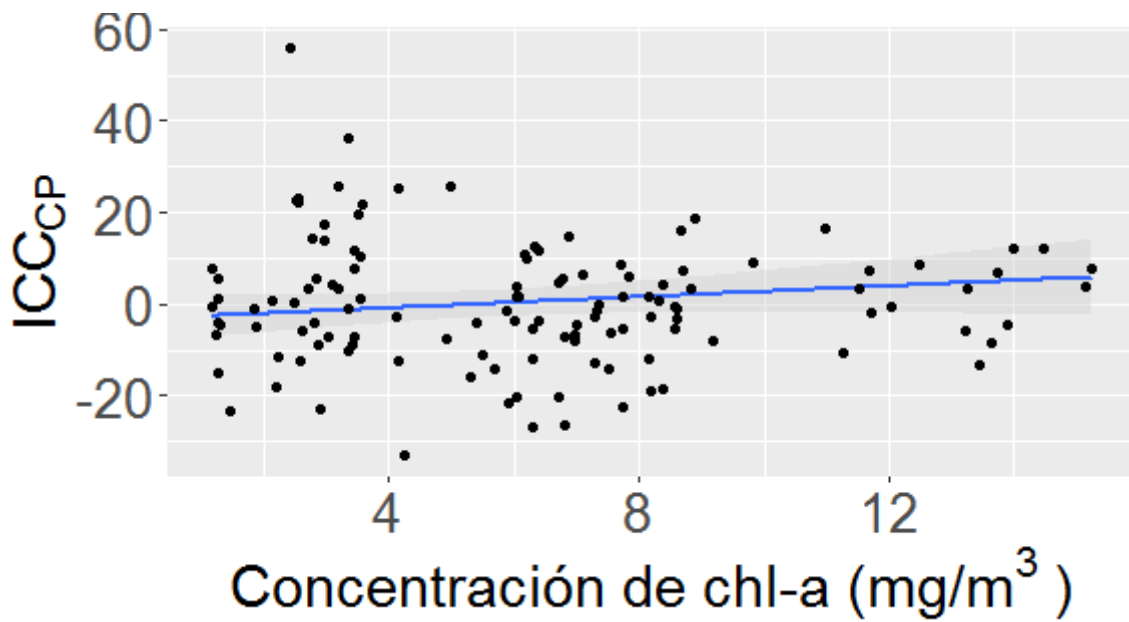


Figura 6-8.: Relación entre el ICC, usando el largo de cabeza y del culmen como índice de tamaño, con la chl-a (mg/m³).

6. Resultados

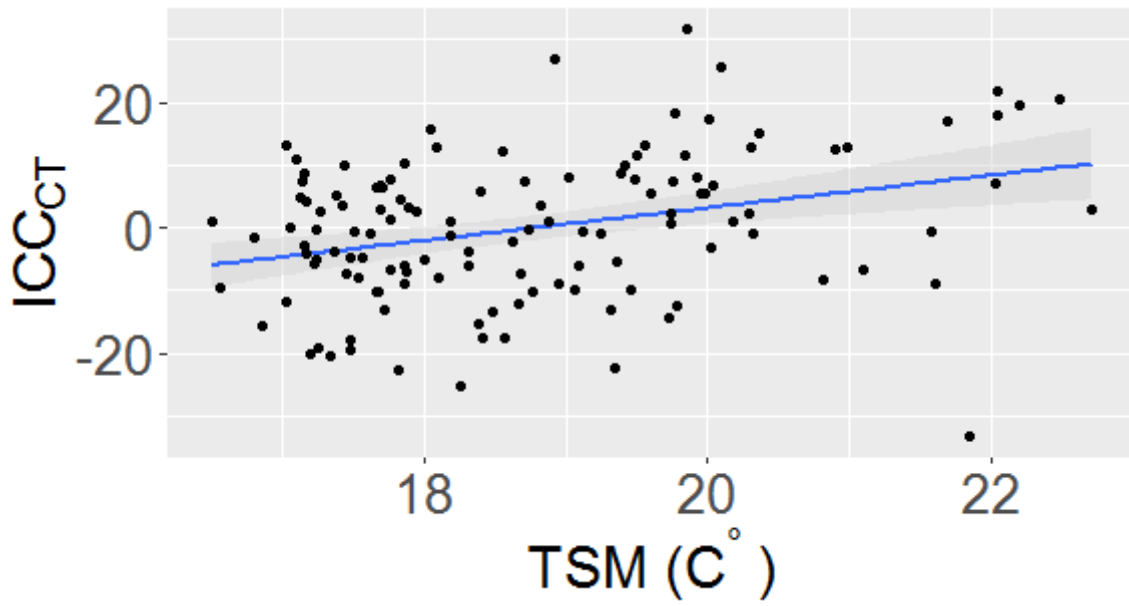


Figura 6-9.: Relación entre el ICC, usando el largo de cabeza y tarso como índice de tamaño, con la TSM (°C).

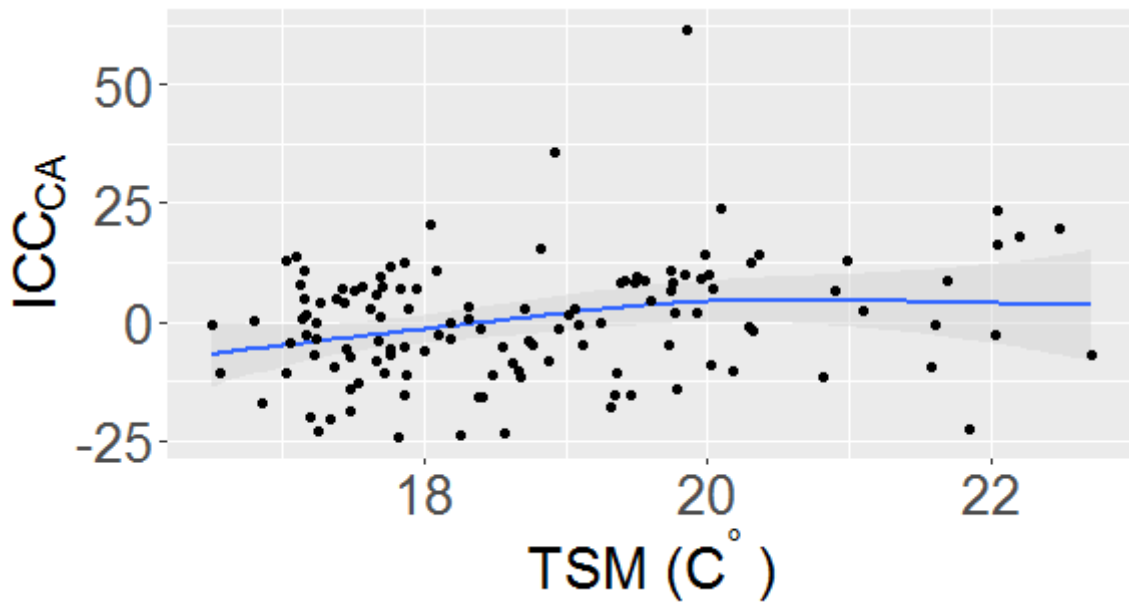


Figura 6-10.: Relación entre el ICC, usando el largo de cabeza y ancho del culmen como índice de tamaño, con la TSM (°C).

6. Resultados

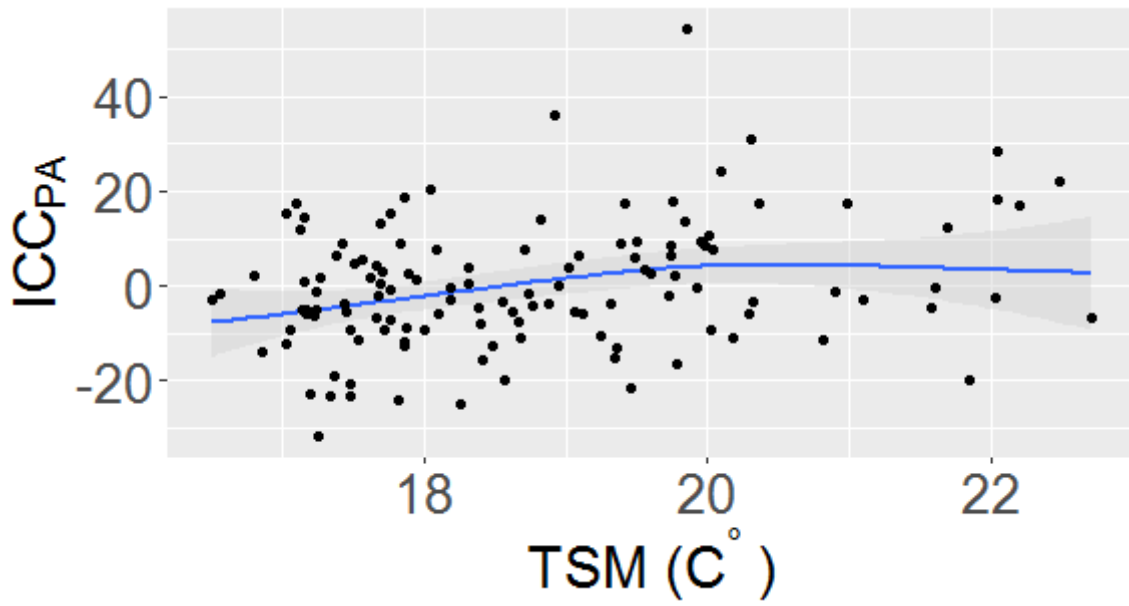


Figura 6-11.: Relación entre el ICC, usando el largo y ancho del culmen como índice de tamaño, con la TSM ($^{\circ}\text{C}$).

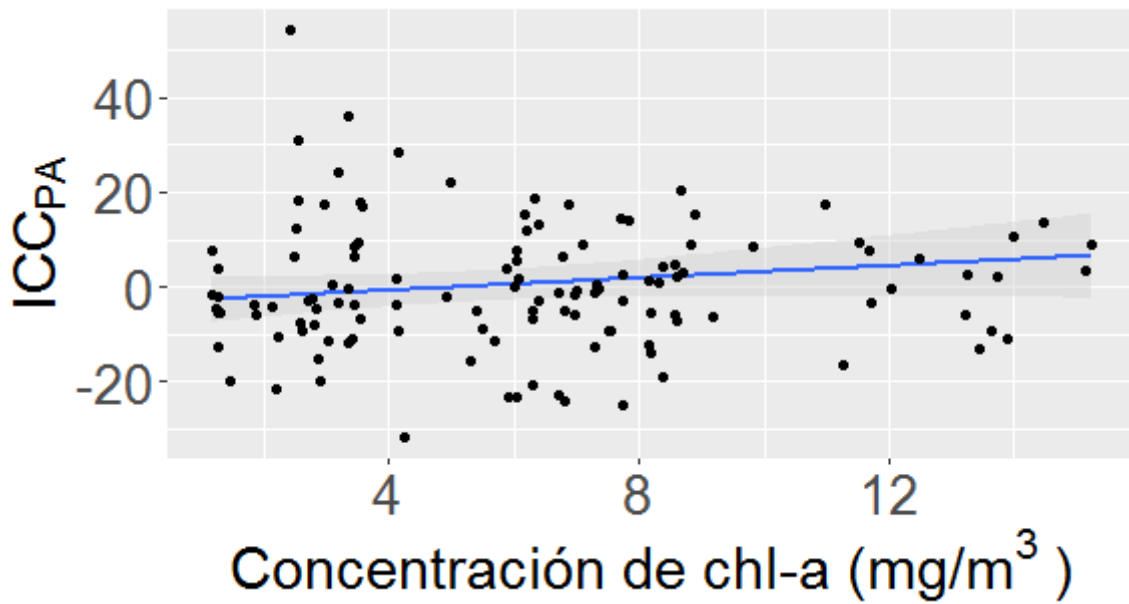


Figura 6-12.: Relación entre el ICC, usando el largo y ancho del culmen como índice de tamaño, con la chl-a (mg/m^3).

6. Resultados

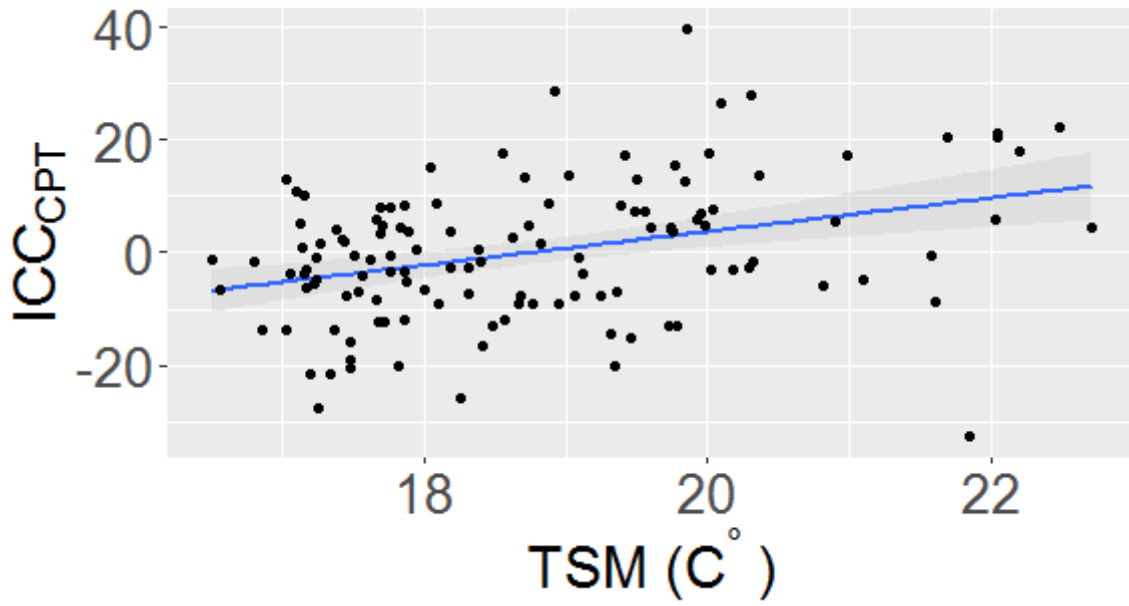


Figura 6-13.: Relación entre el ICC, usando el largo de cabeza, culmen y tarso como índice de tamaño, con la TSM (°C).

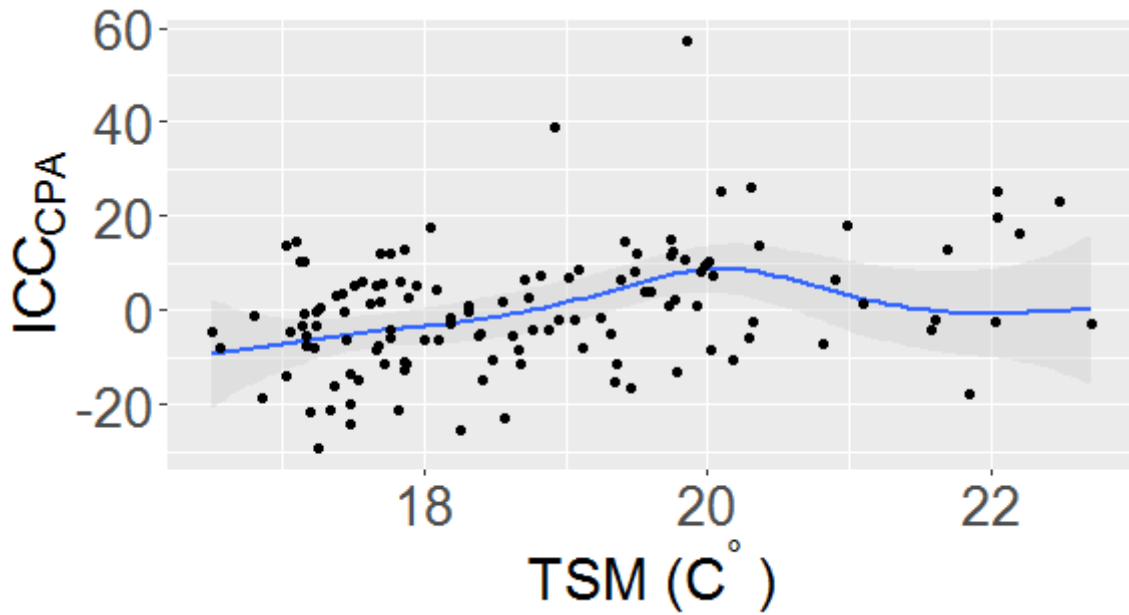


Figura 6-14.: Relación entre el ICC, usando el largo de cabeza y culmen, y ancho del culmen como índice de tamaño, con la TSM (°C).

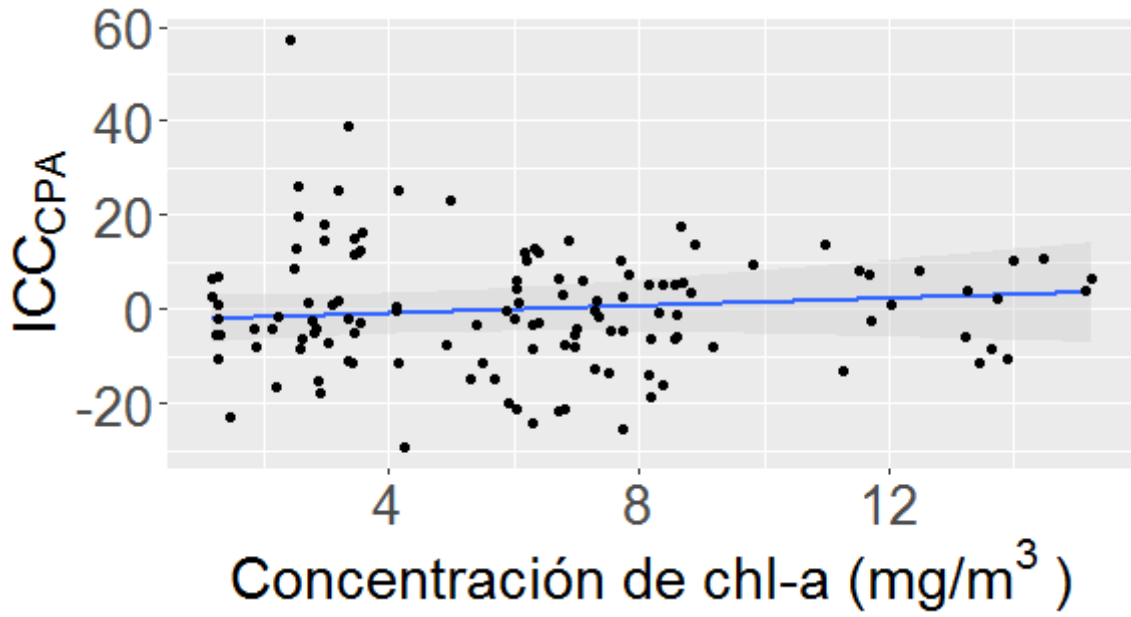


Figura 6-15.: Relación entre el ICC, usando el largo de cabeza y culmen, y ancho del culmen como índice de tamaño, con la chl-a (mg/m^3).

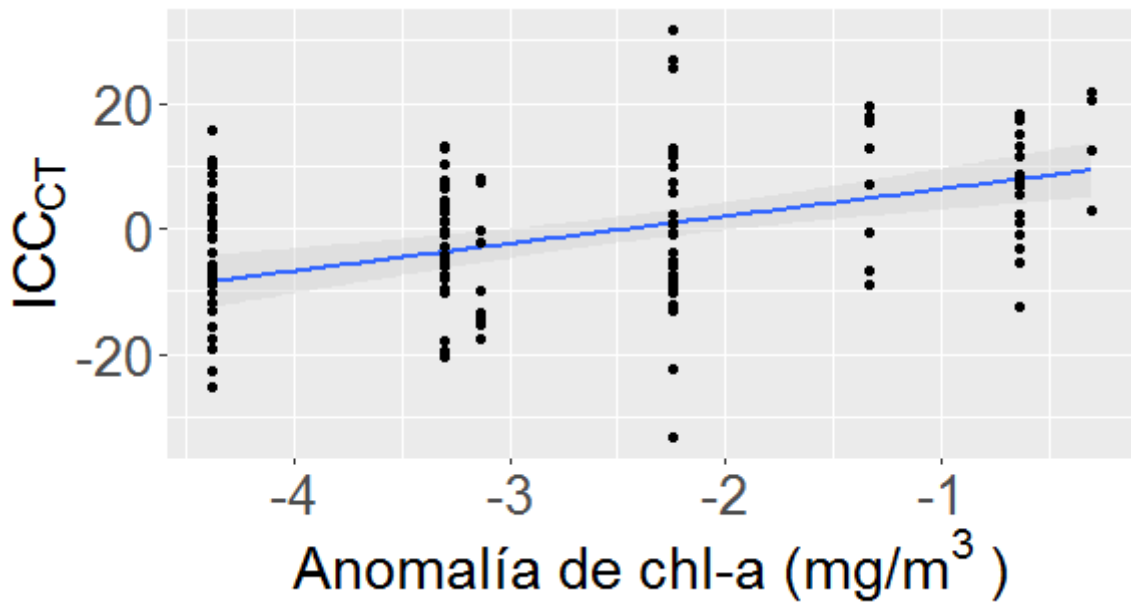


Figura 6-16.: Relación entre el ICC, usando el largo de cabeza y tarso, como índice de tamaño, con la anomalía de la chl-a (mg/m^3).

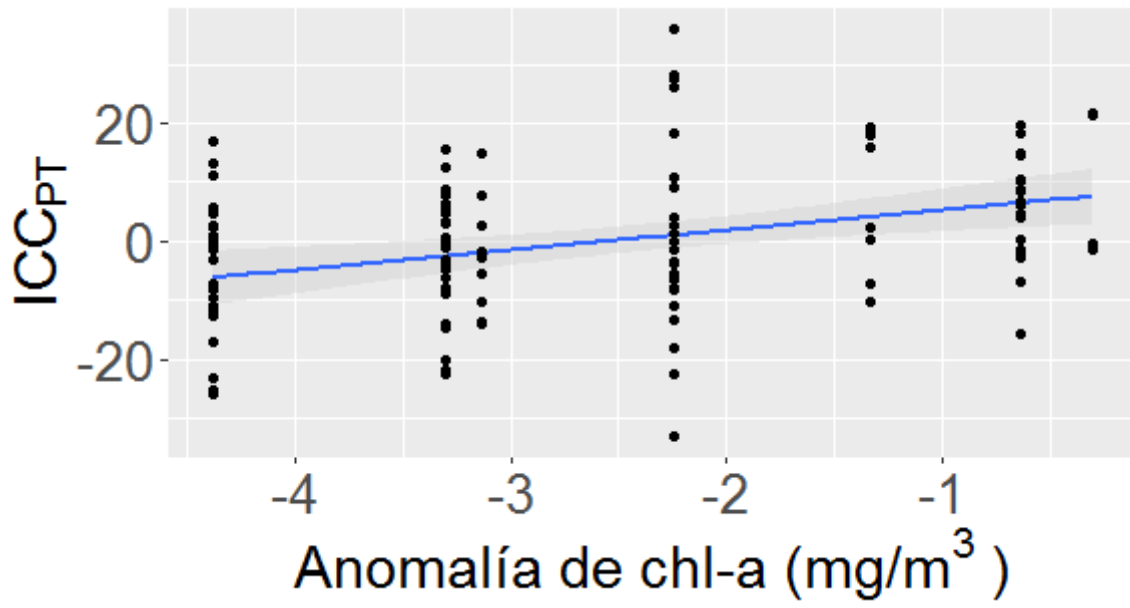


Figura 6-17.: Relación entre el ICC, usando el largo de culmen y tarso, como índice de tamaño, con la anomalía de la chl-a (mg/m^3).

6. Resultados

Cuadro 6-1.: Relación entre el ICC y las variables ambientales ,Model = $ICC \sim s(TSM) + s(chl) + TSM * chl$. Las relaciones significativas están en **negrita**. Peso (W), largo de cabeza (C), largo de culmen (P), largo de tarso (T) y ancho de culmen (A)

Tipo de ICC	TSM(F)	chl-a(F)	R-sq.(adj)	dev.exp(%)
$W \sim C$	11.77	61.6	0.14	16.1
$W \sim P$	7.46	55.91	0.14	16
$W \sim T$	3.6	5.36	0.08	10.6
$W \sim A$	3.82	45.5	0.08	11.2
$W \sim C + P$	6.72	59.3	0.18	20.8
$W \sim C + T$	5.13	11.1	0.12	13.6
$W \sim C + A$	3.15	3.48	0.08	11.1
$W \sim P + T$	3.42	6.43	0.08	9.81
$W \sim P + A$	3.76	46.21	0.09	12
$W \sim T + A$	2.16	3.02	0.04	6.7
$W \sim C + P + T$	4.37	5.79	0.11	12.9
$W \sim C + P + A$	2.83	54.6	0.15	19.8
$W \sim C + T + A$	2.93	6.17	0.06	8.15
$W \sim P + T + A$	2.13	4.62	0.03	5.69
$W \sim C + P + T + A$	1.83	4.17	0.06	9.11
$W \sim PC1 + PC2 + PC3$	2.18	3.14	0.06	7.7

6. Resultados

Cuadro **6-2.**: Relación entre el ICC y las anomalías de las variables ambientales ,Model $= ICC \sim s(aTSM) + s(achl) + aTSM * achl$. Las relaciones significativas están en **negrita**. Peso (W), largo de cabeza (C), largo de culmen (P), largo de tarso (T) y ancho de culmen (A)

Tipo de ICC	TSM(F)	chl-a(F)	R-sq.(adj)	dev.exp(%)
$W \sim C$	1.55	2.05	0.12	13.7
$W \sim P$	2.61	1.16	0.1	12.6
$W \sim T$	0.13	4.35	0.09	11.5
$W \sim A$	1.38	0.61	0.05	7
$W \sim C + P$	3.53	1.78	0.16	17.8
$W \sim C + T$	0.19	6.58	0.14	16
$W \sim C + A$.036	1.49	0.06	7.92
$W \sim P + T$	0.94	5.27	0.08	10
$W \sim P + A$	1.41	0.67	0.05	7.51
$W \sim T + A$	0.002	2.36	0.06	7.82
$W \sim C + P + T$	0.004	4.7	0.13	14.6
$W \sim C + P + A$	1.85	1.25	0.1	12.3
$W \sim C + T + A$	0.001	3.21	0.08	10.5
$W \sim P + T + A$	0.39	3.02	0.04	6.47
$W \sim C + P + T + A$	0.03	2.6	0.08	10.3
$W \sim PC1 + PC2 + PC3$	0.95	4.53	0.06	8.32

6.2 Relación entre los índices de asimetrías y las variables ambientales

Para el caso del índice de asimetría del ala, existen relaciones significativas para todos los promedios de las anomalías de las variables ambientales entre los meses 6 y 9 (Tabla **6-3**), sin embargo la relación no es clara. Excepto para el promedio de los 6 y 7 meses antes del muestreo, donde es clara que cuando la anomalía de la concentración de clorofila-a es negativa, existe mayor asimetría del ala (Figuras **6-18,6-19,6-20,6-21,6-22,6-23**).

6. Resultados

Cuadro 6-3.: Relación entre el índice de asimetría del ala y las anomalías de las variables ambientales. Model = $AsimAla \sim s(aTSM) + s(achl)$. Las relaciones significativas están en **negrita**.

Promedio de meses	TSM(chi.sq)	chl-a(chi.sq)	R-sq.(adj)	dev.exp(%)
6 meses	22.47	22.04	-0.29	-21.9
7 meses	72.51	8.53	-0.29	-22.2
8 meses	69.08	3.46	-0.27	-21
9 meses	39.28	2.59	-0.31	-23.3

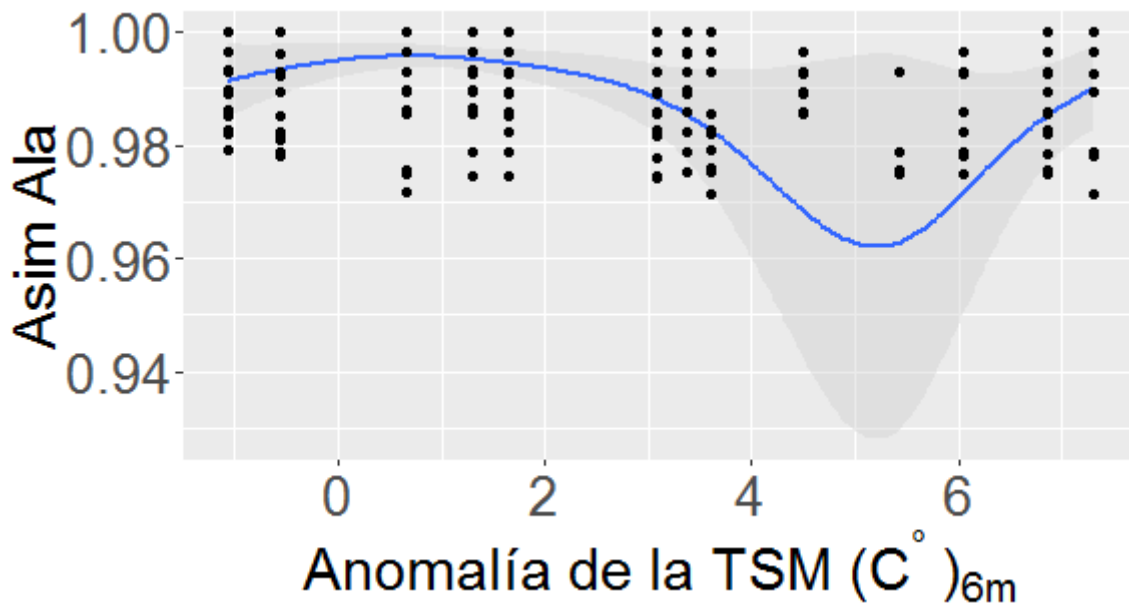


Figura 6-18.: Relación entre el Índice de asimetría del ala con el promedio de 6 meses antes del muestreo de la anomalía de la TSM (°C).

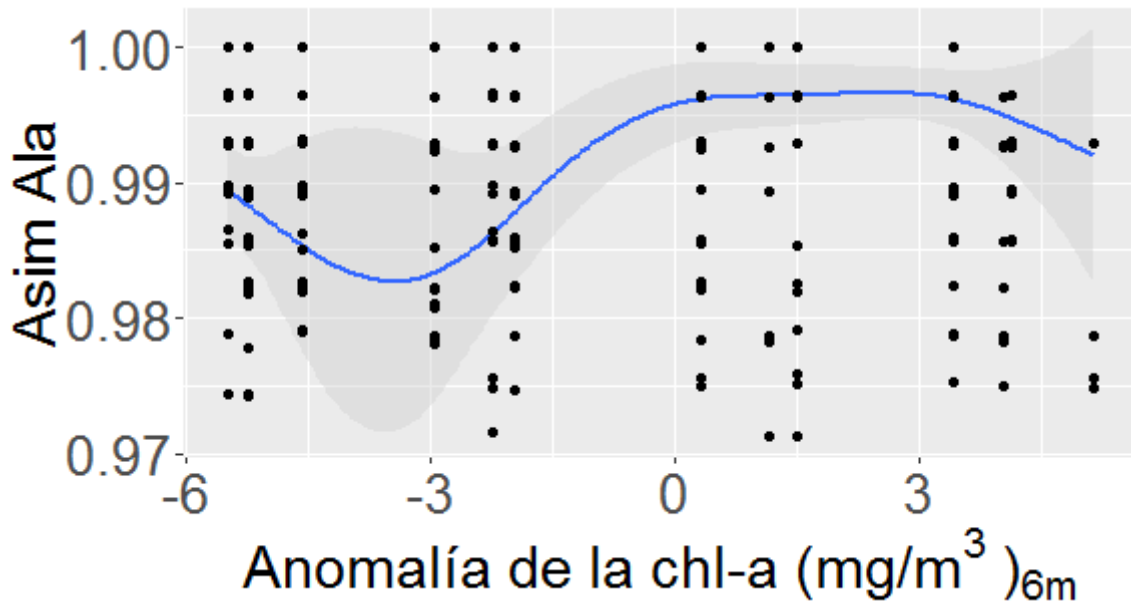


Figura 6-19.: Relación entre el Índice de asimetría del ala con el promedio de 6 meses antes del muestreo de la anomalía de la chl-a (mg/m^3).

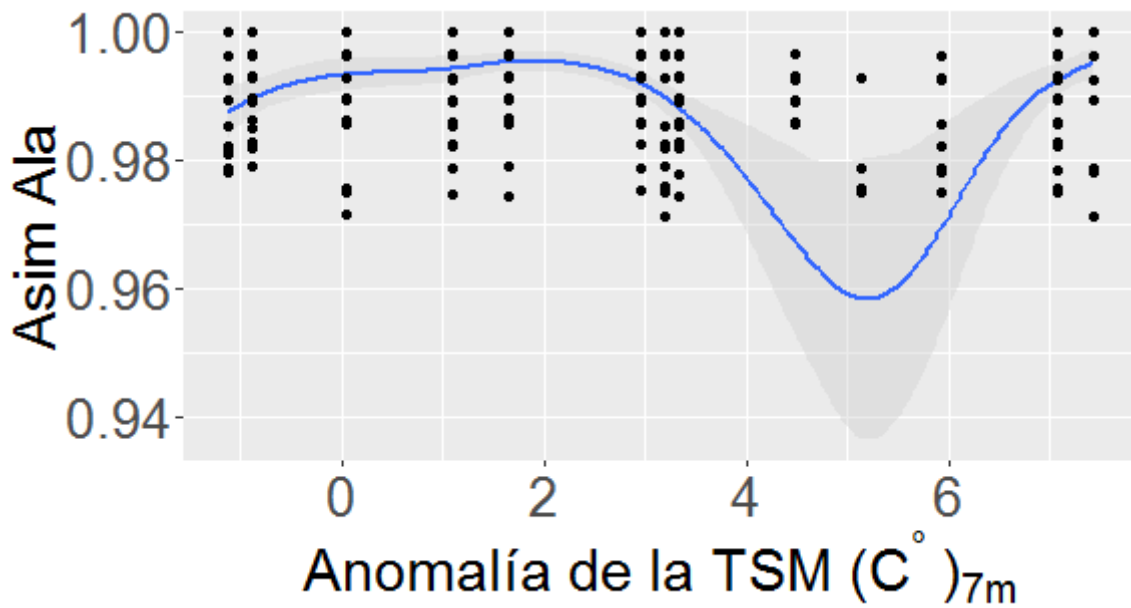


Figura 6-20.: Relación entre el Índice de asimetría del ala con el promedio de 7 meses antes del muestreo de la anomalía de la TSM ($^{\circ}C$).

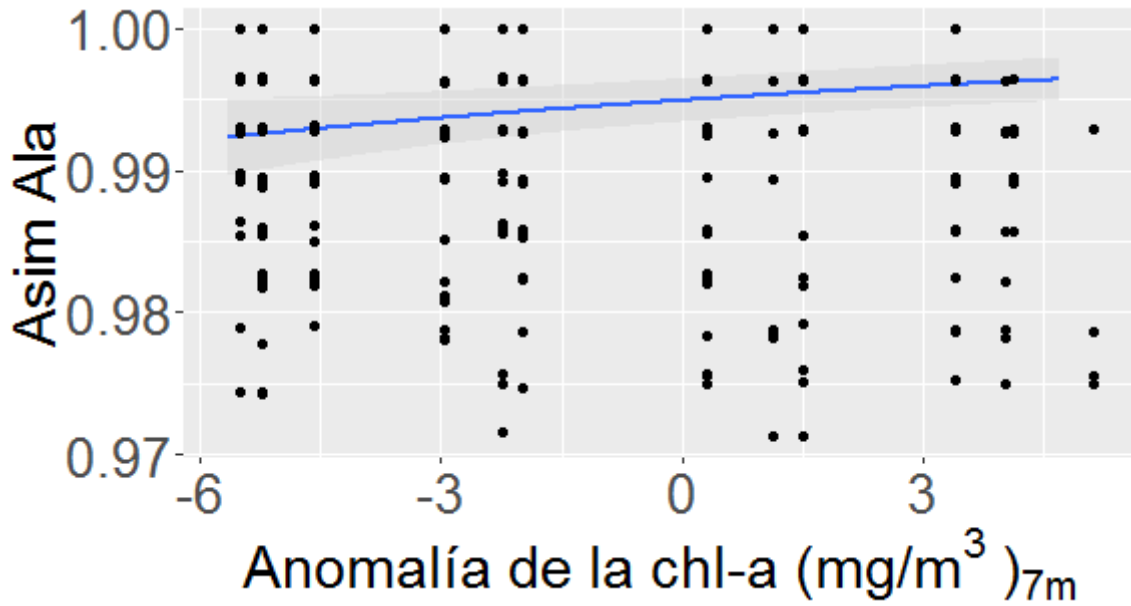


Figura 6-21.: Relación entre el Índice de asimetría del ala con el promedio de 7 meses antes del muestreo de la anomalía de la chl-a (mg/m^3).

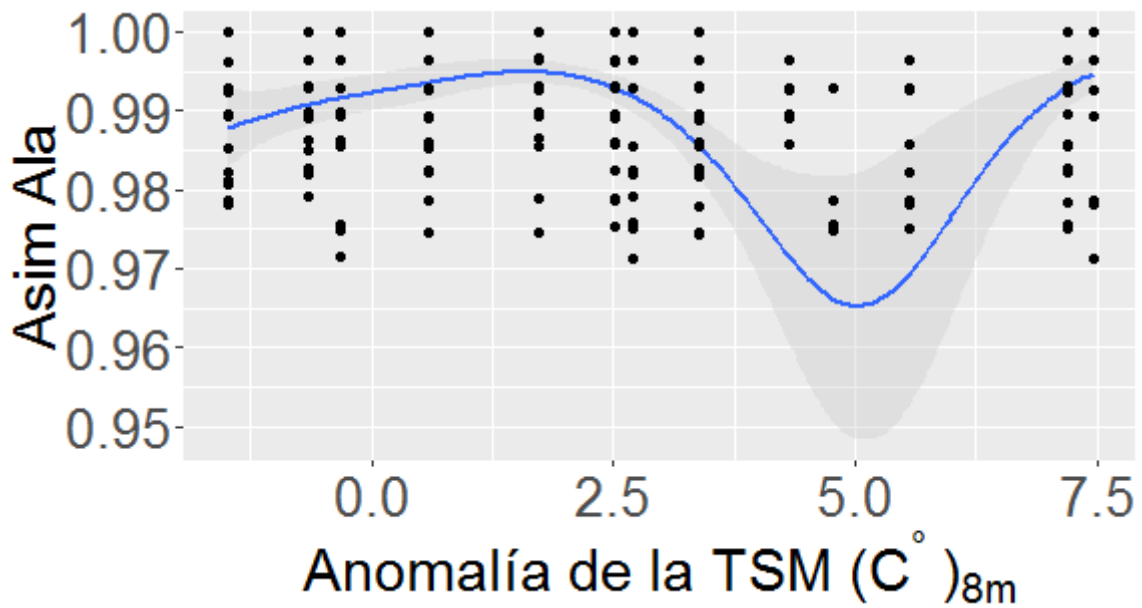


Figura 6-22.: Relación entre el Índice de asimetría del ala con el promedio de 8 meses antes del muestreo de la anomalía de la TSM.

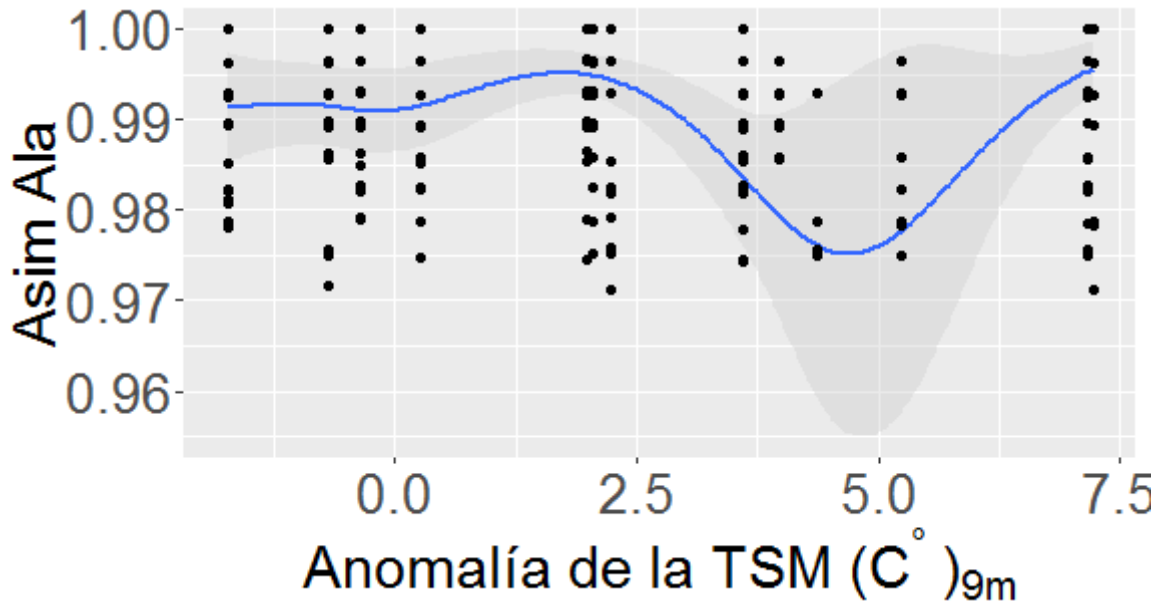


Figura 6-23.: Relación entre el Índice de asimetría del ala con el promedio de 9 meses antes del muestreo de la anomalía de la TSM.

Para el caso del índice de asimetría del zarcillo, solo tenemos relaciones significativas para el promedio de los 12 meses anteriores al muestreo (Tabla 6-4), donde se observa que cuanto mayor es la anomalía de la TSM es mayor la asimetría del zarcillo (Figura 6-24).

6. Resultados

Cuadro 6-4.: Relación entre el índice de asimetría del zarcillo y las anomalías de las variables ambientales. $\text{Model} = \text{AsimZar} \sim s(aTSM) + s(achl)$. Las relaciones significativas están en **negrita**.

Promedio de meses	TSM(chi.sq)	chl-a(chi.sq)	R-sq.(adj)	dev.exp(%)
1 meses	2.95	8.38	-0.01	-3.14
2 meses	1.16	0.48	-0.01	-0.62
3 meses	1.08	3.98	-0.04	-1.8
4 meses	5.29	8.43	-0.05	-4.93
5 meses	0.68	0.31	-0.02	-0.78
6 meses	0.13	1.12	-0.02	-0.9
7 meses	0.22	0.33	-0.01	-0.68
8 meses	0.02	3.97	-0.02	-1.93
9 meses	0.09	7.86	-0.04	-2.52
10 meses	1.63	7.95	-0.05	-2.65
11 meses	7.55	5.12	-0.03	-4.18
12 meses	9.91	6.7	-0.03	-4.88

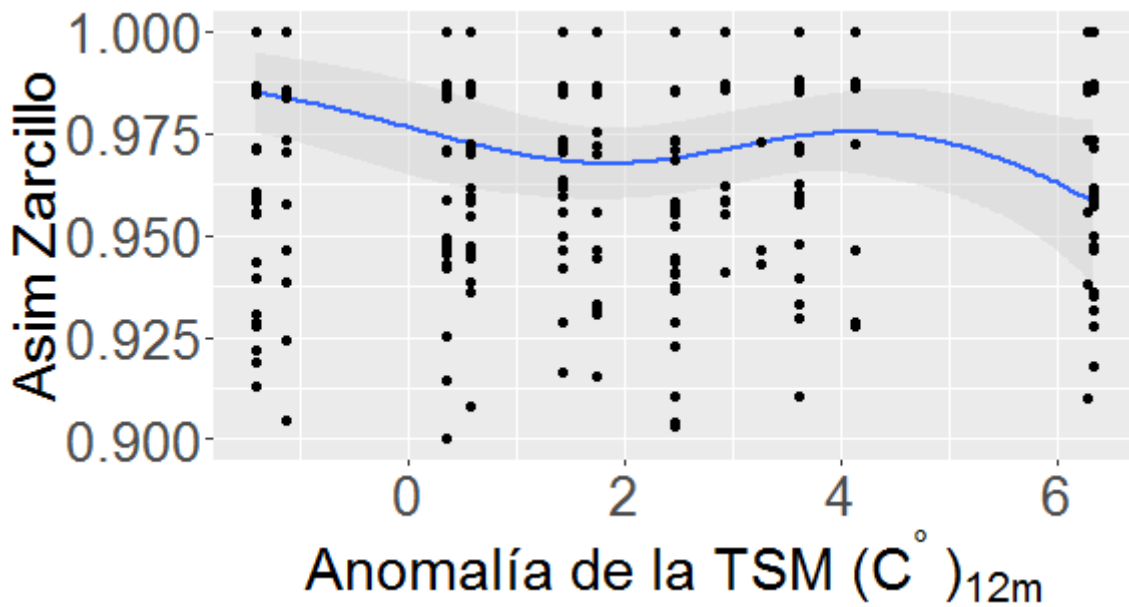


Figura 6-24.: Relación entre el Índice de asimetría del zarcillo con el promedio de 12 meses antes del muestreo de la anomalía de la TSM.

7 Discusión

7.1 Relación entre las variables ambientales y el ICC

Es clara la relación positiva entre el ICC con la TSM usando cualquiera de los tipos de ICC. Esta relación no era esperada sin embargo se podría explicar por lo siguiente: La anchoveta, uno de los principales alimentos del zarcillo [61][60][62][63], es abundante y se alimenta exitosamente en masas de agua fría costera entre 14 a 23 °C [77]. Una adaptación de la anchoveta bajo condiciones cálidas, como las presentadas durante el periodo de estudio, es la capacidad de refugiarse en masas de aguas frías costeras que se forman cercanos a la costa [87]. Bajo estas condiciones, las anchovetas se encuentran más disponible para las aves marinas en comparación a condiciones mas frías [88], se pudo observar a los zarcillos con anchovetas como presas durante muestreos con anomalías de TSM positivas (Figura **A-5**). Durante muchos de estos muestreos se observó también la presencia de múnida (Figura **A-6**) como presa de los zarcillos, la cual está asociada con los cardúmenes de anchoveta en la zona mas fría de su nicho ecológico [77], lo que refuerza la idea de que los zarcillos aprovechan en usar estas masas de aguas frías costeras para alimentarse de anchoveta y múnida durante eventos cálidos.

Otro factor que podría influenciar en el incremento del ICC cuando la TSM es alta es el valor energético del alimento. Sin embargo, durante los episodios de mayor temperatura

en el periodo estudiado se ve que la anchoveta tiene parámetros reproductivos mas bajos de lo normal y su condición corporal también es baja [89].

La relación positiva entre la presencia y abundancia de anchoveta y múnida con la concentración de clorofila-a ha sido descrita en trabajos anteriores [77] [78]. Esta relación moderada también se ve reflejada con la ICC en los resultados de este trabajo. Si bien la relación directa entre la clorofila-a y el ICC no se ha reportado en otros estudios en aves del SCH, la relación indirecta mediante la disponibilidad de alimentos [76], influenciada también por las variables ambientales, como la temperatura superficial del mar, ha sido descrita ampliamente para gaviotines [74][75] y otras aves marinas pequeñas consumidoras de superficie [90][91] en otras zonas del mundo.

Con respecto a cual seria la mejor medida estructural para un ICC, podríamos decir que cualquiera puede ser usada. Si bien hay algunas con relaciones mas fuertes que otras, aún es necesario validar cual de estas estructuras tiene relación con el almacenamiento de energía en el cuerpo de los zarcillos [73].

7.2 Relación entre las variables ambientales y el índice de asimetría del ala

En el caso de la asimetría del ala vemos lo esperado, ante condiciones ambientales desfavorables, como una anomalía negativa de la concentración de clorofila, es mayor la asimetría de esta estructura.

Sin embargo, las relaciones son débiles, con varianzas explicadas entre -21.9 % a -26.5 % (Tabla **6-3**). Esto puede ser debido a que estructuras importantes para la supervivencia y para la obtención de comida, como las plumas primarias del ala, no son tan afectadas por condiciones ambientales adversas, en comparación a otras. Es muy probable que el zarcillo asigne energía a mantener la simetría de las plumas primarias del ala ante

eventos ambientales desfavorables. Lyons 2011 [57], sugiere que los Charranes del Caspio (*Hydroprogne caspia*), gaviotines como el zarcillo, son capaces de asignar la energía al crecimiento de las plumas durante condiciones de limitación de alimento. Esta capacidad ha sido descrita en otras especies de aves y se cree refleja los beneficios de la capacidad de volar [92][93]. Sin embargo en este trabajo si se vieron afectadas por baja concentración de clorofila-a; pero, a corto plazo, parece que no interfirieron en la capacidad de obtención de alimento (como se ve reflejado en la relación del ICC).

7.3 Relación entre las variables ambientales y el índice de asimetría del zarcillo

A diferencia del ICC, en los índices de asimetría del zarcillo, se puede observar que, cuando hay anomalías positivas de la TSM, aumenta lo asimetría de esta estructura. Lo cual nos hace pensar que a corto plazo, los zarcillos se benefician de estas condiciones gracias al comportamiento de su principal alimento. Pero en un largo plazo, a lo largo de los meses de crecimiento del plumaje, se ve que las plumas que conforman el zarcillo son sensibles a estos cambios.

Los zarcillos son considerados ornamentos sexuales [68], según la teoría, deberían mostrar alta asimetría ante condiciones ambientales desfavorables, y por ende ser más sensibles a estas [94][95] en comparación a otras características. En este trabajo se pudo ver claramente el efecto de condiciones desfavorables, como anomalías cálidas de temperatura superficial del mar, sobre la simetría de esta estructura.

7.4 El zarcillo (*Larosterna inca*) como una potencial especie indicadora en el Sistema de la Corriente de Humboldt

Identificar indicadores para un manejo ecosistémico puede ser una de las tareas más importantes para lograrlo, estos indicadores deben incluir asociaciones cuantificables con las pesquerías, el cambio climático y la variabilidad ambiental [13]. En este estudio se ha podido determinar que existen relaciones débiles entre el ICC y las asimetrías con la variabilidad ambiental del SCH. Sin embargo, es necesario determinar la efecto de otras variables explicativas no exploradas como ejemplo las pesquerías. Sabemos que las pesquerías en el SCH, pueden afectar, a corto plazo, el comportamiento de forrajeo de aves guaneras [81] y a largo plazo, la abundancia de estas; debido a que pesquerías y aves marinas compiten por las mismas presas[96]. Es decir, las pesquerías en el SCH alteran la cantidad de energía que puede ingresar en un ave, además el ave requiere mayor energía para buscar un alimento menos abundante. Es decir, los zarcillos, además de estar afectados por los cambios ambientales como se ha visto en este estudio, es muy probable que también muestren relaciones, en las variables exploradas y otras, con las actividades extractivas de las pesquerías en el SCH.

Para poder determinar efectos del cambio climático sobre los zarcillos, es necesario estudios a largo plazo. Sin embargo, algunos datos sobre la dinámica de las poblaciones [59][65] y alteraciones en parámetros reproductivos de los zarcillos durante eventos de El Niño [67][65][66], nos podrían dar indicios que el cambio climático podría alterar parámetros biológicos en estas aves. Otro parámetro importante para estudios a largo plazo de cambios climáticos son los cambios en la dieta de las aves [28][97], los gaviotines como el zarcillo tienen llevan presas en el pico a sus colonias, por lo que estudios

7. Discusión

sobre diversidad de presas son posibles sin tener que manipularlos. Algo que aporta esta investigación al inicio de este tipo de estudios en el zarcillo en el SCH es que todos los animales manipulados han sido anillados, teniendo un total de 350 individuos en 3 islas entre adultos, juveniles y pichones, por lo que estudios de estas poblaciones con individuos conocidos es ahora posible.

Estas relaciones que podrían ser encontradas entre el zarcillo, u otras aves marinas del SCH, con las condiciones ambientales y la presencia y abundancia de presas podrían ser usadas para predecir parámetros pesqueros en el SCH. Por ejemplo, el esfuerzo por unidad de muestreo en la pesquería de sardinas en el golfo de california es predicho por un modelo basado en la proporción de sardinas en la dieta de charranes elegantes (*Sterna elegans*), el éxito reproductivo de las gaviotas mexicanas (*Larus heermanni*) y la anomalía de la TSM [29].

8 Conclusiones y recomendaciones

Este trabajo es uno de los primeros que, de manera cuantitativa, provee información para utilizar a las aves marinas como indicadores en el Sistema de la Corriente de Humboldt. Siendo esta la primera vez que se explora la relación entre la temperatura superficial del mar y la clorofila-a con la condición corporal y los índices de asimetría de un ave marina en el Sistema de la Corriente de Humboldt.

Respondiendo a la pregunta de investigación de este estudio: ¿Cómo podemos utilizar a los zarcillos como indicadores de las condiciones ambientales? o, específicamente: ¿Qué características morfométricas de los zarcillos están relacionadas las condiciones ambientales?. Bajo las condiciones en las que se llevó a cabo el presente estudio, podemos responder de la siguiente manera:

- La relación positiva entre el ICC con la temperatura superficial del mar, la clorofila-a y su anomalía; convierten a este índice en un posible indicador, a corto plazo, de la disponibilidad de alimento. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta otras variables que puedan alterar el peso del ave, como las variables reproductivas del ave, la calidad del alimento y el comportamiento de forrajeo bajo distintas condiciones ambientales.
- Sobre los índices de asimetría, ambos índices, asimetría del ala y del zarcillo, podrían ser usados como indicadores de la abundancia y disponibilidad de alimento, a largo plazo, debido a sus relaciones con las anomalías de las variables

8. Conclusiones y recomendaciones

ambientales. Sin embargo, la asimetría del zarcillo sería indicador más sensible, en comparación a la asimetría del ala, de condiciones cálidas de la TSM. Mientras la asimetría del ala sería de la anomalía de la concentración de clorofila-a.

Este estudio fue realizado durante un periodo con condiciones cálidas, es recomendable seguir tomando datos durante un mayor periodo de tiempo que permita tener una mayor variabilidad de las condiciones ambientales y quizá observar tendencias más claras.

Para un mejor uso del ICC, es necesario validar la relación entre alguna estructura corporal y el almacenamiento de energía (como grasa corporal), de esta forma se puede elegir mejor una sola estructura o conjunto de ellas como un índice de tamaño corporal para el cálculo del ICC.

Es necesario tener claro el patrón, duración y periodo de muda del zarcillo para un mejor uso de los índices de asimetría del plumaje como indicadores de condiciones ambientales. Así como tomar en cuenta otras variables que pueden alterar el crecimiento de las plumas como contaminantes o ectoparásitos.

Estudios futuros deberían adicionar variables explicativas ambientales y el efecto de las pesquerías para ver como afectan a las variables respuesta de este estudio y poder tener una visión más clara de la dinámica del Sistema de la Corriente de Humboldt.

Además, sería recomendable evaluar la condición corporal, y otras variables, de otras aves guaneras abundantes en el Sistema de la Corriente de Humboldt y compararlas con las del zarcillo; y de esta forma determinar que especie y que característica de esta es un mejor indicador de las condiciones ambientales y por ende de la disponibilidad de alimento para las aves en el Sistema de la Corriente de Humboldt.

El zarcillo se muestra como una especie indicadora potencial, los resultados de este trabajo no son suficientes para poder asegurar esto. Es necesario seguir explorando parámetros biológicos en los zarcillos para poder incluirlos como una especie indicadora dentro de un enfoque ecosistémico.

Bibliografía

- [1] Covich AP. Energy flow and ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity*. 2000;2:509–523.
- [2] Ricklefs RE. Avian energetics, ecology, and evolution. In: *Avian energetics and nutritional ecology*. Springer; 1996. p. 1–30.
- [3] Mathew K, Naik R. Interrelation between moulting and breeding in a tropical population of the House Sparrow *Passer domesticus*. *Ibis*. 1986;128(2):260–265.
- [4] Rohwer S. A previously unknown plumage of first-year Indigo Buntings and theories of delayed plumage maturation. *The Auk*. 1986;p. 281–292.
- [5] Murphy ME. Energetics and nutrition of molt. In: *Avian energetics and nutritional ecology*. Springer; 1996. p. 158–198.
- [6] Møller AP, Swaddle JP. *Asymmetry, developmental stability and evolution*. Oxford University Press, UK; 1997.
- [7] Swaddle JP, Witter MS. Food, feathers and fluctuating asymmetries. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 1994;255(1343):147–152.
- [8] Thomas AL. The aerodynamic costs of asymmetry in the wings and tail of birds: asymmetric birds can't fly round tight corners. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 1993;254(1341):181–189.

Bibliografía

- [9] Swaddle JP, Witter MS, Cuthill IC, Budden A, McCowen P. Plumage condition affects flight performance in common starlings: implications for developmental homeostasis, abrasion and moult. *Journal of Avian Biology*. 1996;p. 103–111.
- [10] Pauly D, Christensen V, Guénette S, Pitcher TJ, Sumaila UR, Walters CJ, et al. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*. 2002;418(6898):689–695.
- [11] Garcia S, Staples D. Sustainability reference systems and indicators for responsible marine capture fisheries: a review of concepts and elements for a set of guidelines. *Marine and Freshwater Research*. 2000;51(5):385–426.
- [12] Piatt JF, Sydeman WJ, Wiese F. Introduction: a modern role for seabirds as indicators. INTER-RESEARCH NORDBUNTE 23, D-21385 OLDENDORF LUHE, GERMANY; 2007.
- [13] Cury PM, Christensen V. Quantitative ecosystem indicators for fisheries management. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*. 2005;62(3):307–310.
- [14] Furness R. Competition between fisheries and seabird communities. *Advances in marine biology*. 1982;.
- [15] Diamond A, Devlin C. Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: ecological monitoring on Machias Seal Island. *Environmental monitoring and assessment*. 2003;88(1-3):153–181.
- [16] Plenge MA. Bibliografía de las aves del Perú; 2016. Available from: <https://sites.google.com/site/boletinunop/compendio>.
- [17] Cushing D. Upwelling and the production of fish. *Advances in marine biology*. 1971;9:255–334.
- [18] Cushing DH. *Climate and fisheries*. Academic press London; 1982.

Bibliografía

- [19] Chavez FP, Bertrand A, Guevara-Carrasco R, Soler P, Csirke J. The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography*. 2008;79(2):95–105.
- [20] Montecino V, Strub P, Chavez F, Thomas A, Tarazona J, Baumgartner T. Biophysical interactions off western South-America. *The sea*. 2006;14:329–390.
- [21] Idyll CP. The anchovy crisis. *Scientific American*. 1973;228:22–29.
- [22] Duffy DC. The guano islands of Peru: the once and future management of a renewable resource. *Seabirds on Islands, Threats, Case Studies and Action Plans* Cambridge: BirdLife Conservation Series. 1994;(1):68–76.
- [23] Bakun A. Monthly variability in the ocean habitat off Peru as deduced from maritime observations, 1953 to 1984. The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem three decades of change *ICLARM Studies and Reviews*. 1987;15:46–74.
- [24] Barber RT, Chávez FP. Ocean variability in relation to living resources during the 1982–83 El Niño. 1986;.
- [25] Chávez F. El Niño y la Oscilación del Sur. *Investiendociencia*. 1987;128:46–55.
- [26] Bertram DF, Mackas DL, McKinnell SM. The seasonal cycle revisited: interannual variation and ecosystem consequences. *Progress in Oceanography*. 2001;49(1):283–307.
- [27] Aebischer N, Coulson J, Colebrook J. Parallel long-term trends across four marine trophic levels and weather. 1990;.
- [28] Montevecchi W, Myers R. Centennial and decadal oceanographic influences on changes in northern gannet populations and diets in the north-west Atlantic: implica-

Bibliografía

- tions for climate change. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*. 1997;54(4):608–614.
- [29] Velarde E, Ezcurra E, Cisneros-Mata MA, Lavín MF. Seabird ecology, El Niño anomalies, and prediction of sardine fisheries in the Gulf of California. *Ecological Applications*. 2004;14(2):607–615.
- [30] Perriman L, Houston D, Steen H, Johannesen E. Climate fluctuation effects on breeding of blue penguins (*Eudyptula minor*). *New Zealand Journal of Zoology*. 2000;27(4):261–267.
- [31] Lewis S, Wanless S, Wright P, Harris M, Bull J, Elston D. Diet and breeding performance of black-legged kittiwakes *Rissa tridactyla* at a North Sea colony. *Marine Ecology Progress Series*. 2001;221:277–284.
- [32] Furness RW. Responses of seabirds to depletion of food fish stocks. *Journal of Ornithology*. 2007;148(2):247–252.
- [33] Van Valen L. A study of fluctuating asymmetry. *Evolution*. 1962;p. 125–142.
- [34] Anciaes M, Marini M. The effects of fragmentation on fluctuating asymmetry in passerine birds of Brazilian tropical forests. *Journal of Applied Ecology*. 2000;37(6):1013–1028.
- [35] Lens L, Van Dongen S, Matthysen E. Fluctuating asymmetry as an early warning system in the critically endangered Taita thrush. *Conservation Biology*. 2002;16(2):479–487.
- [36] Schmeller DS, Dolek M, Geyer A, Settele J, Brandl R. The effect of conservation efforts on morphological asymmetry in a butterfly population. *Journal for Nature Conservation*. 2011;19(3):161–165.

Bibliografía

- [37] Sherman E, Tock K, Clarke C. Fluctuating asymmetry in *Ichthyophonus*-sp. infected newts, *Notophthalmus viridescens*, from Vermont. *Applied Herpetology*. 2009;6(4):369–378.
- [38] Weller B, Ganzhorn JU. Carabid beetle community composition, body size, and fluctuating asymmetry along an urban-rural gradient. *Basic and Applied Ecology*. 2004;5(2):193–201.
- [39] Palmer AR, Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. *Annual review of Ecology and Systematics*. 1986;p. 391–421.
- [40] Palmer AR. Fluctuating asymmetry analyses: a primer. In: *Developmental instability: its origins and evolutionary implications*. Springer; 1994. p. 335–364.
- [41] Clarke GM. Developmental stability and fitness: the evidence is not quite so clear. *The American Naturalist*. 1998;152(5):762–766.
- [42] Waddington CH. Canalization of development and the inheritance of acquired characters. *Nature*. 1942;150(3811):563–565.
- [43] Nijhout H, Davidowitz G. Developmental perspectives on phenotypic instability, canalization, and fluctuating asymmetry. *Developmental instability: causes and consequences*. 2002;.
- [44] Dongen S. Fluctuating asymmetry and developmental instability in evolutionary biology: past, present and future. *Journal of evolutionary biology*. 2006;19(6):1727–1743.
- [45] Klingenberg CP. A developmental perspective on developmental instability: theory, models and mechanisms. *Developmental instability: causes and consequences*. 2003;p. 14–34.

Bibliografía

- [46] Auffray J, Debat V, Alibert P. Shape asymmetry and developmental stability. On growth and form: spatio-temporal pattern formation in biology Wiley, Chichester, UK. 1999;p. 309–324.
- [47] Polak M. Developmental instability: causes and consequences. Oxford University Press on Demand; 2003.
- [48] Hoffmann A, Woods R. Associating environmental stress with developmental stability: problems and patterns. *Developmental Instability: causes and consequences*. 2003;p. 387–401.
- [49] Imasheva AG, Loeschcke V, Zhivotovsky LA, Lazebny OE. Effects of extreme temperatures on phenotypic variation and developmental stability in *Drosophila melanogaster* and *Drosophila buzzatii*. *Biological Journal of the Linnean Society*. 1997;61(1):117–126.
- [50] Campbell WB, Emlen JM, Hershberger WK. Thermally induced chronic developmental stress in coho salmon: integrating measures of mortality, early growth, and developmental instability. *Oikos*. 1998;p. 398–410.
- [51] Roy B, Stanton M. Asymmetry of wild mustard, *Sinapis arvensis* (Brassicaceae), in response to severe physiological stresses. *Journal of Evolutionary Biology*. 1999;12(3):440–449.
- [52] Parsons P. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress. *Heredity*. 1992;68(4):361–364.
- [53] Pankakoski E, Koivisto I, Hyvärinen H. Reduced developmental stability as an indicator of heavy metal pollution in the common shrew *Sorex araneus*. *Acta Zoologica Fennica*. 1992;191:137–144.

Bibliografía

- [54] Graham JH, Fletcher D, Tigue J, McDonald M. Growth and developmental stability of *Drosophila melanogaster* in low frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2000;21(6):465–472.
- [55] Bjorksten TA, Fowler K, Pomiankowski A. What does sexual trait FA tell us about stress? *Trends in Ecology & Evolution*. 2000;15(4):163–166.
- [56] Parsons P. Fluctuating asymmetry: an epigenetic measure of stress. *Biological reviews*. 1990;65(2):131–145.
- [57] Lyons DE, Roby DD. Validating growth and development of a seabird as an indicator of food availability: captive-reared Caspian Tern chicks fed ad libitum and restricted diets. *Journal of Field Ornithology*. 2011;82(1):88–100.
- [58] Balmford A, Jones IL, Thomas AL. On avian asymmetry: evidence of natural selection for symmetrical tails and wings in birds. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 1993;252(1335):245–251.
- [59] Guillen V. Variaciones de la población del Zarcillo (*Larosterna inca*: aves) 1963 y 1985 en el litoral peruano, con énfasis en la Isla Asia. 1988;.
- [60] Tovar Serpa H. Áreas de producción y distribución de las aves marinas en el litoral peruano. 1968;.
- [61] Murphy RC. *Oceanic Birds of South America: A Study of Species of the Related Coasts and Seas, Including the American Quadrant of Antarctica, Based Upon the Brewster-Sanford Collection in the American Museum of Natural History*. vol. 2. Macmillan Company, The American museum of natural history; 1936.
- [62] Tovar H. Distribución y frecuencia estacional de avifauna marina en las bahías de Paracas e Independencia. Unpublished Ph D Dissertation, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. 1974;.

Bibliografía

- [63] Galarza N. Informe sobre estudios ornitológicos realizados en el laboratorio de la Puntilla (Pisco) en setiembre de 1965/66. Serie de Informes Especiales N° IM-31 Instituto del Mar del Perú. 1968;.
- [64] Moynihan M. Hostile and sexual behaviour patterns of South American and Pacific Laridae. Behaviour, Suppl. 1962;.
- [65] Zavalaga C. Ecología Reproductiva del Zarcillo (*Larosterna inca*, LESSON) en Punta San Juan, Perú. Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Peru; 1997.
- [66] Jordan R. Las emigraciones y mortandad de las aves en el invierno y otoño de 1963. 1964;.
- [67] Jahncke J. Las poblaciones de aves guaneras y sus relaciones con la abundancia de anchoveta y la ocurrencia de eventos El Niño en el mar peruano. 1998;.
- [68] Velando A, Lessells C, Márquez J. The function of female and male ornaments in the Inca Tern: evidence for links between ornament expression and both adult condition and reproductive performance. Journal of Avian Biology. 2001;32(4):311–318.
- [69] Croxall J. Energy costs of incubation and moult in petrels and penguins. The Journal of Animal Ecology. 1982;p. 177–194.
- [70] Bertrand A, Grados D, Colas F, Bertrand S, Capet X, Chaigneau A, et al. Broad impacts of fine-scale dynamics on seascape structure from zooplankton to seabirds. Nature communications. 2014;5.
- [71] Furness RW, Camphuysen KC. Seabirds as monitors of the marine environment. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil. 1997;54(4):726–737.

Bibliografía

- [72] Montevecchi WA. In: Birds as indicators of change in marine prey stocks. Birds as monitors of environmental change.;. .
- [73] Labocha MK, Hayes JP. Morphometric indices of body condition in birds: a review. *Journal of Ornithology*. 2012;153(1):1–22.
- [74] Monaghan P, Uttley J, Burns M, Thaine C, Blackwood J. The relationship between food supply, reproductive effort and breeding success in Arctic Terns *Sterna paradisaea*. *The Journal of Animal Ecology*. 1989;p. 261–274.
- [75] Frank D, Becker P. BODY-MASS AND NEST RELIEFS IN COMMON TERNS *STERNA-HIRUNDO* EXPOSED TO DIFFERENT FEEDING CONDITIONS. *Ardea*. 1992;80(1):56–69.
- [76] Wendeln H, Becker P. Body mass change in breeding Common Terns *Sterna hirundo*. *Bird Study*. 1996;43(1):85–95.
- [77] Gutiérrez M, Ramirez A, Bertrand S, Mórón O, Bertrand A. Ecological niches and areas of overlap of the squat lobster “munida ”(*Pleuroncodes monodon*) and anchoveta (*Engraulis ringens*) off Peru. *Progress in Oceanography*. 2008;79(2):256–263.
- [78] Passuni G. Distribución de la anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842) en relación a parámetros biogeoquímicos. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Peru; 2009.
- [79] Swartzman G, Bertrand A, Gutiérrez M, Bertrand S, Vasquez L. The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005. *Progress in Oceanography*. 2008;79(2):228–237.
- [80] Zavalaga CB, Dell’Omo G, Becciu P, Yoda K. Patterns of GPS tracks suggest

Bibliografía

- nocturnal foraging by incubating Peruvian pelicans (*Pelecanus thagus*). *PloS one*. 2011;6(5):e19966.
- [81] Bertrand S, Joo R, Arbulu Smet C, Tremblay Y, Barbraud C, Weimerskirch H. Local depletion by a fishery can affect seabird foraging. *Journal of Applied Ecology*. 2012;49(5):1168–1177.
- [82] Hastie TJ, Tibshirani RJ. *Generalized additive models*. vol. 43. CRC Press; 1990.
- [83] Maravelias C, Reid D. Identifying the effects of oceanographic features and zooplankton on prespawning herring abundance using generalized additive models. *Oceanographic Literature Review*. 1997;8(44):883.
- [84] Murase H, Nagashima H, Yonezaki S, Matsukura R, Kitakado T. Application of a generalized additive model (GAM) to reveal relationships between environmental factors and distributions of pelagic fish and krill: a case study in Sendai Bay, Japan. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*. 2009;66(6):1417–1424.
- [85] Furness R, Ainley D. Threats to seabird populations presented by commercial fisheries. In: *Status and conservation of the world's seabirds*. vol. 2. International Council for Bird Preservation Cambridge; 1984. p. 701–708.
- [86] Bridge E. Influences of morphology and behavior on wing-molt strategies in seabirds. *Mar Ornithol*. 2006;34:7–19.
- [87] Bertrand A, Segura M, Gutiérrez M, Vásquez L. From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. *Fish and fisheries*. 2004;5(4):296–316.
- [88] Arntz W, Percy W, Trillmich F. Biological Consequences of the 1982–83 El Niño in the Eastern Pacific. In: *Pinnipeds and El Nino*. Springer; 1991. p. 22–42.

Bibliografía

- [89] IMARPE. Reporte de indicadores reproductivos de anchoveta. Reporte NÂ°12/2015. 2015;.
- [90] Chastel O, Weimerskirch H, Jouventin P. Body condition and seabird reproductive performance: a study of three petrel species. *Ecology*. 1995;76(7):2240–2246.
- [91] Uttley J, Walton P, Monaghan P, Austin G. The effects of food abundance on breeding performance and adult time budgets of guillemots *Uria aalge*. *Ibis*. 1994;136(2):205–213.
- [92] Lack DL. *Ecological adaptations for breeding in birds*. 1968;.
- [93] Starck JM. *Avian growth and development: evolution within the altricial-precocial spectrum*. 8. Oxford University Press on Demand; 1998.
- [94] Moller AP, Hoglund J. Patterns of fluctuating asymmetry in avian feather ornaments: implications for models of sexual selection. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 1991;245(1312):1–5.
- [95] Møller A, Pomiankowski A. Fluctuating asymmetry and sexual selection. *Genetica*. 1993;89(1-3):267–279.
- [96] Jahncke J, Checkley D, Hunt G. Trends in carbon flux to seabirds in the Peruvian upwelling system: effects of wind and fisheries on population regulation. *Fisheries oceanography*. 2004;13(3):208–223.
- [97] Croxall J. Monitoring predator-prey interactions using multiple predator species: the South Georgia experience. 2006;.

A Fotos de los muestreos.



Figura A-1.: Colocado de red de niebla. Mayo 2015 en Islas Ballestas.

A. Fotos de los muestreos.



Figura A-2.: Desenredando un zarcillo de la red de niebla. Setiembre 2015 en Isla Pescadores



Figura A-3.: Mesa de muestreo en campo. Abril 2015 en Isla Frontón

A. Fotos de los muestreos.



Figura A-4.: Medición con vernier electrónico.



Figura A-5.: Zarcillo con una anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) capturada.

A. Fotos de los muestreos.



Figura A-6.: Zarcillo con una múnida (*Munida* sp.) capturada.

A. Fotos de los muestreos.

Inca Tern

Measurements (mm):

- 1: Wing length
- 2: Wing length
- 3: Culmen length
- 4: Culmen length
- 5: Wing length
- 6: Wing length
- 7: Wing length
- 8: Wing length
- 9: Wing length
- 10: Wing length

7-foot	40.14	88.13	11.04	16.06	6.6	30.23	26.9	29	10.18	2.2
2015	03	026		16.06	6.6	30.23	26.9	29	10.18	2.2
01	33	45								

Parasites

Parasites I (S) of Den (S): 2/4

Parasites II (S) of Den (S): 2/4

Checklist:

- Juvenile:
- Ad. Non Breeder:
- Ad. Egg:
- Ad. <1 wk Chick:
- Ad. <2 wk Chick:
- Ad. <3 wk Chick:
- Ad. Large Chick:
- # of Chicks/Eggs:
- Blood Isotope:
- Feather Isotope:
- Blood ADN:
- Blood Parasite:

Figura A-7.: Ejemplo de llenado de ficha de muestreo.

B Tablas de resultados del cálculo del ICC con estructuras corporales.

Cuadro B-1.: Resultados del cálculo del ICC con estructuras corporales. Peso (W), largo de cabeza (C), largo de culmen (P), largo de tarso (T) y ancho de culmen (A)

Modelo	F	p-valor	R-sq.(adj)
$W \sim C$	3.48	0.06	0.01
$W \sim P$	0.11	0.74	-0.01
$W \sim T$	15.41	<0.001	0.06
$W \sim A$	15.92	<0.001	0.06
$W \sim C + P$	3.03	0.08	0.01
$W \sim C + T$	6.81	<0.001	0.07
$W \sim C + A$	7.06	<0.001	0.07
$W \sim P + T$	5.76	<0.001	0.05
$W \sim P + A$	5.35	<0.01	0.05
$W \sim T + A$	11.16	<0.001	0.11
$W \sim C + P + T$	5.36	<0.01	0.05
$W \sim C + P + A$	6.42	<0.001	0.06
$W \sim C + T + A$	6.24	<0.001	0.13
$W \sim P + T + A$	5.79	<0.001	0.12
$W \sim C + P + T + A$	4.85	<0.001	0.10
$W \sim PC1 + PC2 + PC3$	10.3	<0.001	0.10