

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN  
SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA**



---

**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS  
EN CIENCIAS DE LA VIDA**

---

***Dimorfismo de *Anous stolidus****

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Martín Darinel Pérez Coutiño**

Ensenada, Baja California, México  
2014

Tesis defendida por  
**Martin Darinel Pérez Coutiño**

y aprobada por el siguiente Comité

---

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo  
Director del Comité

---

Dr. Jaime Luévano Esparza  
Miembro del Comité

---

M. en C. Vicente Ferreira Bartrina  
Miembro del Comité

---

Dr. Rufina Hernández Martínez  
Coordinador  
del Posgrado en Ciencias de la Vida

---

Dr. Jesús Favela Vara  
Director del estudio de posgrado

*Agosto, 2014*

Resumen de la tesis de **Martin Darinel Pérez Coutiño** presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en ciencias de la vida.

### **Dimorfismo de *Anous stolidus***

Resumen aprobado por:

---

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo

El desplazamiento de caracteres en una especie es consecuencia de la variación en tamaño y forma. Esta diversificación adaptativa está relacionada con reproducción y competencia. Se evaluaron las diferencias en caracteres biométricos de *Anous stolidus* (Sternidae) en Isla Pérez, Parque Nacional Arrecife Alacranes, Golfo de México, incluyendo diferencias en morfometría con colonias en Puerto Rico y en el Atlántico tropical. Se midieron caracteres biométricos y se fotografiaron 41 aves; se compararon las medidas obtenidas en campo con los resultados de las mediciones a partir de las fotografías usando el software ImageJ. Se encontró que el tamaño del carácter cabeza más pico fue el único carácter biométrico que dividió a la población en dos grupos discretos,  $t = -13.05$ , g.l. = 23,  $p < 0.001$ . Con este resultado se identificó a cada individuo de cada grupo. Se graficaron en orden ascendente para determinar si existía segregación por tamaño entre los dos grupos en los otros caracteres y en la morfometría alar. Sólo el tamaño del tarso fue el otro que presentó una agrupación similar pero no concluyente. En los demás caracteres biométricos y en la morfometría alar los grupos se traslapan. Mediante la comparación de los caracteres biométricos con las otras colonias se observó que los grupos se situaron en rangos similares, pero en promedio los tamaños encontrados en I. Pérez fueron más grandes. Esta similitud en los rangos sugirió que el carácter cabeza más pico es un carácter sexual y que el grupo con menor tamaño promedio son hembras, pero no se realizaron pruebas para determinar el sexo de las aves.

**Palabras clave: Morfometría, fenotipo, Parque Nacional Arrecife Alacranes**

Abstract of the thesis presented by **Martin Darinel Perez Coutiño** as a partial requirement to obtain Master of Science degree in Life Sciences with orientation in Environmental Biology

### ***Anous stolidus* dimorphism**

Abstract approved by:

---

Dr. Horacio Jesús de la Cueva Salcedo

#### Abstract

Character displacement in a species is the result of variation in size and shape. This adaptive diversification is related to reproduction and competition. We evaluated differences in biometric characteristics of *Anous stolidus* (Sternidae) at Isla Pérez, Parque Nacional Arrecife Alacranes, Golfo de México, including morphometrical differences with colonies in Puerto Rico and the Tropical Atlantic. We obtained morphometric characters and photographs of 41 birds; we compared field measurements with digital images using ImageJ software. We concluded that the size of the head plus beak was the only biometric character that split the population in two discrete groups,  $t = -13.05$ , d.f. = 23,  $p < 0.001$ . With this result each individual was assigned to either group and graphed in ascending to find size segregation in other characters and wing morphology between these two groups. Only tarsus size presented a similar but statistically non-significant grouping. In all other characters and wing morphology, the groups overlapped. Comparing morphological characters with the other colonies, we found that the ranges were similar but on average the morphological characters of birds at Isla Perez are larger. The character range similarity suggests that the head plus beak character could be sex related, and that the smaller size corresponds to females, but we did not determine sex of our samples.

Keywords: **Morphometry, phenotype, Parque Nacional Arrecife Alacranes.**

## Dedicatoria

*A mi familia por el amor y el apoyo que siempre me proporcionan.*

*A mi tío Dimas y a mi tía koki, a mis primos Dimas, Jaqueline y Julio por siempre estar con mis padres.*

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca (406514/264455) otorgada durante estos dos años de estudios, apoyando la investigación científica.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y en particular al posgrado de Ciencias de la Vida por permitirme realizar este posgrado.

Instituto Nacional de Ecología bajo el proyecto Impacto de la biología reproductiva de las aves marinas del Parque Nacional Arrecife Alacranes, Proyecto INE/A1-006/2011.

A mi Director de tesis Dr. Horacio de la Cueva por aceptarme como alumno y brindarme su apoyo y conocimiento y la oportunidad de trabajar juntos.

A mi comité de tesis por su apoyo, sugerencias, comentarios y mucha paciencia durante este trabajo.

Al personal técnico que labora en esta institución, en especial a Eulogio Lopez.

A mi familia por su apoyo incondicional.

Al amor de mi vida Elia Reza Escobar por todo su amor y paciencia

A mis compañeros y amigos del posgrado, Candelario Cecilia, Daniela, Roberto, Sergio, Karina, Paola, Lluvia, Marión, Marisol, Christian, Diego, Rachel, Sara, Ana Paola, Vivi, Constanza e Itzel, por brindarme su amistad

A mis nuevos amigos Ale, Viry, Nancy, Dulce, Almendra, Olaf, Christian.

A la Dr. Pilar, Estrella, Soco, Flor, Luis, Tanya y Pavel. Infinitas gracias por su amistad.

A todo el personal de CICESE

## Contenido

Resumen.....	ii
Abstract.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	x
<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
1.1. Anous stolidus.....	3
1.2 Distribución.....	4
1.3 Antecedentes.....	5
<b>Capitulo 2. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
2.1. Objetivo general.....	7
2.2. Objetivos particulares.....	7
<b>Capitulo 3. Materiales y métodos.....</b>	<b>8</b>
3.1. Área de Estudio.....	8
3.2 Captura y toma de datos.....	9
3.3. Medición de caracteres.....	11
3.3.1. Cabeza y pico.....	11
3.3.2. Ancho de culmen.....	11
3.3.3. Culmen expuesto.....	11
3.3.4. Tarso.....	12
3.3.5. Peso Corporal.....	13
3.3.6. Cola.....	13
3.3.7. Cuerda alar.....	13
3.3.8. Envergadura.....	14
3.3.9. Área del ala.....	14
3.3.10. Relación aspecto alar.....	15
3.3.11. Índice de Carga alar.....	15
3.3.12. Carga alar.....	15
3.3.13. Cuerda alar media.....	16
3.4. Análisis estadístico.....	16
<b>Capitulo 4. Resultados.....</b>	<b>18</b>
4.1. Cabeza mas pico.....	19
4.2. Largo del culmen.....	21
4.3. Ancho del culmen.....	23
4.4. Tarso.....	25
4.5. Cuerda alar.....	27
4.6. Envergadura.....	29
4.7. Área alar.....	31
4.8. Cola.....	33
4.9. Morfometría alar.....	36

**Contenido (continuación)**

4.9.1. Relación aspecto alar.....	36
4.9.2. Carga alar.....	38
<b>Capítulo 5. Discusión.....</b>	<b>40</b>
<b>Capítulo 6. Conclusiones.....</b>	<b>42</b>
Lista de referencias.....	43



## Lista de figuras

Figura		Página
1.	Características fácilmente identificables de <i>Anous stolidus</i> , tamaño mediano(>40cm) color marrón oscuro, frente blanquecina, ojos negros, pico delgado. (Foto: Eulogio López, Parque Nacional Arrecife Alacranes, PNAA).	3
2.	Reporte global de observaciones de <i>Anous stolidus</i> en la base de datos de gbif.	4
3.	Proceso de medición se realizó mediante estos pasos para reducir errores de medición de los caracteres mediante el software ImageJ	9
4.	Representación de las secciones consideradas como carácter morfométricos, las, CP) Cabeza más pico, CA) Ancho de culmen, CL) Largo del culmen.	11
5.	Representación de las secciones consideradas como tarso	12
6.	Representación de las secciones consideradas como carácter morfométricos.	14
7.	Distribución en orden ascendente del tamaño de largo de la cabeza más pico de <i>Anous stolidus</i> en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011.	19
8.	Frecuencia de tamaño de cabeza más pico. Eje X tamaño de cabeza más pico (mm), Eje Y numero de Individuos de <i>A. stolidus</i> en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011.	20
9.	Distribución en orden ascendente del tamaño de largo del culmen de <i>A. stolidus</i> en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011.	21
10.	Frecuencia de tamaño del largo del culmen. Eje X tamaño del largo del culmen (mm), Eje Y numero de Individuos de <i>A. stolidus</i> en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011.	22
11.	Distribución en orden ascendente del tamaño de ancho del culmen de <i>A. stolidus</i> en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011.	23
12.	Frecuencia de tamaño del ancho del culmen. Eje X tamaño del largo del culmen (mm), Eje Y numero de Individuos de <i>A. stolidus</i> en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011.	24
13.	Distribución en orden ascendente del tamaño de largo del tarso de <i>A. stolidus</i> en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011.	25
14.	Frecuencia de tamaño del largo del tarso. Eje X tamaño del largo del tarso (mm), Eje Y numero de Individuos de <i>A. stolidus</i> en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011.	26

## Lista de figuras (continuación)

15. Distribución en orden ascendente del tamaño de la cuerda alar de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011. 27
16. Frecuencia de tamaño del la cuerda alar. Eje X tamaño de la cuerda alar (mm), Eje Y número de individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. 28
17. Distribución en orden ascendente del tamaño de la envergadura de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011. 29
18. Frecuencia de tamaño del la envergadura. Eje X tamaño de la envergadura (m), Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. 30
19. Distribución en orden ascendente del tamaño de área alar de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011. 31
20. Frecuencia de tamaño del área alar. Eje X tamaño del área alar (m<sup>2</sup>), Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. 32
21. Distribución en orden ascendente del tamaño del largo de cola de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011. 33
22. Frecuencia de tamaño del largo de cola. Eje X tamaño del largo de cola (mm), Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. 34
23. Distribución en orden ascendente del tamaño del largo de cola de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011. 36
24. Frecuencia de la relación aspecto alar. Eje X tamaño del aspecto alar, Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. 37
25. Distribución en orden ascendente del tamaño del la carga alar (kg/m<sup>2</sup>) de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011. 38
26. Frecuencia de carga alar. Eje X tamaño de carga alar, Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. 39

## Lista de tablas

Tabla		Página
1	Análisis descriptivo para los datos primarios de <i>Anous stolidus</i> en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, las variables primarias $n = 23$ individuos.	18
2	Análisis descriptivo de los datos primarios divididos por grupos de <i>Anous stolidus</i> en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A.).	35
3	Resultado de las pruebas t de Student para los grupos N1 y N2 de las medias de las variables anatómicas de <i>Anous stolidus</i> en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A.)., Los valores representados son $t =$ valor de t en tabla, $p =$ nivel de significación, los grados de libertad = 21 en todas las muestras.	35

## Capítulo 1.Introducción

---

El polimorfismo biológico es la existencia de dos o más variables fenotípicas distintas y heredables en una población ya sean en caracteres morfológicos, bioquímicos o de comportamiento (Curtis et al., 2008).

El estudio de estas variaciones de forma y su covariación con otras características morfológicas del individuo se conoce como morfometría. La relación de la morfometría del individuo y su ambiente es conocido como ecomorfología (Lorencio, 2000)

Los diversos estudios ecomorfológicos han permitido a ecólogos y evolucionistas clarificar patrones e interpretar diversos procesos de comunidades animales, basándose en la premisa de que las relaciones ecológicas pueden ser inferidas a través de un conjunto apropiado de características morfométricas, donde especies con características semejantes en forma y tamaño van a utilizar un mismo recurso de manera similar(Wainwright y Reilly, 1994)

Trabajos como los de Darwin, en 1859, que plantearon que las diferencias morfológicas constituyen buenos indicadores de las divergencias ecológicas entre especies. Los trabajos de Huxley de 1942 y Lack, 1944, 1947, donde afirman que las diferencias ecológicas están determinadas por las diferencias morfológicas, lo cual a su vez facilita la coexistencia intra e intrerespecífica.

En los estudios de morfometría en aves marinas y en particular en la familia Sternidae, se han empleado con éxito las medidas corporales o biométricas logrando demostrar la existencia de polimorfismo en aves donde esta no es evidente a simple vista (Chardine y Morris, 1989; Wagner, 1999; Helfenstein, Danchin y Wagner, 2004; Urfi y Kalam, 2008; Berzins, Gilchrist y Burness, 2009). De la misma manera en aves se ha empleado la morfometría alar. El vuelo es relevante por cuanto se encuentra relacionada por una parte con la biomecánica y energética del vuelo (Rayner, 1982; Norberg, 1995, 1996) y también con aspectos ecológicos y conductuales como el patrón de vuelo, conducta de

forrajeo y selección de hábitat (Rayner, 1982; Spear y Ainley, 1997; Hertel y Ballance, 1999) condicionando la potencia necesaria para el vuelo (Norberg, 1996).

Este trabajo encuentra un carácter dimórfico en las medidas corporales o en la morfometría alar dentro de la población de *Anous stolidus* en la colonia de isla Pérez en el parque nacional Arrecife Alacranes.

### 1.1. *Anous stolidus*

*Anous stolidus* o charrán bobo café es un ave marina menor a los 40 cm, perteneciente a la familia Sternidae, de color marrón oscuro, pico negro con una frente blanquecina que se extiende sobre la parte superior del ojo llegando a ser más gris en la coronilla.



**Figura 1.** Características fácilmente identificables de *Anous stolidus*, tamaño mediano(>40cm) color marrón oscuro, frente blanquecina, ojos negros, pico delgado. (Foto: Eulogio López, Parquen Nacional Arrecife Alacranes, PNAA)

La cola y las puntas de las alas son más oscuras que el cuerpo, tiene alas largas, estrechas y puntiagudas y cola escotada. Los individuos jóvenes son de color más oscuros con menos color blanco en la cabeza (Harrison, 1985).

Tiene un patrón de vuelo directo similar a las gaviotas pequeñas (Larsson y Olsen, 2010). Su alimentación se basa en peces pequeños y calamares que captura en la superficie marina (David y Robert, 1984), su área de forrajeo es de unos cuantos metros cercanos a la costa, no es pelágico como *Sterna fuscata*.

## 1.2 Distribución

En México *Anous stolidus* se encuentra en el Golfo de México en zonas como la costa de la península de Yucatán en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A.). En el Océano pacífico mexicano se encuentra desde Nayarit hasta Guerrero y en las Islas Revillagigedo y Clipperton (Howell y Webb, 1995).



**Figura 2:** Reporte global de observaciones de *Anous stolidus* en la base de datos de gbif, los pixeles en amarillos representan las observaciones en una resolución de 2 pixeles. (The Global Biodiversity Information Facility, 2013)

*Anous stolidus* esta extensamente distribuido, se las encuentra en zonas tropicales desde Hawái hasta el archipiélago de Tuamotu y Australia en el océano Pacífico, desde el mar Rojo hasta las Islas Seychelles y la costa oeste australiana en el océano Índico y desde el mar Caribe a Tristán da Cunha en el océano Atlántico (Hoyo et al., 1996). Desde la Antillas mayores y menores (Dod y Nater, 1981; Raffaele, 1989; Evans, 1990),

algunas costas de Venezuela (Schauensee et al. 1978), Trinidad y Tobago (van Halewyn y Norton, 1984), en la Guayana francesa (Tostain, 1992), Brasil (Williams, 1984), Costa Rica (Stiles, 1984), Panama (Wetmore, 1965), Ecuador (Perry, 1984), y Chile (Schlatter, 1984).

### 1.3 Antecedentes

En los estudio de polimorfismo el dimorfismo sexual se puede remontar a los inicios de la biología, cuando se comenzó a observar, describir, clasificar y separar los organismos basándose principalmente en su forma. A los inicios del siglo XX este proceso pasa del plano descriptivo hacia otro más cuantitativo, donde se empiezan a considerar las dimensiones de los organismos. Estas dimensiones se pueden traducir al lenguaje matemático, iniciando así nuevas metodologías con base en la información obtenida a partir de las características fenotípicas discretas y continuas mensurables de los organismos.

Varias especies de aves marinas se consideran monomórficas, entre ellas se ha reportado a *Anous stolidus* (Chardine y Morris, 1989). Si esta es una característica fenotípica verdadera, hace difícil determinar el sexo entre sus individuos, así como el estudio de la dinámica poblacional *in situ*. Los estudios fenotípicos basados en análisis merísticos han demostrado ser útiles para determinar géneros en las especies que carecen de dimorfismo sexual evidente.

*Anous stolidus* presenta características de estrategias de reproducción K, suele poner un solo huevo por temporada, le lleva varios años alcanzar la madurez sexual y tiene una supervivencia anual alta.

En los organismos con este tipo de estrategia realizan una mayor 'inversión parental' lo que indica que progenitores realizan acciones, generalmente costosas en tiempo y energía, para aumentar la probabilidad de supervivencia de la descendencia.

Por lo que la selección de pareja debería estar encaminada a reconocer características favorables con la capacidad de suministrar mejores recursos ya sea cuantitativa o cualitativa. Como sugiere la ley de Bateman (Bateman, 1948)

La hipótesis de competición intersexual predice que el tamaño de dimorfismo sexual en las aves marinas reduce la competencia intraespecífica alimentos a través de la explotación por cada sexo de diferentes nichos tróficos (Székely, 2007)

Muchas especies de aves muestran una fuerte variación de sus caracteres morfológicos entre las poblaciones que habitan en diferentes áreas de su distribución (Zink y Remsen, 1986). El significado de esta variación se ha discutido ampliamente, especialmente en el marco del modelo alopátrico de especiación, donde esta variación es visto como un primer paso hacia la especiación (Mayr, 1963).

Dentro del orden de los Charadriiformes donde se encuentra *Anous stolidus*, la presencia de dimorfismo sexual conspicuo es altamente variable, encontrándose diferencias tanto de plumaje, color y tamaño (Hoyo et al., 1996; Szekely et al., 2000)

Estas diferencias en los tamaño relativos de diferentes partes del cuerpo afecta a las características de vuelo y la economía de forrajeo (Pennycuick, 2008). Diversos parámetros morfométricos han sido asociados a distintas capacidades de vuelo (Leisler y Winkler, 1985), permitiendo correlacionar la maniobrabilidad y la rapidez de vuelo (Alatalo et al., 1984).



## Capítulo 2. Objetivos

---

### 2.1. Objetivo general

Identificar la existencia de dimorfismo en la población de isla Perez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes de *Anous stolidus* para conocer mejor su biología.

### 2.2. Objetivos particulares

Comparar caracteres morfométricos de *Anous stolidus* en la población de Arrecife Alacranes para describir la presencia y alcance del dimorfismo sexual.

Comparar la morfometría alar de *Anous stolidus* en la población de Arrecife Alacranes para inferir si esta influye en los costos de vuelo de la especie.

Comparar medidas tomadas en campo con las obtenidas a partir de las imágenes de *Anous stolidus* para validar los métodos de campo para la determinación del dimorfismo sexual.

Comparar medidas morfométricas de *Anous stolidus* en la población de Arrecife Alacranes con otras regiones para documentar la variabilidad de la especie.

## Capítulo 3. Materiales y métodos

---

### 3.1. Área de Estudio

El Parque Nacional Arrecife Alacranes es uno de los mayores sistemas de arrecife de coral en el Golfo de México con una superficie aproximada de 300 km<sup>2</sup> situada sobre el Banco de Campeche en el Golfo de México (Liceaga-Correa y Hernández-Núñez, 2000), a 130 km de la costa norte del municipio de Progreso; Yucatán, México. En las coordenadas 22°21'45" y 22°34'55" de latitud norte y 89°36'47" y 89°47'53" de longitud oeste.

Está constituido por cinco islas que en su conjunto tienen una forma oval (Solís, 1990; CONANP, 2006) conocidas con los siguientes nombres: Pérez, Chica (Corneyuelos o Blanca), Larga (Pájaros), Desertora (Muertos u Oeste) y Desterrada.

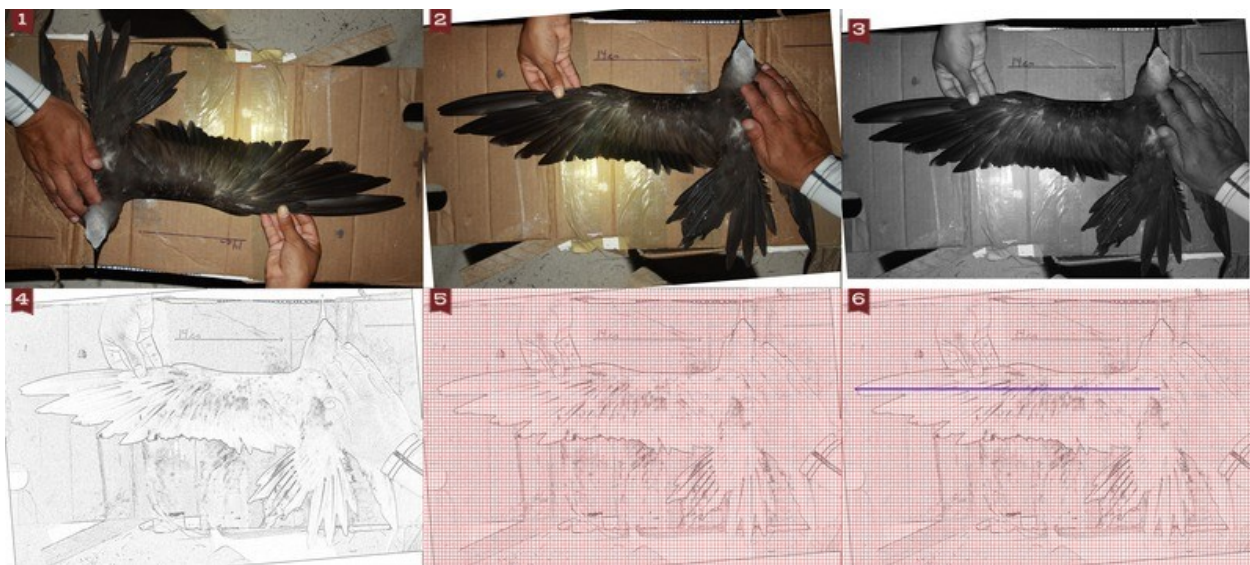
Desde la edificación del faro en 1900 la Isla Pérez ha sido habitada de forma continua, existen tres edificios que albergan la oficina de la CONANP, los albergues de los fareros y una patrulla naval que constituyen su población (Martínez-Guzmán et al., 1993); las demás islas son visitadas frecuentemente por grupos de pescadores que ocupan campamentos temporales.

La captura de *Anous stolidus* se realizó en la Isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes, durante el periodo del 1 al 10 de mayo del 2011. El estudio fue patrocinado por Instituto Nacional de Ecología bajo el proyecto Impacto de la biología reproductiva de las aves marinas del Parque Nacional Arrecife Alacranes, Proyecto INE/A1-006/2011.

### 3.2 Captura y toma de datos

Las capturas se realizaron después del atardecer, cuando la pareja se encontraba en su nido. Se consideraron a los individuos capturados como individuos en la etapa adulta por el hecho de estar en un nido y mostrar comportamiento de defensa del nido y no mostrar características morfológicas juveniles. Una vez capturados, los individuos se almacenaron temporalmente en una bolsa de manta, para obtener *in situ* sus datos biométricos (Pinilla, 2000): medida de tarso (TA) mm, ancho de culmen (CA) mm, largo de culmen (CL) mm y largo de la cola (CO) mm. Cada región anatómica fue medida por una sola persona para disminuir el error de medición. Todas las aves fueron capturadas vivas, medidas, fotografiadas y puestas en libertad. Estas series de mediciones de estos caracteres han sido reportadas en trabajos anteriores para este tipo de análisis (Bertellotti *et al.* 2002, Devlin *et al.* 2004, Bourgeois *et al.* 2007).

Para un estudio *ex situ* de los datos morfométricos se tomó una fotografía digital con una cámara digital Canon EOS 50D.



**Figura 3:** El proceso de medición se realizó mediante estos pasos para reducir errores de medición de los caracteres mediante el software ImageJ, 1) foto original 2) con el editor de imagen Gimp y el script auto-rotate se enderezó la imagen con respecto a la regla de escala de cada imagen, 3) se desnaturalizó la imagen con opción de iluminación, 4) Se utilizó el detector de bordes de diferencia Gaussiana, 5) se superpuso a la imagen una rejilla digital para reducir la posible desviación de la regla de medición, 6) se midió con el Software ImageJ.

Las fotografías fueron procesados con el software ImageJ (Rasband, 2014) con el cual se pudo determinar las siguientes variables, envergadura alar (B) m, superficie alar (SA) m<sup>2</sup>, cuerda media del ala (CMA) m, Cabeza y pico (CP) mm. Estas mediciones, a excepción de cabeza y pico, están relacionadas con el desempeño aerodinámico (Pennycuick, 2008; González-Jaramillo y de la Cueva, 2012).

Se tomaron medidas de 42 individuos en campo. Las medidas morfométricas tomadas *in situ* fueron, largo del pico, ancho del pico, largo del tarso, todas fueron medidas con un Vernier ( $\pm 0.5$  mm), el peso corporal se midió con un dinamómetro Pesola (Suiza) de  $500 \pm 5$  g.

De los 42 individuos capturados, 19 individuos no cumplían con todos los datos de caracteres, debido a esto solo 23 individuos pudieron ser empleados para el análisis de componentes principales (ACP) que se usó para buscar correspondencias entre las medidas morfométricas y el dimorfismo.

### **3.3. Medición de caracteres**

#### **3.3.1. Cabeza y pico**

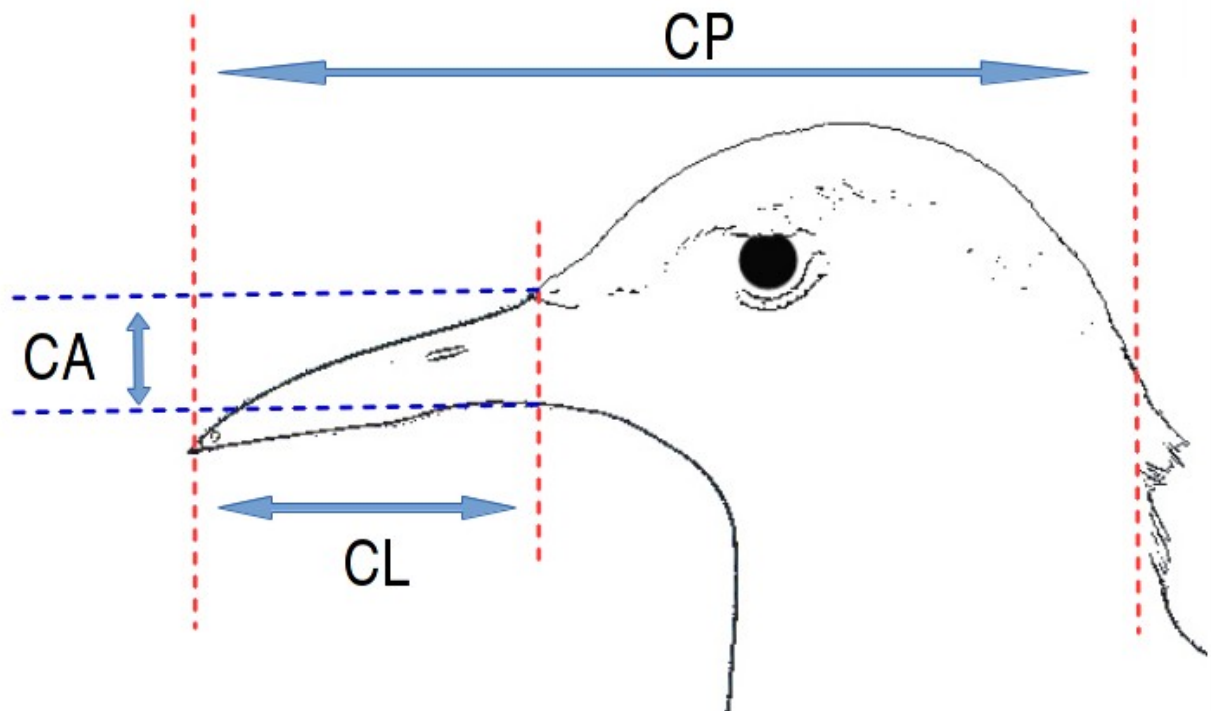
Esta medida se determinó como la longitud total de la cabeza (mm), desde la punta del pico hasta la cresta occipital (Figura 4). Se midió utilizando el software ImageJ y el plugin detector de bordes de algoritmo Canny (Gibara, 2013).

#### **3.3.2. Ancho de culmen**

Esta medida se determinó como la medida mas ancha de todo el largo del pico (Figura 4), esta medida se tomo en campo con la ayuda de un Vernier (Tajima, Japón)  $150 \pm 0.05$  mm, este carácter no fue fotografiado, por lo que no se pudo procesar en ImageJ.

### 3.3.3. Culmen expuesto

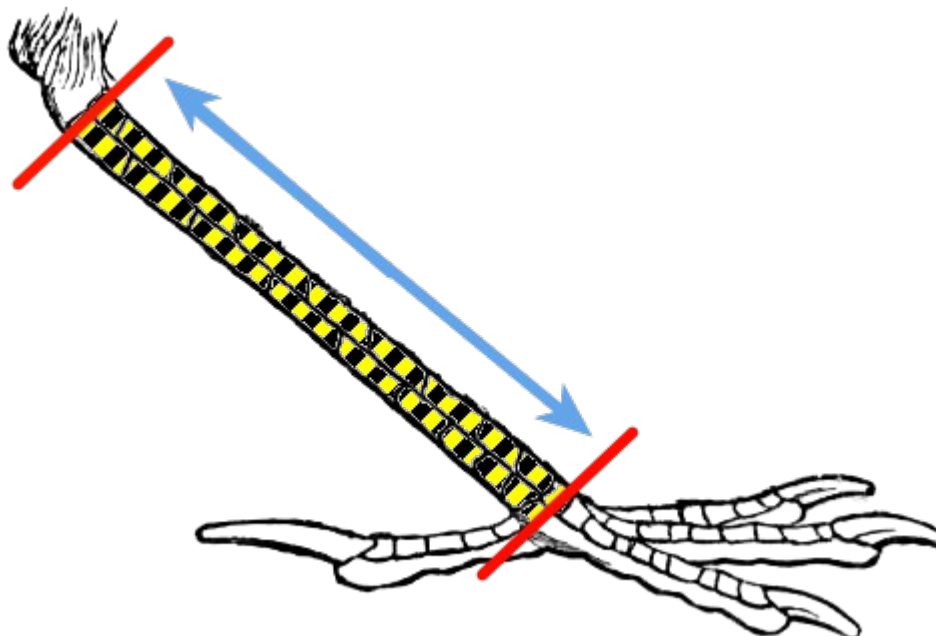
Esta medida se determinó como la longitud entre la punta del pico hasta la parte emplumada en la base del pico (mm) (Figura 4), esta medida se tomó en campo con la ayuda de un Vernier (Tajima, Japón)  $150 \pm 0.05$  mm, posteriormente en laboratorio se midieron de nuevo con el software ImageJ para cotejar los dos métodos.



**Figura 4:** Representación de las secciones consideradas como carácter morfométricos, las , CP) Cabeza más pico, CA) Ancho de culmen, CL) Largo del culmen. Las flechas indican inicio y final de las secciones entre las líneas punteadas.

### 3.3.4. Tarso

Esta medida se determinó como la longitud desde la parte inferior del muslo hasta el comienzo de la pata (mm), esta medida se tomo en campo con la ayuda de un Vernier (Tajima, Japón)  $150 \pm 0.05$  mm, este carácter no fue fotografiado, por lo que no se pudo procesar en ImageJ.



**Figura 5:** Representación de las secciones consideradas como tarso

### 3.3.5. Peso Corporal

Esta medida se determinó como (PC) y correspondió al peso (g) de los individuos se obtuvo usando una pesola (Suiza) de  $500 \pm 5$  g.

### 3.3.6. Cola

Esta medida se determinó como (CO) a la distancia de la longitud de rectrices centrales (mm) desde su nacimiento (quilla) hasta la punta superior central. Se midió utilizando el software ImageJ y el plugin detector de bordes de algoritmo Canny (Gibara 2013).

### **3.3.7. Cuerda alar**

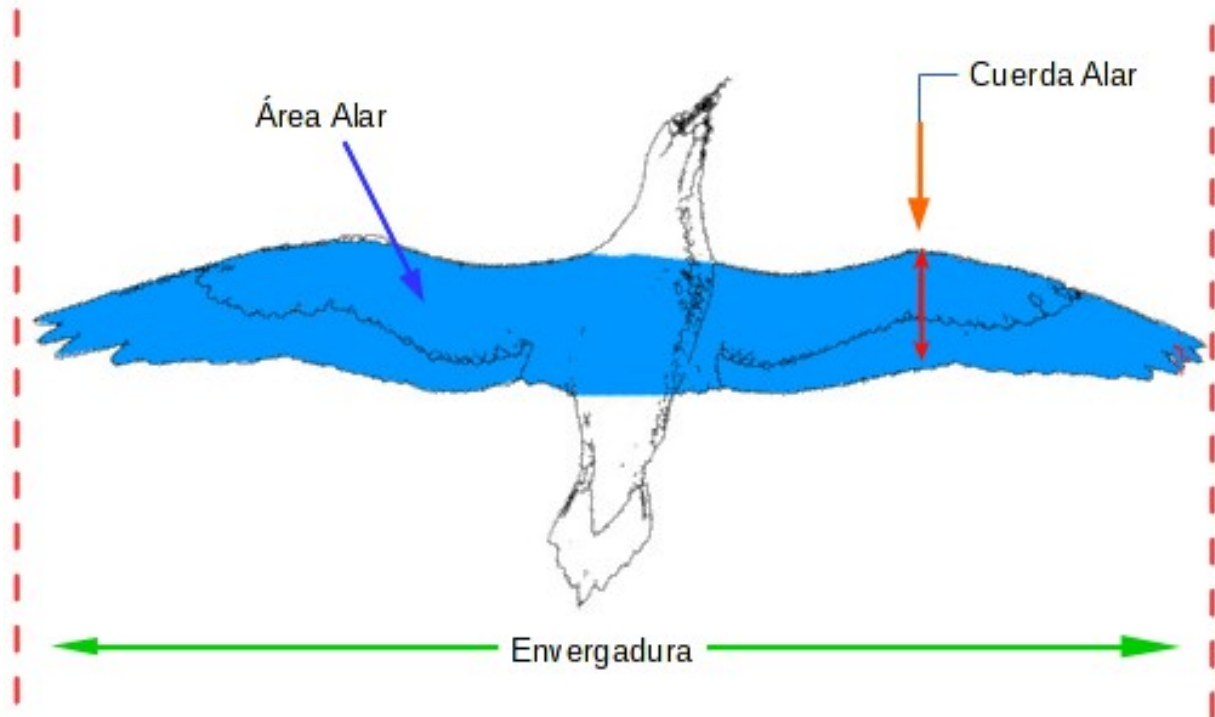
Esta medida se determinó como (CU) y correspondió a la línea recta imaginaria trazada entre los bordes de ataque y de salida del ala (cm) (Figura 6), se obtuvo utilizando el software ImageJ y el protocolo de procedimientos de medición de alas (Pennycuick 2008).

### **3.3.8. Envergadura**

Se determinó como (B) y correspondió a la distancia existente entre los extremos de ala a ala (cm) (Figura 6) (Pennycuick 2008). Esta medida se obtuvo utilizando el software ImageJ. Únicamente en los casos en donde la fotografía solo mostraba un ala, se realizó una línea digital, sobre la columna vertebral del ave y se midió hasta el extremo del ala.

### **3.3.9. Área del ala**

Se determinó como (S) y correspondió al área (cm<sup>2</sup>) proyectada de ambas alas sobre una superficie plana, incluyendo la parte del cuerpo entre las alas (Figura 6). Se obtuvo utilizando el software ImageJ y el protocolo de procedimientos de medición de alas (Pennycuick 2008).



**Figura 6:** Representación de las secciones consideradas como carácter morfométricos.

### 3.3.10. Relación aspecto alar

El índice de aspecto alar (AR). Se utilizó para determinar la sustentación relativa y desarrollo de potencia en el vuelo batido, se determinó como el cuadrado de la envergadura ( $B^2$ ) en metros sobre la superficie ó area alar (S) en  $m^2$  (Pennycuick 2008)(1). Valores bajos (cercanos a uno) indican poca sustentación relativa, valores altos indican alta maniobrabilidad aérea pero con un costo elevado del batir de alas.

$$\text{Aspecto alar} = \frac{B^2}{S} \quad (1)$$



### 3.3.11. Índice de Carga alar

Se determinó como índice de carga alar ( $Q_i$ ) a la comparación del peso corporal (PC) en kg con la superficie alar (S) en  $\text{cm}^2$  (2). Valores altos indican un mayor desarrollo de potencia necesaria para el vuelo (Berger y Hart, 1974).

$$Q_i = \frac{PC^{2/3}}{S} \quad (2)$$

### 3.3.12. Carga alar

Se determinó como carga alar (Q,  $\text{N m}^2$ ) a la diferencia promedio de presión entre la superficie inferior y superior del ala cuando el ave planea (3) (Pennycuick 2008), dónde: m = masa (kg), g = aceleración debida a la gravedad ( $9.81 \text{ ms}^{-1}$ ) y S = área alar ( $\text{m}^2$ ). Los valores bajos indican aves planeadoras puras.

$$Q = \frac{m * g}{S} \quad (3)$$

### 3.3.13. Cuerda alar media

Se determinó como cuerda alar media (C) a la relación superficie alar (S) y la envergadura (B) (4) (Lighthill, 1975). Define diferentes tipos de alas (recta, delta, flecha, media luna, etc) valores altos indica mayor sustentación de vuelo, pero limita la maniobrabilidad (giros, aleteos, etc).

$$C = \frac{S}{B} \quad (4)$$

### 3.4. Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les aplicó pruebas de normalidad utilizando la prueba W de Shapiro y Wilk (Wilk y Shapiro, 1968) y de homocedasticidad. Cuando se cumplieron ambas condiciones se utilizaron análisis estadísticos paramétricos. Si las condiciones no se cumplían se utilizaron análisis no paramétricos equivalentes a las pruebas paramétricas. Todas las pruebas se realizaron con un  $\alpha = 0.05$ .

Para la comparación de los caracteres para buscar diferencias significativas entre grupos se usó la prueba de *t* de Student (Zar, 1999).

Para determinar el grado de dimorfismo de las diferentes estructuras corporales se calculó el índice de dimorfismo de Storer (1966) (6).

$$IS = \frac{(100) * (Y - X)}{0.5 * (Y + X)} \quad (6)$$

Donde Y es el tamaño medio de la hembra y X es el tamaño medio del macho. Aquí usamos los datos sin determinar el sexo del ave capturada, pero distinguimos entre una diferencia clara entre tamaños. Este índice permite comparar las variaciones dimórficas entre especies. Un índice mayor refleja mayores diferencias entre hembras y machos.

Para comparar el desempeño aerodinámico de los grupos de *A. stolidus* usamos la prueba no paramétrica U Mann-Whitney (Zar 1999).

Para comprobar la variación intraespecífica de los valores morfométricos obtenidos entre los grupos de la población de la colonia *A. stolidus* del Parque Nacional Arrecife Alacranes, se calcularon los promedios y errores estándares. Estos valores fueron a su vez comparados con aquellos registrados por Chardine y Morris (1989).

Para buscar y comprobar la variación intraespecifica se utilizó un análisis discriminante basado en un análisis de conglomerados sobre una matriz de correlación y la distribución de las frecuencias(R Core Team, 2013).

Partiendo de los datos primarios se pudieron obtener las variables características del rendimiento de vuelo. Las características que se midieron con ImageJ fueron la relación aspecto alar, el índice de carga alar, la carga alar y cuerda alar para la determinación de las características del rendimiento de vuelo se tomo los métodos descritos por Pennycuick (2008)

## Capítulo 4. Resultados

---

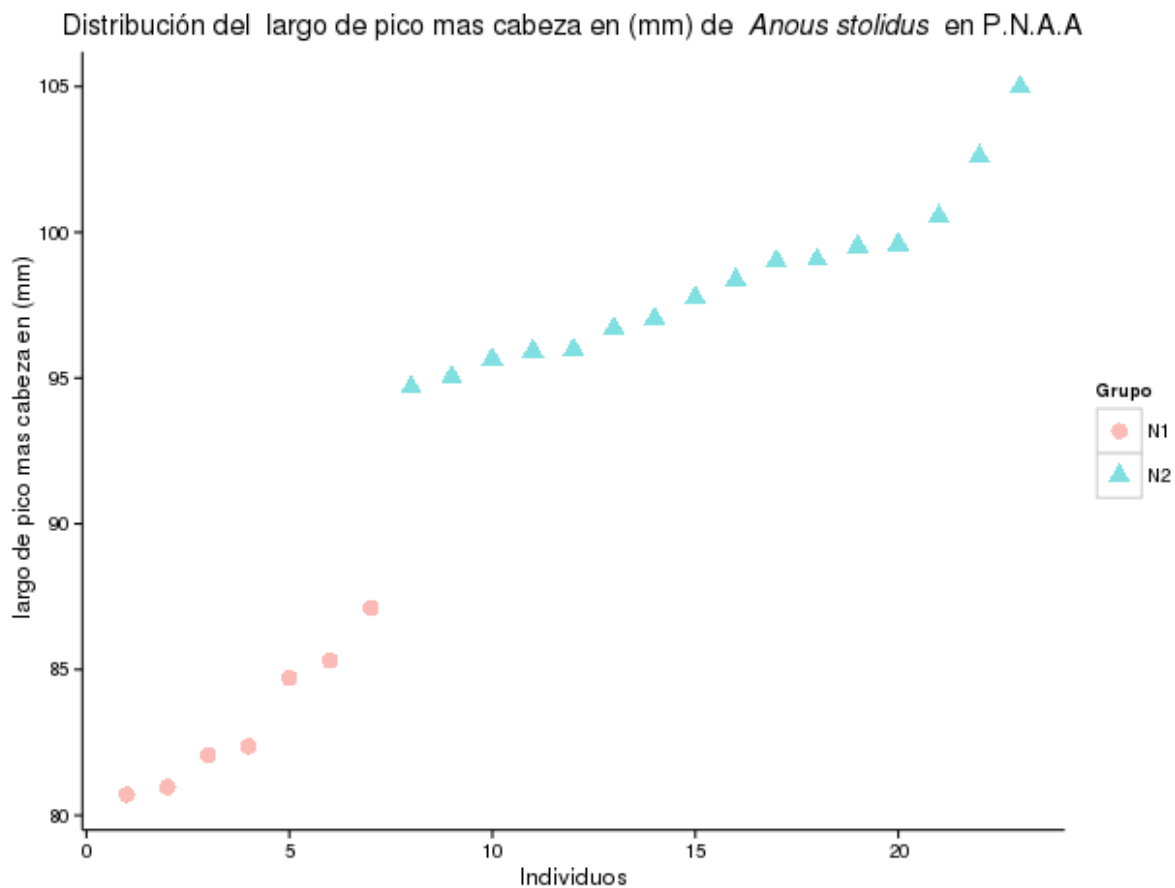
Para todos los caracteres se realizaron histogramas y gráficas de dispersión el tamaño del carácter se ordenó en forma ascendente, independientemente del ave medida. El orden de los resultados no refleja necesariamente el número de captura de las aves medidas. Los datos de medias, desviación estándar máximos y mínimos se muestran en la (Tabla 1).

**Tabla 1:** Análisis descriptivo para los datos primarios de *Anous stolidus* en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, las variables primarias n = 23 individuos.

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Media±SD</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Cabeza y pico</b>	mm	93±7	80	104
<b>Largo del culmen</b>	mm	43±2	39	46
<b>Ancho de culmen</b>	mm	10±1	7	12
<b>Tarso</b>	mm	26±2	22	33
<b>Peso Corporal</b>	g	187±16	160	215
<b>Cuerda alar</b>	mm	110±8	90	132
<b>Envergadura</b>	m	0.41±0.02	0.37	0.46
<b>Área del ala</b>	m <sup>2</sup>	0.03±0	0.02	0.03
<b>Cola</b>	mm	137±14	95	162

#### 4.1. Cabeza mas pico

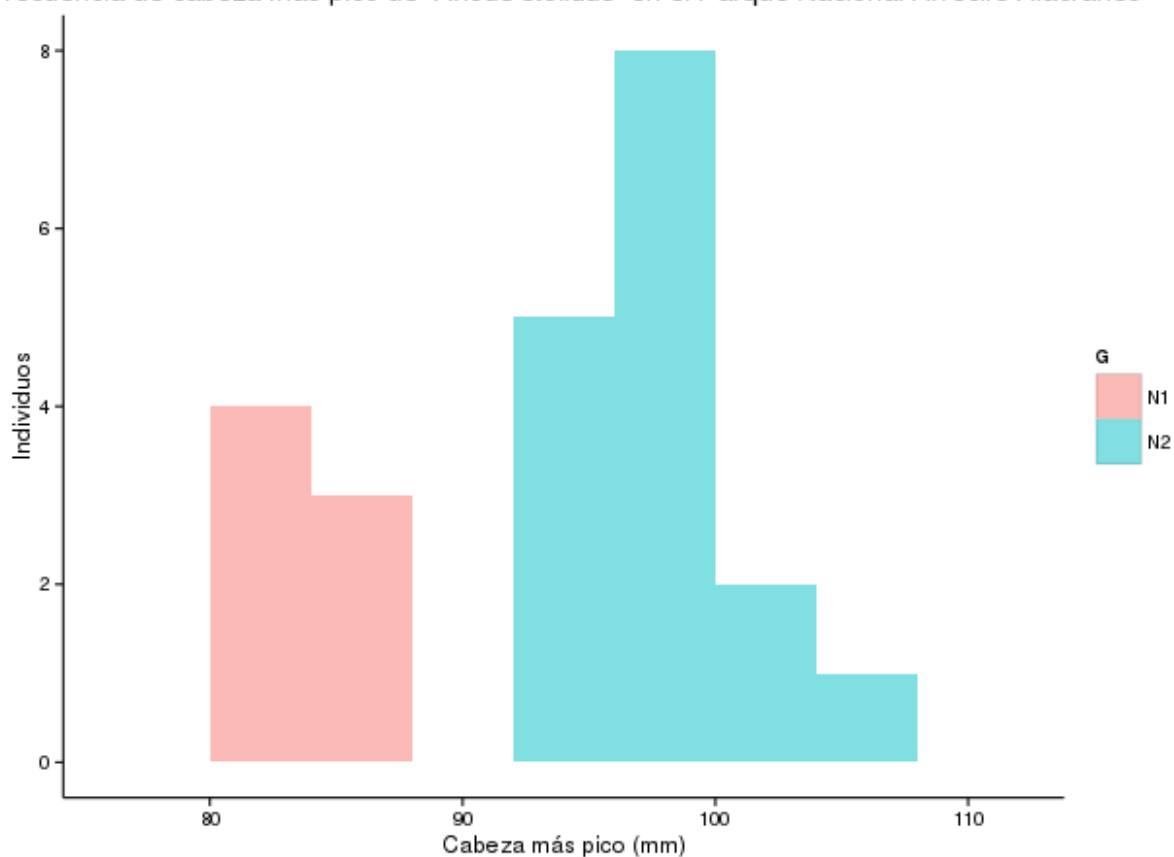
Al organizar los datos de tamaños del carácter cabeza más pico ordenado en forma ascendente se pudo observar una clara separación en dos grupos (Figura 7). Esta diferencia entre los grupos fue corroborada al efectuar una prueba binomial (Zar, 1999) donde las frecuencias observadas (Figura 8) de las dos categorías se presenta como el de una variable dicotómica con las frecuencias esperadas en una distribución binomial con un parámetro de probabilidad especificado con punto de corte en 90mm utilizando el software estadístico SPSS (IBM Corp., 2013) y se determinó la existencia de dos grupos con  $P=0.043$ .



**Figura 7:** Distribución en orden ascendente del tamaño de largo de la cabeza más pico de *Anous stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011, Eje Y tamaño del largo de la cabeza más pico (mm). Eje X número de individuos, el color rosa representa al grupo N1 (●), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (▲) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

Los grupos presentaron una diferencia en el largo de cabeza más pico de  $\approx 5$  mm, dicho tamaño fue mayor que la reportada por Chardine y Morris (1989) para *A. stolidus* en la colonia del refugio nacional de vida silvestre “Culebra” en Puerto Rico. Bajo esta condición se procedió a determinar a la población en dos grupos, denominando N1 al conjunto que presentó una media de  $83.32 \pm 2.4$  mm ( $n = 7$ ) y al conjunto N2 con una media de  $98.28 \pm 2.8$  mm ( $n = 16$ ). Con la prueba *t* de Student se determinó que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $t = -12.19$ , g.l. = 21,  $p < 0.001$ ).

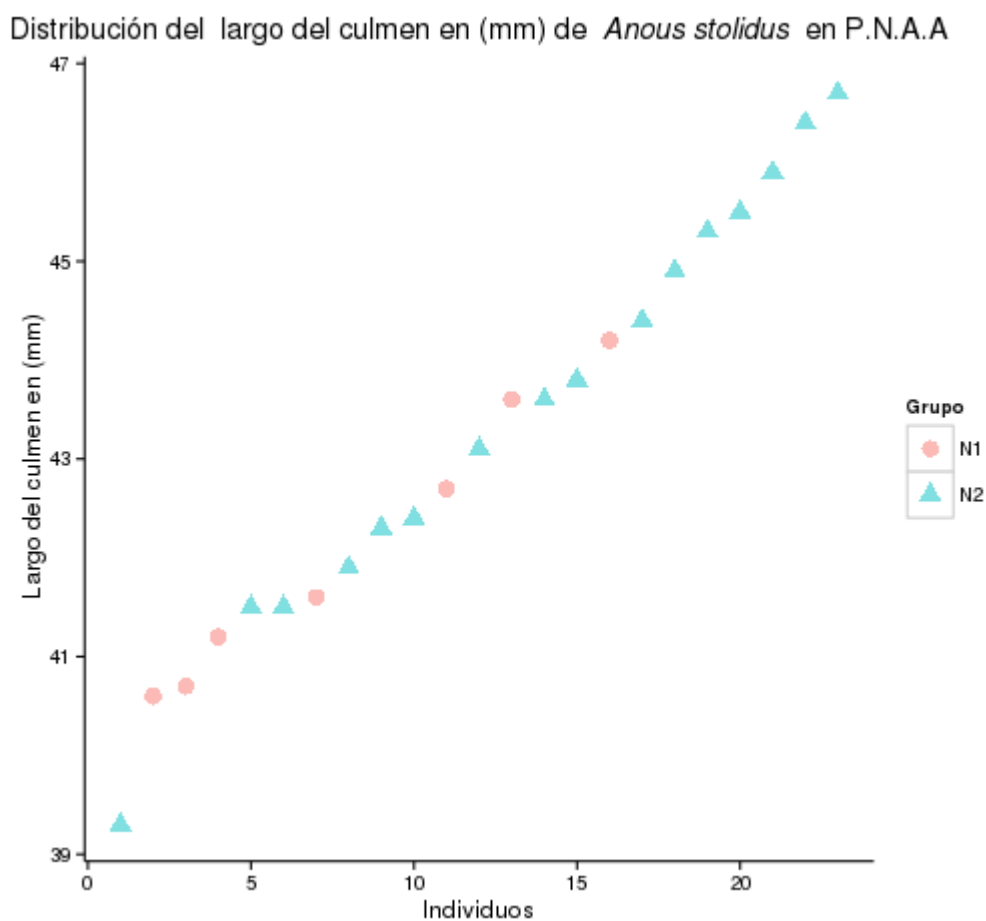
Frecuencia de cabeza más pico de *Anous stolidus* en el Parque Nacional Arrecife Alacranes



**Figura 8:** Frecuencia de tamaño de cabeza más pico. Eje X tamaño de cabeza más pico (mm), Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. El color rosa representa al grupo N1 (■), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (■) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

## 4.2. Largo del culmen

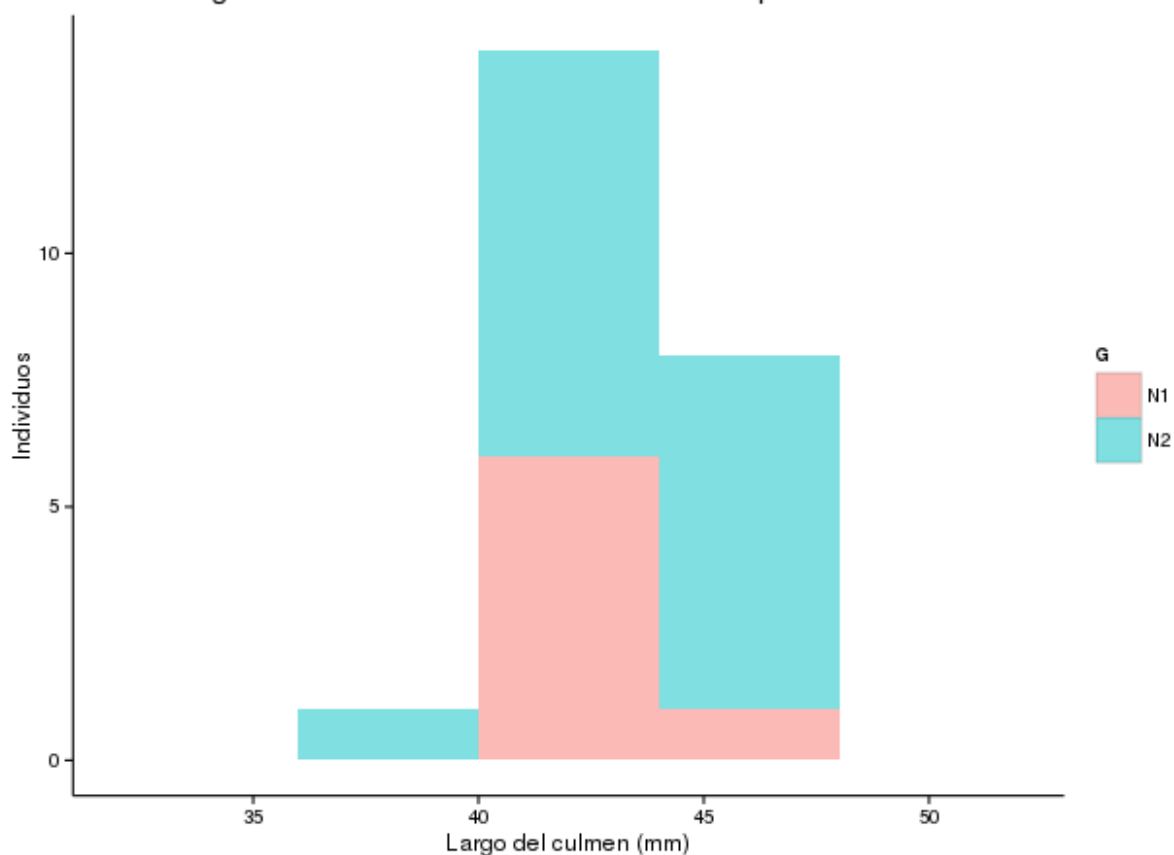
En el caso del largo del culmen el grupo N1 presentó un tamaño promedio de  $42.1 \pm 1.3\text{mm}$  ( $n = 7$ ) siendo  $\approx 3\%$  menor que la media del grupo N2 que presentó un largo de culmen promedio de  $43.6 \pm 2\text{mm}$  ( $n = 16$ ) (Figura 9). Esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $t = -1.80$ , g.l. = 21,  $p = 0.085$ ), pero se encontró una probabilidad 0.05.



**Figura 9:** Distribución en orden ascendente del tamaño de largo del culmen de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011, Eje Y tamaño del largo del culmen (mm), Eje X número de individuos, el color rosa representa al grupo N1 (●), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (▲) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

Incluso cuando la diferencia no fue significativa, se puede observar tamaños superiores en el grupo N2 presento tamaños de culmen de hasta 47mm y donde el grupo N1 no supero los 45 mm lo que sugiere que el largo del culmen puede presentar mayor correlación con el largo de la cabeza más pico que el presentado de 0.462 mm, debido a que el desempeño del observador se reduce cuando los caracteres biométricos analizados son mas pequeños, como lo sugieren (Barrett, et al. 1989 y Harper, 1994), aunque también puede indicar un traslape en la medida morfométrica como se da en otros Charadriiformes, p.ej. *Calidris mauri* (Franks et al. 2014)

Frecuencia del largo del culmen de *Anous stolidus* en el Parque Nacional Arrecife Alacranes

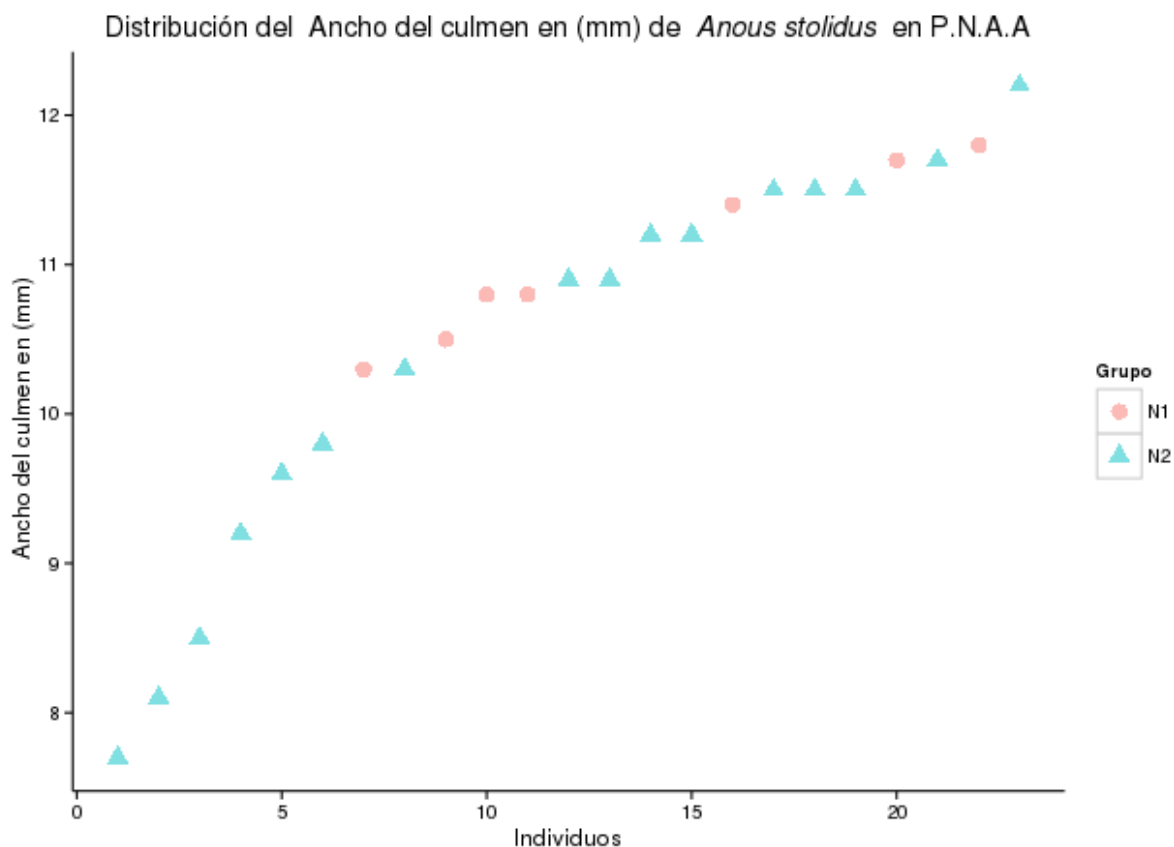


**Figura 10:** Frecuencia de tamaño del largo del culmen. Eje X tamaño del largo del culmen (mm), Eje Y numero de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. El color rosa representa al grupo N1 (■), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (■) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.



### 4.3. Ancho del culmen

El ancho del culmen el grupo N1 presentó un tamaño promedio de  $11.5 \pm 0.6$  mm ( $n = 7$ ) siendo  $\approx 6\%$  mayor que la media del grupo N2 que presentó tamaño promedio de  $10.4 \pm 1.4$  mm ( $n = 16$ ) (Figura 11). Esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $t = 1.23$ , g.l. = 21,  $p = 0.23$ ).

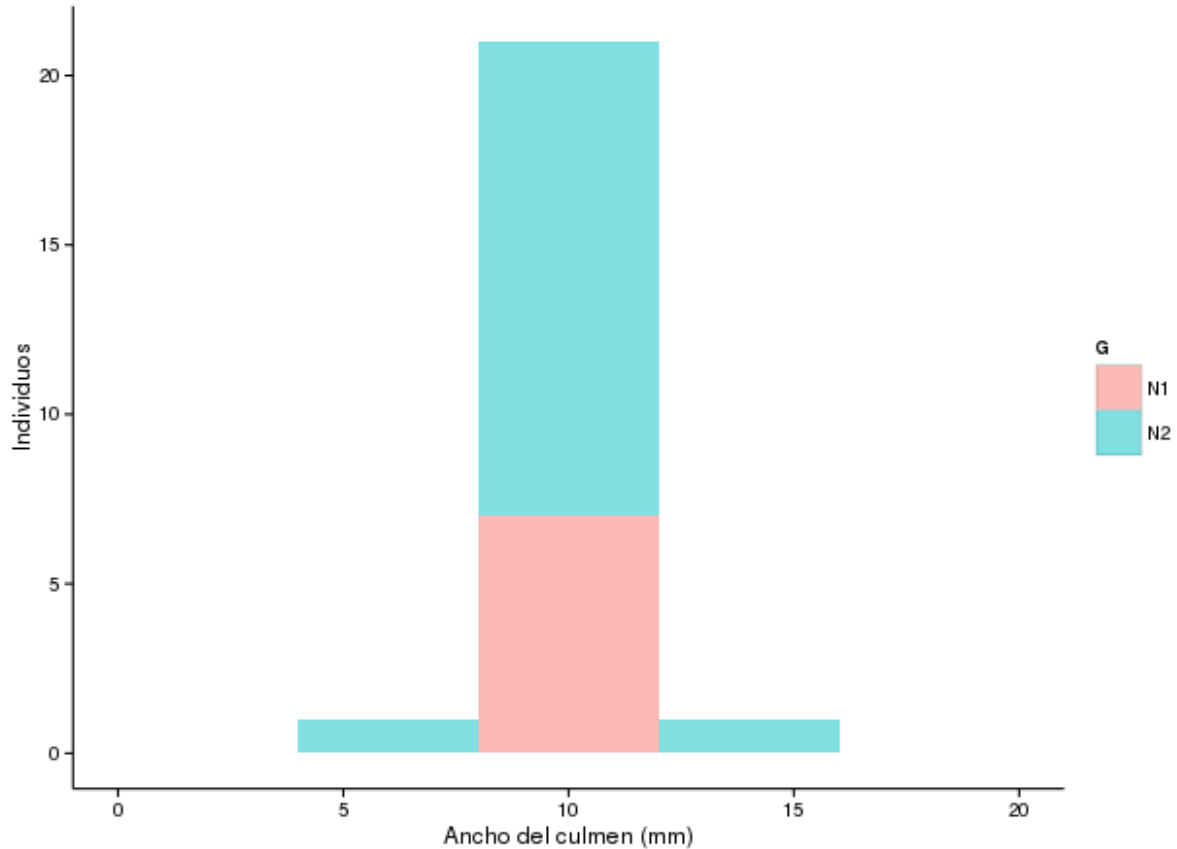


**Figura 11:** Distribución en orden ascendente del tamaño de ancho del culmen de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011, Eje Y tamaño del ancho del culmen (mm), Eje X número de individuos, el color rosa representa al grupo N1 (●), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (▲) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

En el tamaño del ancho del culmen (Figura 11) se evidenció una dispersión opuesta al del carácter de largo del culmen (Figura 9), en los tamaños de ancho de culmen los valores más pequeños pertenecen al grupo N2 mientras que en los tamaños de largo del culmen pertenecen al grupo N1, en el ancho del culmen los valores mínimos para el grupo N1 fueron cercanos a los 7 mm, mientras que para el grupo N2 su valor mínimo reportado fue de  $\approx 10$  mm.

Con respecto a la gráfica de frecuencias la diferencia entre largo del culmen (Figura 10) y el ancho del culmen (Figura 12) no son tan visibles posiblemente por que las diferencias del carácter biométricos ancho de culmen son mas pequeños que el del largo del culmen.

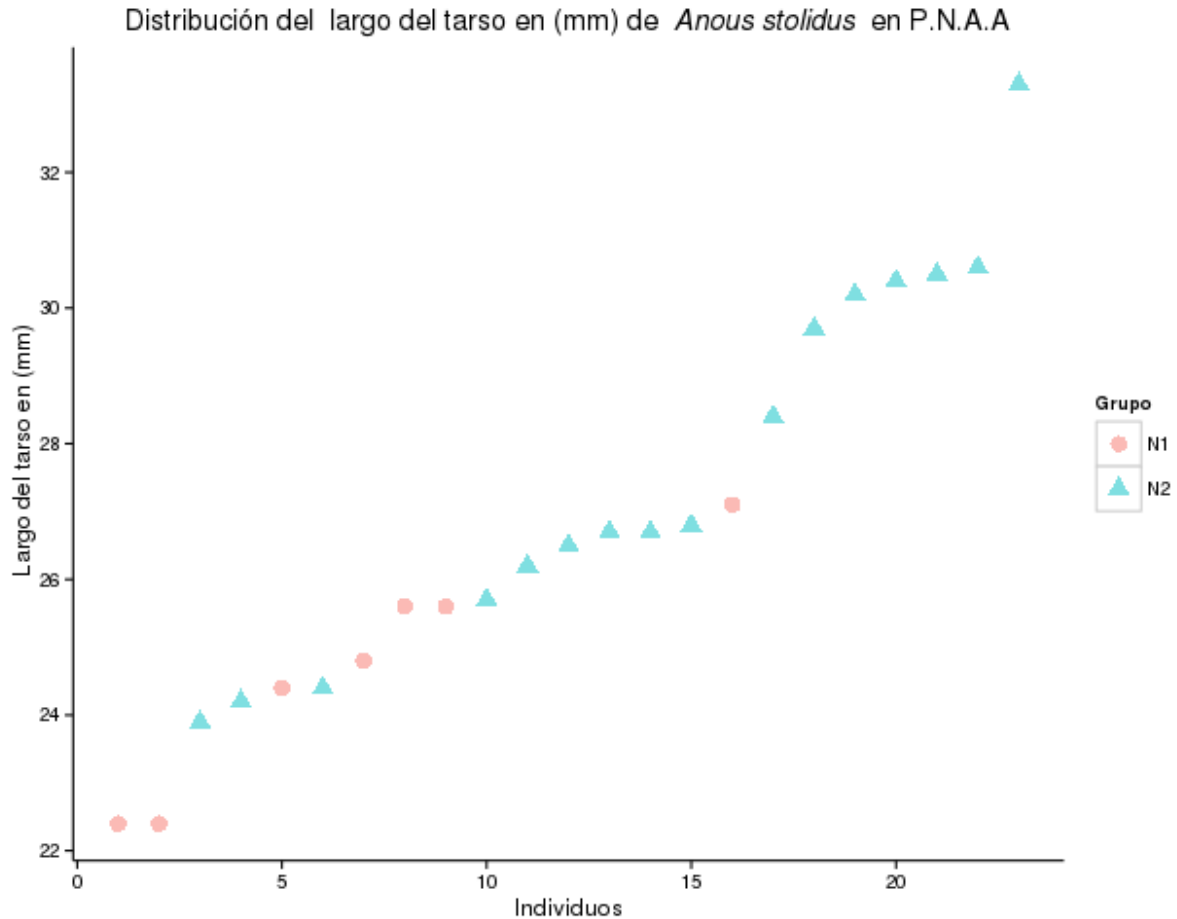
Frecuencia del ancho del culmen de *Anous stolidus* en el Parque Nacional Arrecife Alacranes



**Figura 12:** Frecuencia de tamaño del ancho del culmen. Eje X tamaño del largo del culmen (mm), Eje Y numero de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. El color rosa representa al grupo N1 (■), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (■) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

#### 4.4. Tarso

El tamaño de largo tarso presentó en el grupo N1 un promedio de  $24.6 \pm 2\text{mm}$  ( $n = 7$ ) siendo  $\approx 13\%$  menor que la media del grupo N2 que presentó un tamaño promedio de  $27.7 \pm 3\text{mm}$  ( $n = 16$ ), esta diferencia fue estadísticamente significativa ( $t = -2.77$ , g.l. = 21,  $p = 0.011$ )

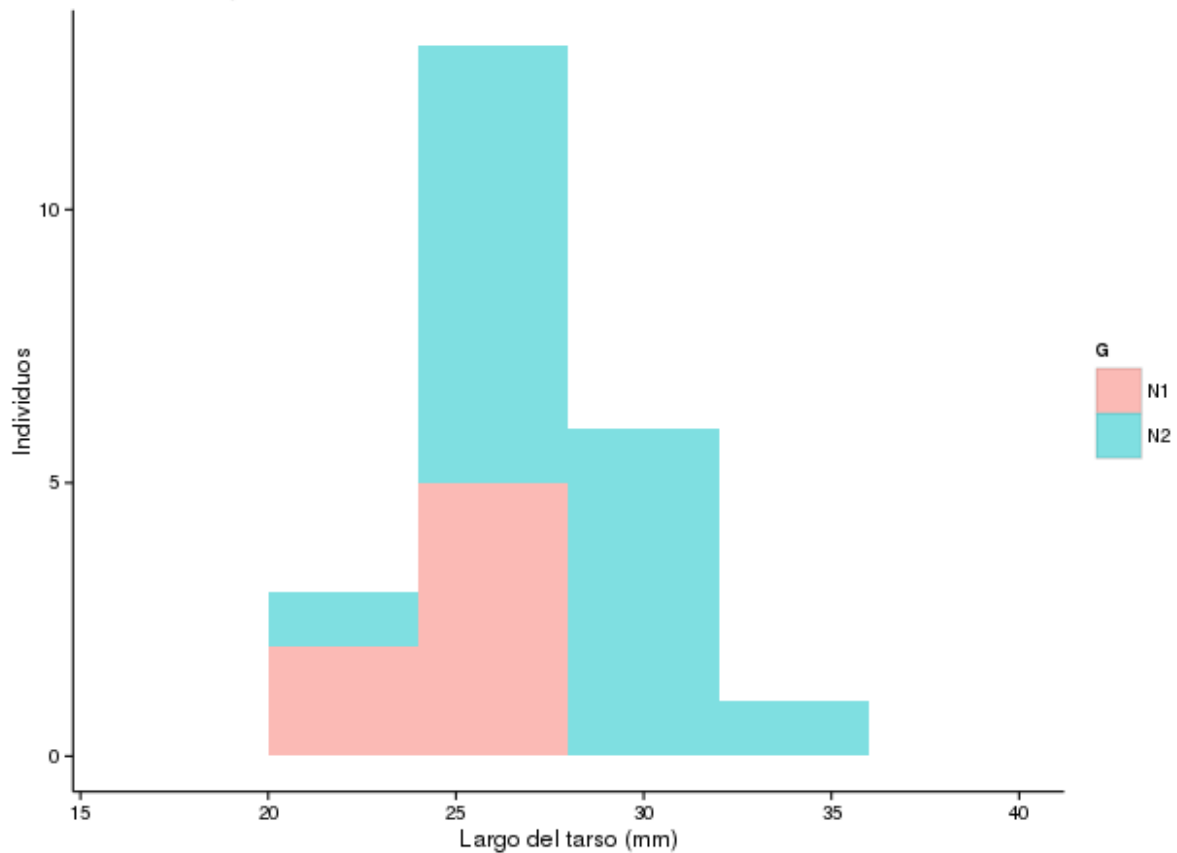


**Figura 13:** Distribución en orden ascendente del tamaño de largo del tarso de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011, Eje Y tamaño del largo del tarso (mm), Eje X número de individuos, el color rosa representa al grupo N1 (●), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (▲) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

La dispersión del tamaño del tarso (Figura 13) muestra un traslape entre grupos, pero el grupo N1 presenta los valores mas pequeños, similar a la gráfica de dispersión del tamaño del largo del culmen (Figura 9).

En la gráfica de frecuencias del tamaño de largo del tarso (Figura 14) se observa que el tamaño del tarso en el grupo N1 no supera los 28 mm y que la moda para los dos grupos se presenta en el intervalo de 24 a 28 mm.

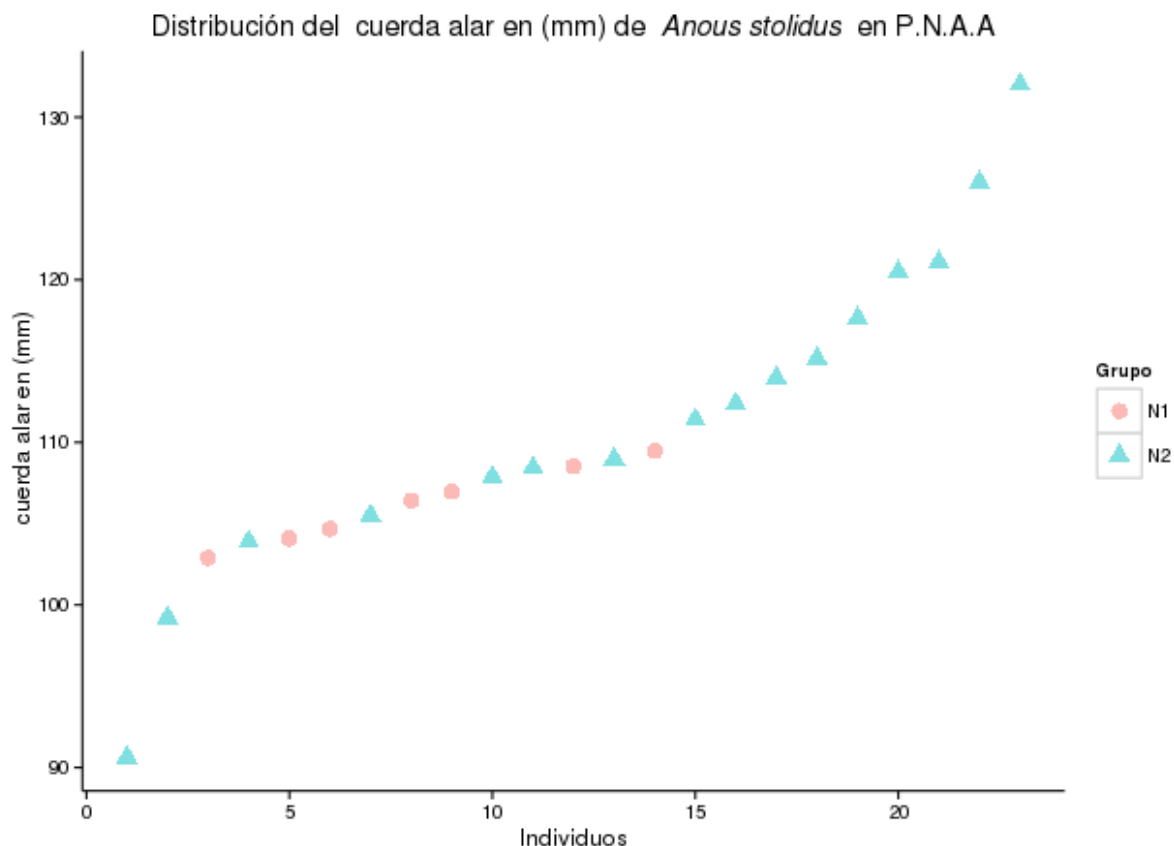
Frecuencia del largo del tarso de *Anous stolidus* en el Parque Nacional Arrecife Alacranes



**Figura 14:** Frecuencia de tamaño del largo del tarso. Eje X tamaño del largo del tarso (mm), Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. El color rosa representa al grupo N1 (■), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (■) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

## 4.5. Cuerda alar

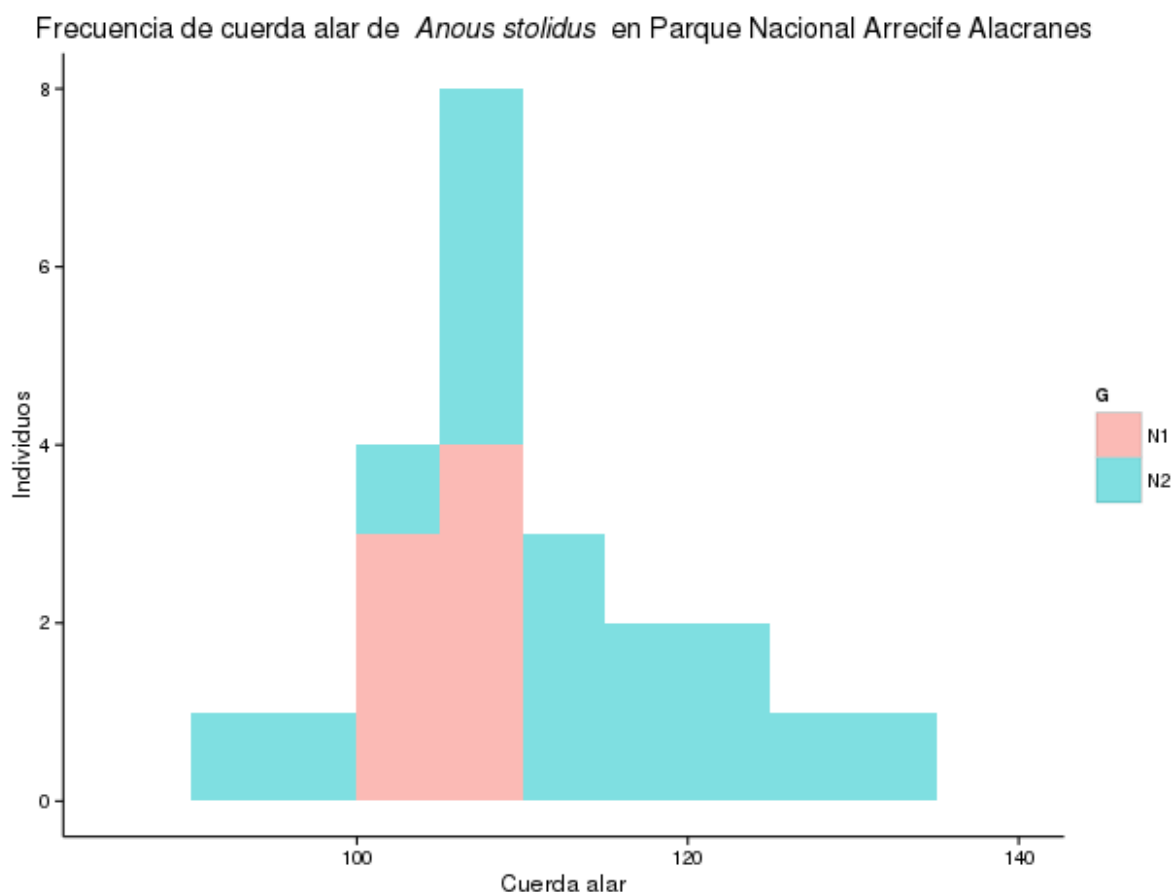
En la cuerda alar el grupo N1 presentó una media de cuerda alar promedio de  $106.1 \pm 2\text{mm}$  ( $n = 7$ ) siendo N1  $\approx 5\%$  menor que la media del grupo N2 que presentó una cuerda alar promedio de  $112.1 \pm 10\text{mm}$  ( $n = 16$ ) (Figura 15); esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $t = -1.52$ , g.l. = 21,  $p = 0.14$ )



**Figura 15:** Distribución en orden ascendente del tamaño de la cuerda alar de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011, Eje Y tamaño de la cuerda alar (mm), Eje X número de individuos, el color rosa representa al grupo N1 (●), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (▲) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

Se encontró que la distribución de la cuerda alar presento traslape, pero el grupo N1 presento los valores mas pequeños y fue similar a la reportada a la distribución del largo del culmen (Figura 9) y a la distribución del largo del tarso (Figura 13).

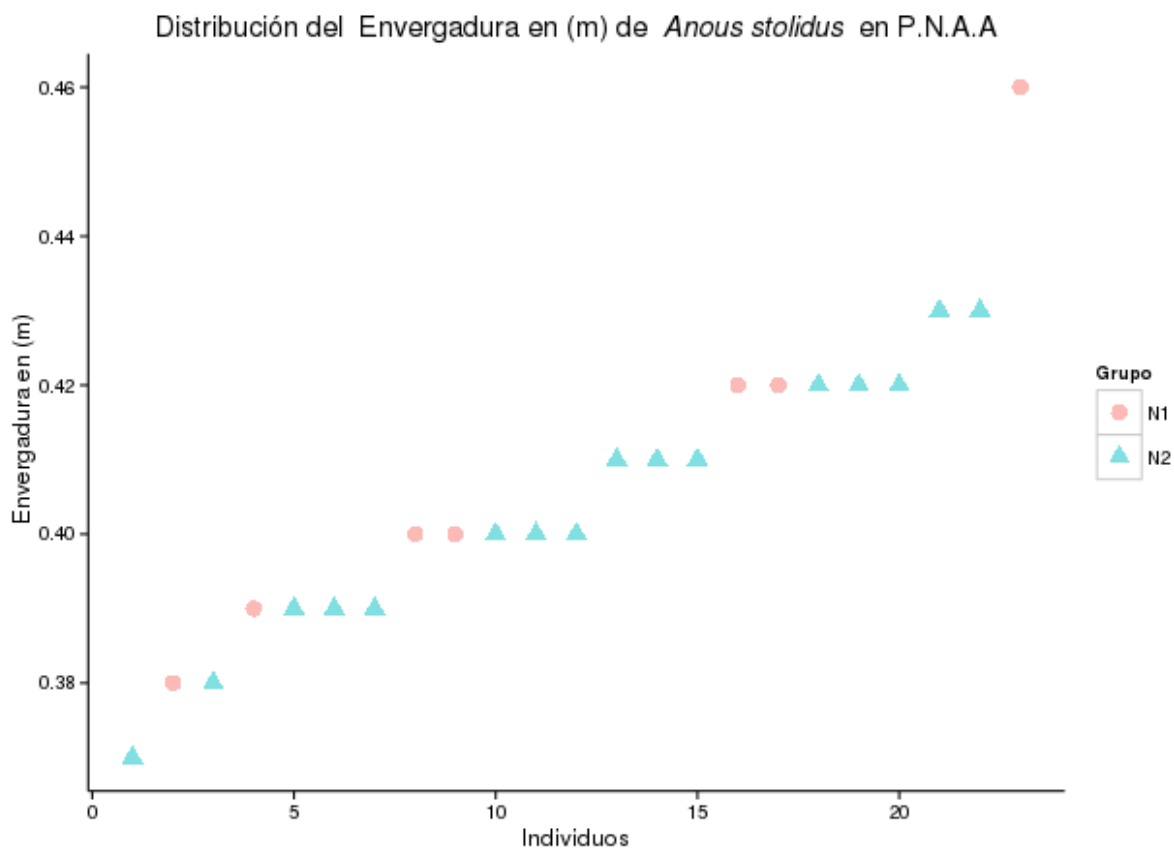
Sé encontró en la gráfica de frecuencias del tamaño de la cuerda alar (Figura 16) que el grupo N1 (■) no supera los 115mm y que la moda para los dos grupos se presenta en el intervalo de 100 a 115 mm. La gráfica de frecuencia de la cuerda alar es similar a la gráfica de frecuencia del tamaño del tarso (Figura 14) donde las frecuencias del grupo N2 tienden a presentarse en tamaños superiores a la moda.



**Figura 16:** Frecuencia de tamaño del la cuerda alar. Eje X tamaño de la cuerda alar (mm), Eje Y número de individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. El color rosa representa al grupo N1 (■), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (■) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

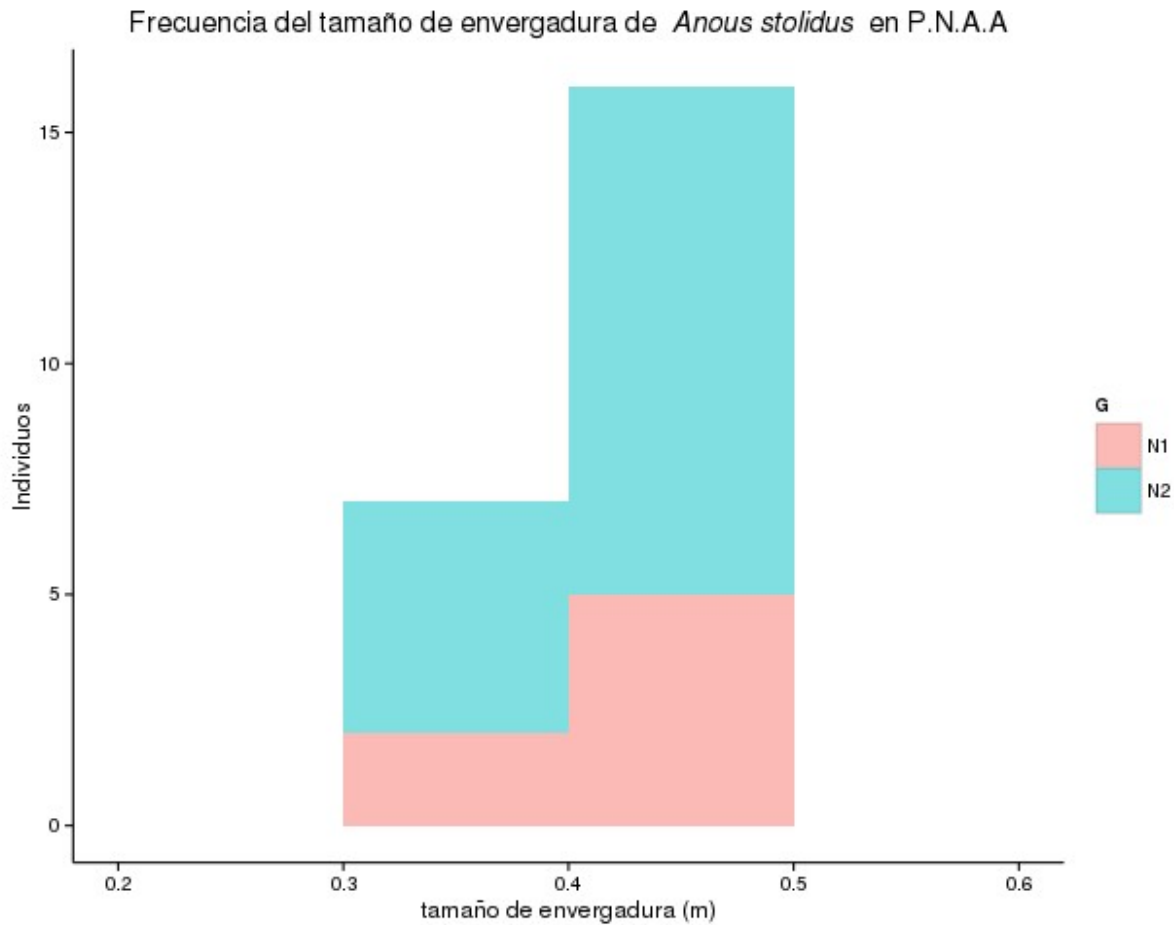
## 4.6. Envergadura

En el tamaño de la envergadura el grupo N1 presentó una media promedio de  $0.4 \pm 0.02\text{m}$  ( $n = 7$ ) siendo  $\approx 1\%$  mayor que la media del grupo N2 que presentó una cuerda alar promedio de  $0.4 \pm 0.01\text{m}$  ( $n = 16$ ) (Ilustración 6). Esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $t = 0.60$ , g.l. = 21,  $p = 0.55$ )



**Figura 17:** Distribución en orden ascendente del tamaño de la envergadura de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011, Eje Y tamaño de la envergadura (m), Eje X número de individuos, el color rosa representa al grupo N1 (●), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (▲) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

En la gráfica de frecuencia de la envergadura (Figura 18) se encontró que los dos grupos tienen su moda en el intervalo dentro de 0.4m a 0.5m. Los dos grupos contienen sus restantes frecuencias dentro del intervalo de 0.3m a 0.4m.



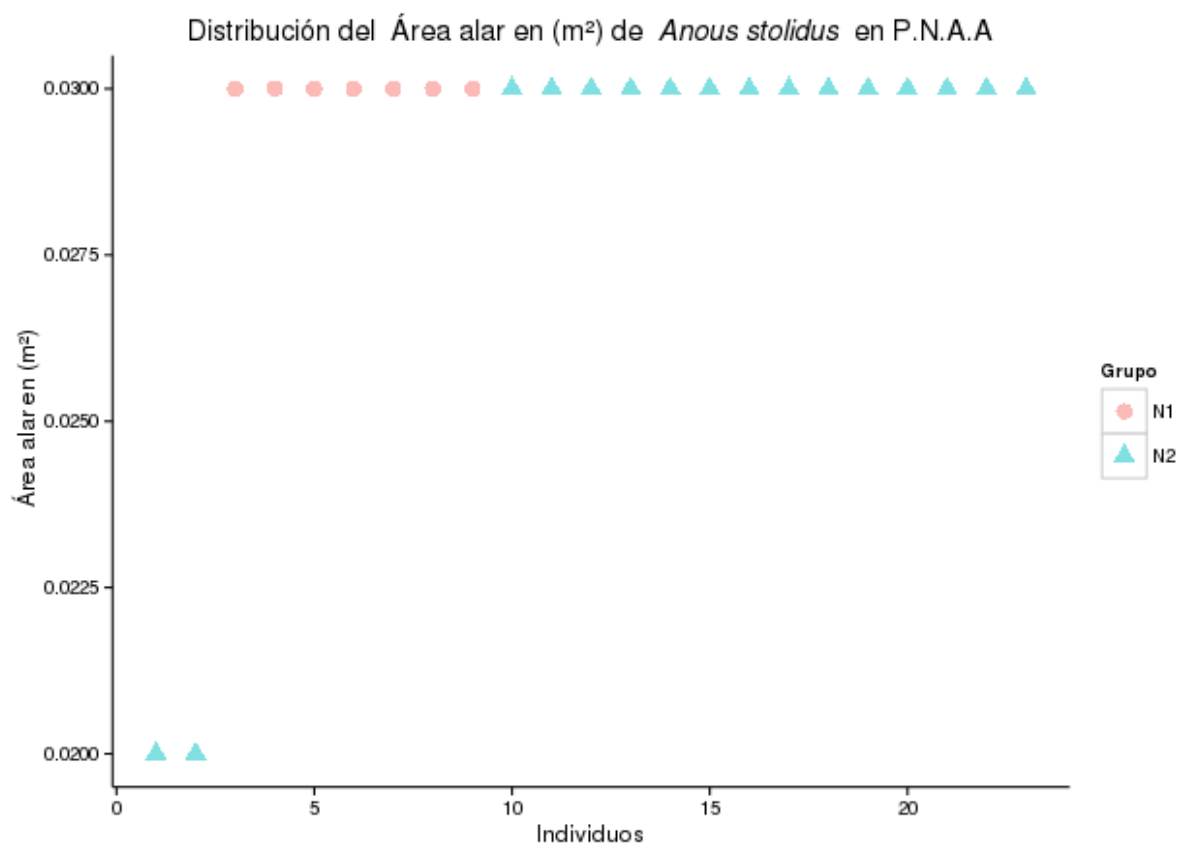
**Figura 18:** Frecuencia de tamaño del la envergadura. Eje X tamaño de la envergadura (m), Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. El color rosa representa al grupo N1 (■), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (■) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.



## 4.7. Área alar

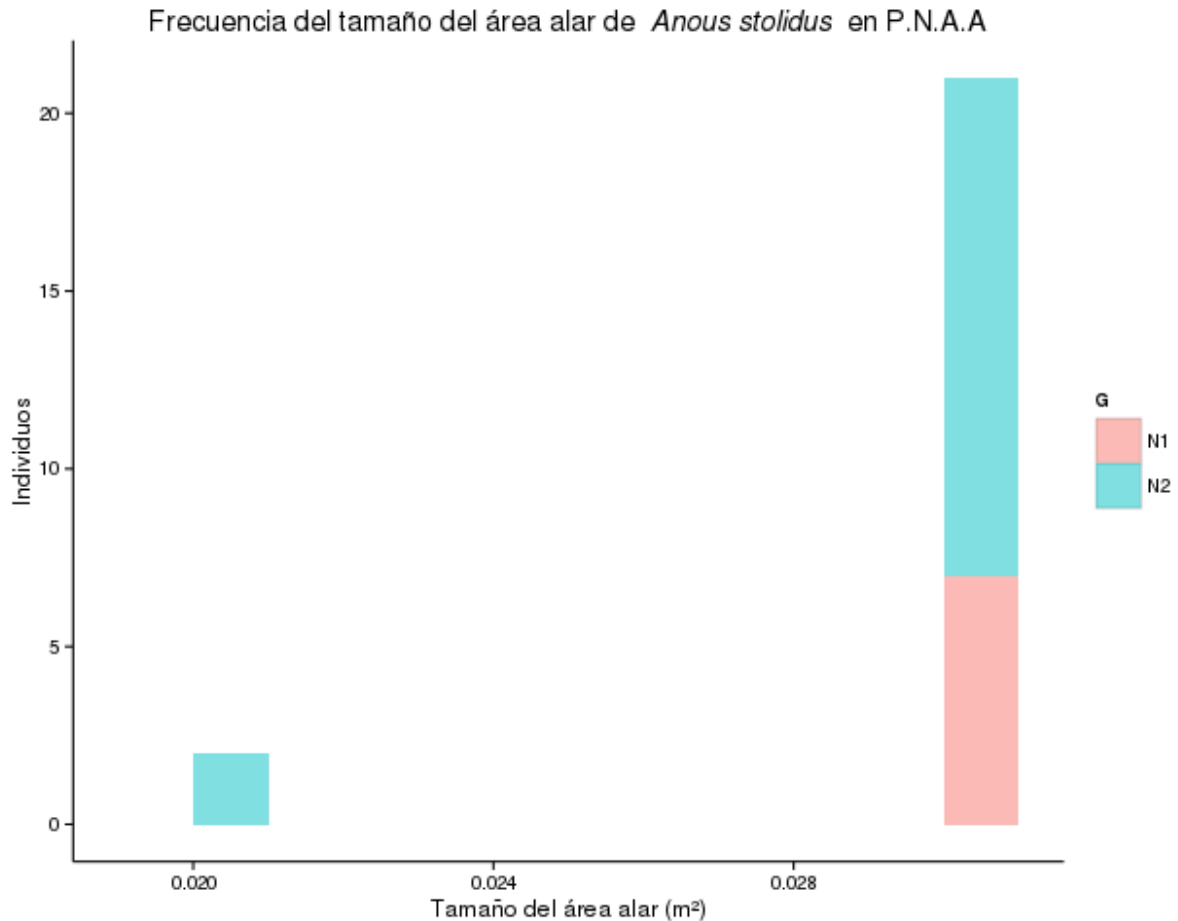
En el área alar el grupo N1 presentó una media promedio de  $0.030 \pm 0 \text{ m}^2$  ( $n = 7$ ) siendo  $\approx 41\%$  mayor que la media del grupo N2 que presentó una cuerda alar promedio de  $0.028 \pm 0 \text{ m}^2$  ( $n = 16$ ). Esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $t = 0.95$ , g.l. = 21,  $p = 0.35$ ).

Sé encontró en la gráfica de dispersión del área alar que los valores de los individuos del grupo N2 cercanos a los  $0.02 \text{ m}^2$  invierten los datos de la media puesto que la mayoría de los datos para los grupos se encuentran en  $0.03 \text{ m}^2$ , sin embargo con esos dos datos se considera superior la media del grupo N1 en un 41%.



**Figura 19:** Distribución en orden ascendente del tamaño de área alar de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011, Eje Y tamaño de la área alar ( $\text{m}^2$ ), Eje X número de individuos, el color rosa representa al grupo N1 (●), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (▲) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

En la gráfica de frecuencia del tamaño del área alar (Figura 20) se observa la moda de los grupos en el intervalo del 0.03 m<sup>2</sup>.

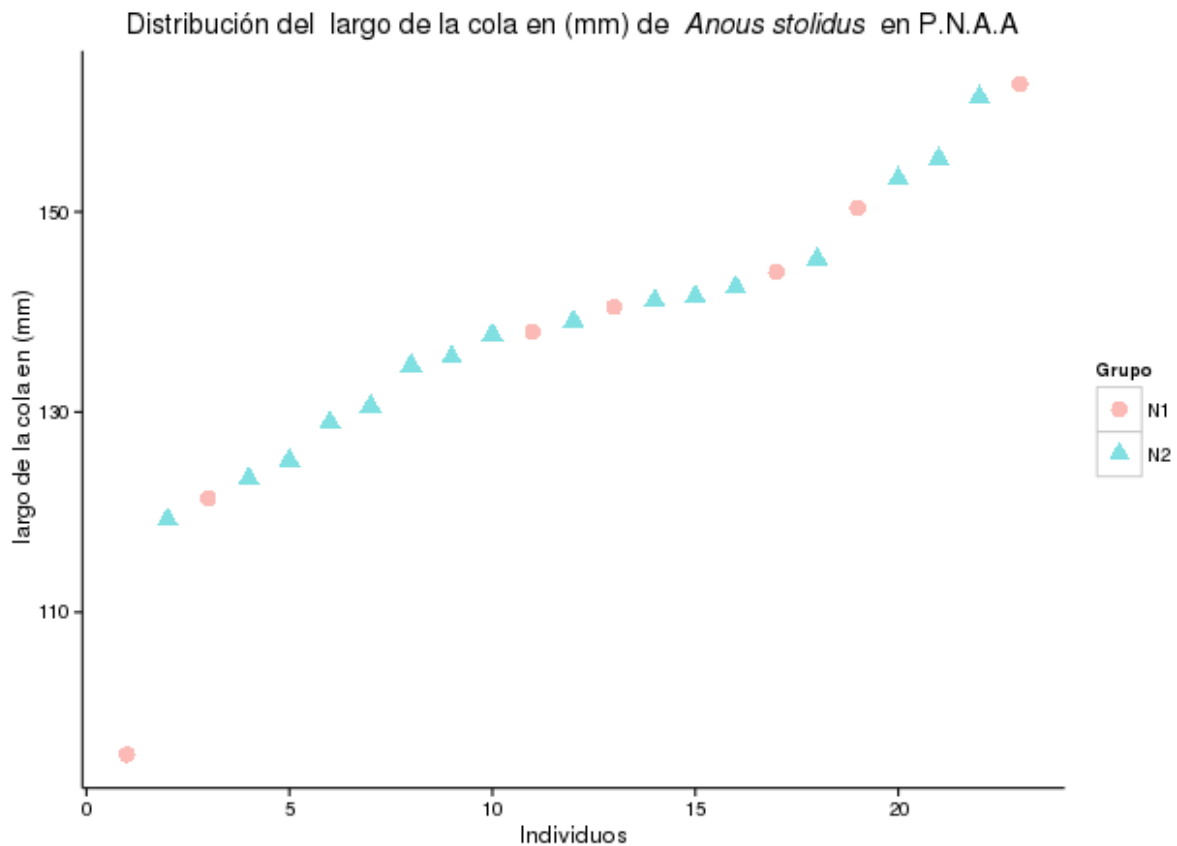


**Figura 20:** Frecuencia de tamaño del área alar. Eje X tamaño del área alar (m<sup>2</sup>), Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. El color rosa representa al grupo N1 (■), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (■) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

## 4.8. Cola

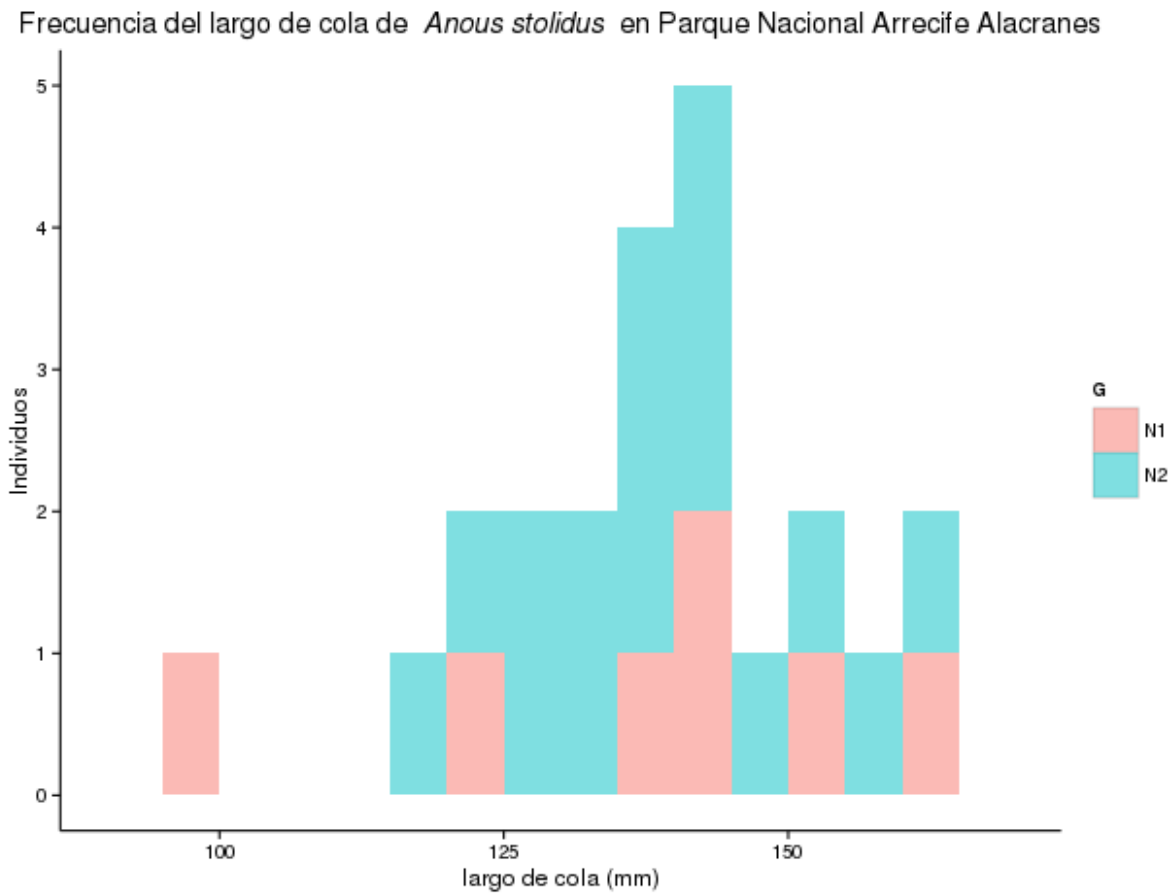
El grupo N1 presentó una media de largo de cola promedio de  $136 \pm 22\text{mm}$  ( $n = 7$ ) siendo  $\approx 1\%$  menor que la media del grupo N2 que presentó una cuerda alar promedio de  $138 \pm 11\text{mm}$  ( $n = 16$ ), esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $t = -0.33$ , g.l. = 21,  $p = 0.74$ ).

Sé encontró que la distribución del tamaño de la cola es similar a la distribución del tamaño del ancho del culmen (Figura 11).



**Figura 21:** Distribución en orden ascendente del tamaño del largo de cola de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011, Eje Y tamaño del largo de la colar (mm), Eje X número de individuos, el color rosa representa al grupo N1 (●), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (▲) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

En la gráfica de frecuencia del tamaño del largo de cola (Figura 22) se encontró que el traslape entre los grupos abarca todo los intervalos.



**Figura 22:** Frecuencia de tamaño del largo de cola. Eje X tamaño del largo de cola (mm), Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. El color rosa representa al grupo N1 (■), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (■) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

Los valores mínimos, máximos, medias y desviación estándar para las variables morfométricas para cada grupo fueron resumidas en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Análisis descriptivo de los datos primarios divididos por grupos de *Anous stolidus* en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A).

Variable	Unidad	Media±SD		Mínimo		Máximo	
		N1	N2	N1	N2	N1	N2
<b>Cabeza y pico</b>	mm	82±2	98±2	80.1	94.6	87.1	104.9
<b>Largo del culmen</b>	mm	42±1	43±2	40.6	39.3	44.2	46.7
<b>Ancho de culmen</b>	mm	10±0	10±1	9.1	7.7	11.8	12.2
<b>Tarso</b>	mm	25±2	27±2	22.4	23.9	29.2	33.3
<b>Peso Corporal</b>	g	180±14	190±16	160	165	205	215
<b>Cuerda alar</b>	mm	107±5	112.1±1	102	90	120	132
<b>Envergadura</b>	m	0.4±0.0 3	0.4±0.0 2	0.38	0.37	0.46	0.43
<b>Área del ala</b>	m <sup>2</sup>	0.030±0	0.028±0	0.03	0.02	0.03	0.03
<b>Cola</b>	mm	136.1±2	138.4±1	136	119	162	161

De la misma manera los resultados de las pruebas *t* de Student para cada los caracteres morfométricos se resumieron en la (Tabla 3).

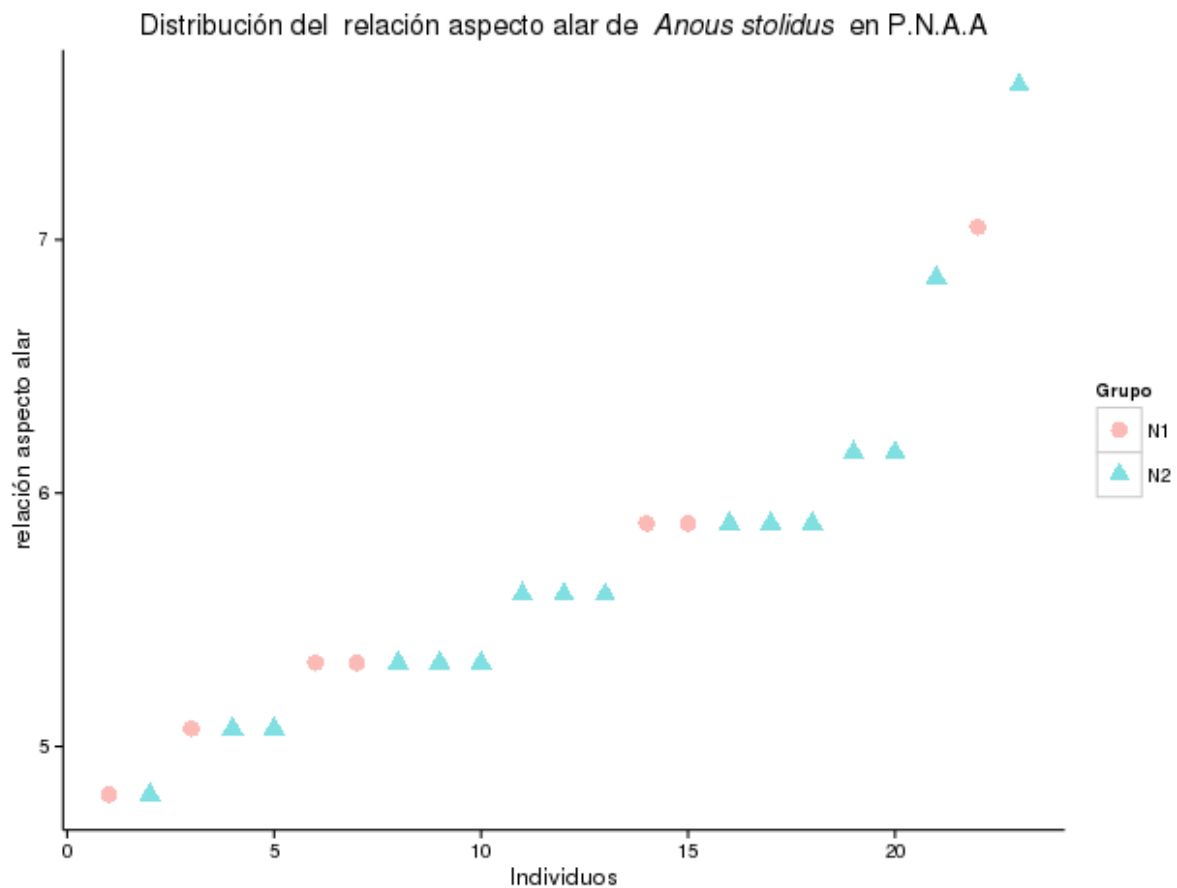
**Tabla 3:** Resultado de las pruebas *t* de Student para los grupos N1 y N2 de las medias de las variables anatómicas de *Anous stolidus* en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A)., Los valores representados son *t*= valor de *t* en tabla, *p*= nivel de significación, los grados de libertad = 21 en todas las muestras.

Variable	<i>t</i>	<i>p</i>
<b>Cabeza y pico</b>	-13.05	<0.001
<b>Largo del culmen</b>	-1.91	0.0685
<b>Ancho de culmen</b>	0.8085	0.4275
<b>Tarso</b>	-2.2769	0.03287
<b>Cuerda alar</b>	-1.0739	0.2945
<b>Envergadura</b>	1.0375	0.3108
<b>Área del ala</b>	1.6714	0.1088
<b>Cola</b>	-0.0582	0.9542

## 4.9. Morfometría alar

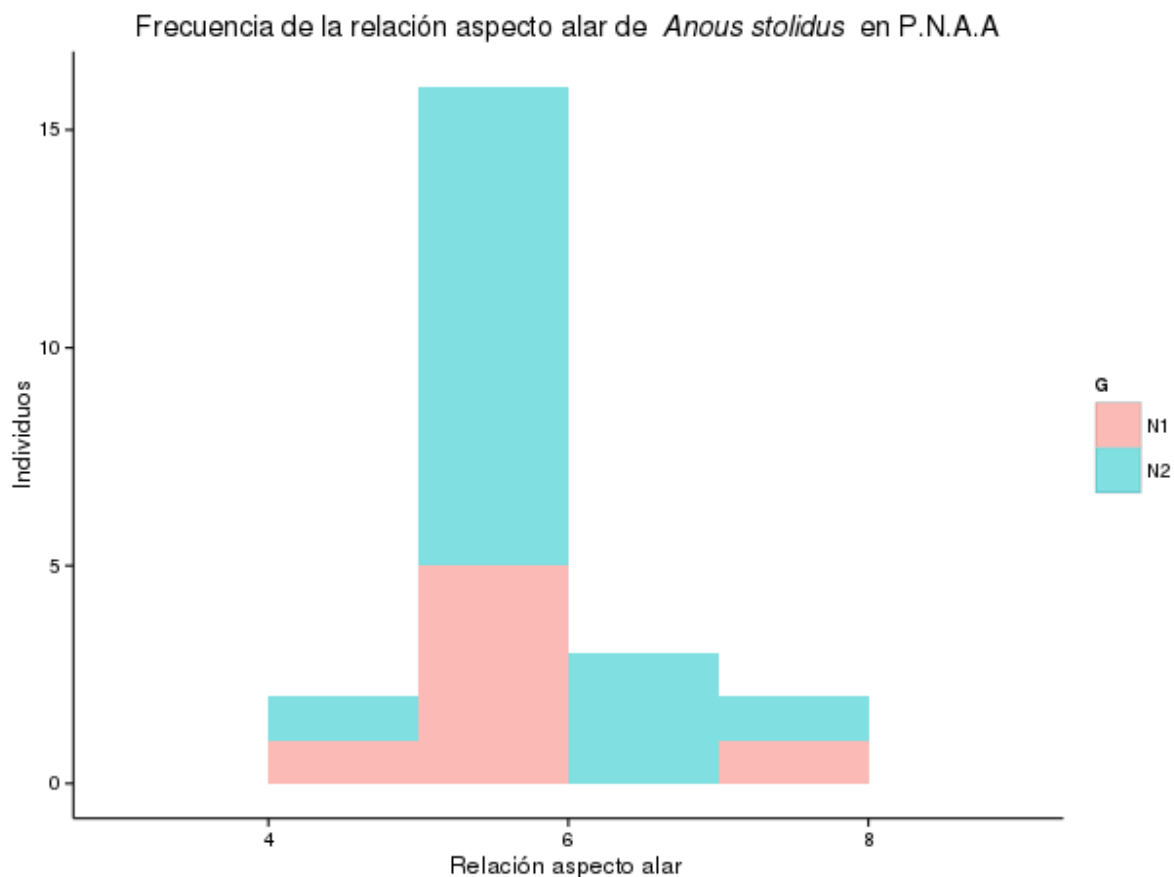
### 4.9.1. Relación aspecto alar

Con respecto a la relación aspecto alar el grupo N1 presentó una media de  $5.6 \pm 0.7$  ( $n = 7$ ) siendo  $\approx 2\%$  menor que la media del grupo N2 que presentó una cuerda alar promedio de  $5.7 \pm 0.7$  ( $n = 16$ ). Esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $t = -0.42$ , g.l. = 21,  $p = 0.67$ ).



**Figura 23:** Distribución en orden ascendente del tamaño del largo de cola de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011, Eje Y tamaño del largo de la colar (mm), Eje X número de individuos, el color rosa representa al grupo N1 (●), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (▲) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

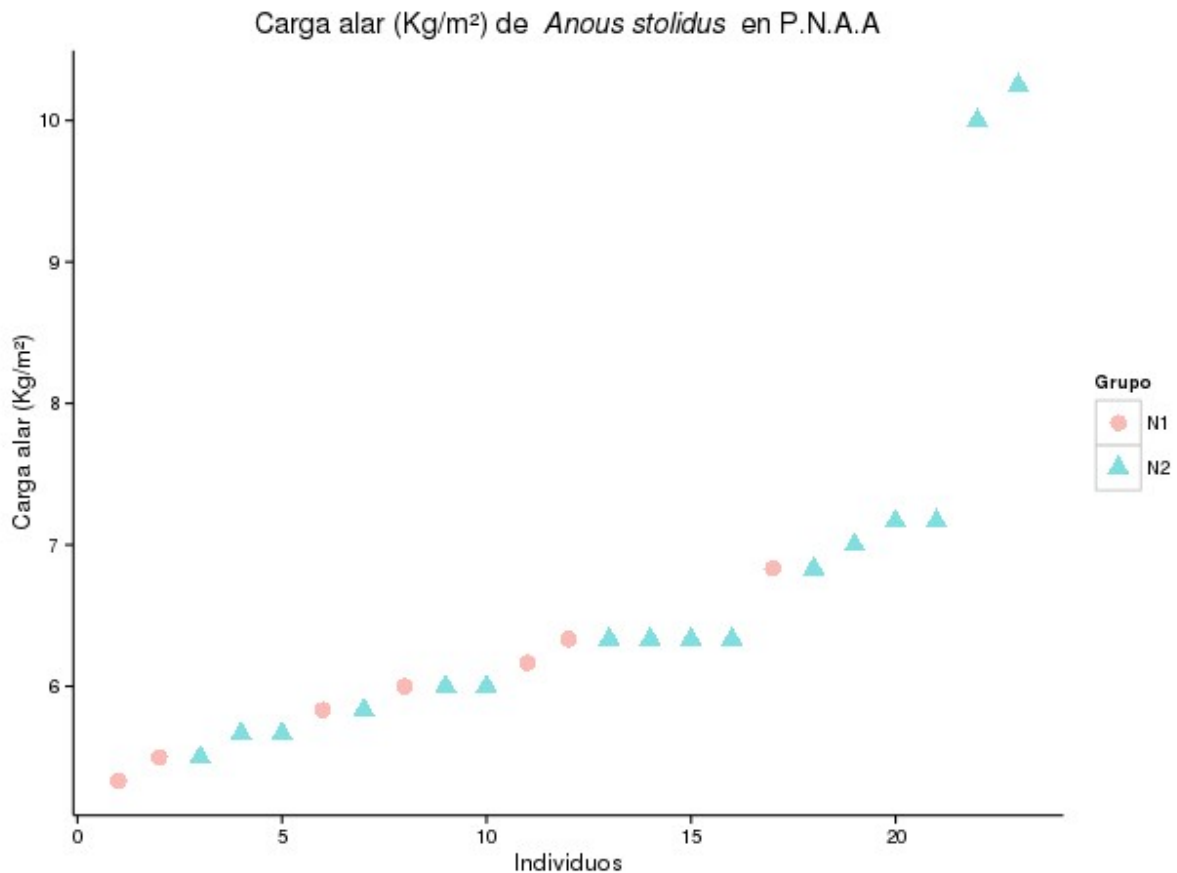
En la gráfica de frecuencia de la relación aspecto alar se encontró que los dos grupos tienen su moda en el intervalo dentro de 5 a 6. Los dos grupos contienen sus restantes frecuencias dentro del intervalo de 4 a 8 unidades.



**Figura 24:** Frecuencia de la relación aspecto alar. Eje X tamaño del aspecto alar, Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. El color rosa representa al grupo N1 (■), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (■) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

#### 4.9.2. Carga alar

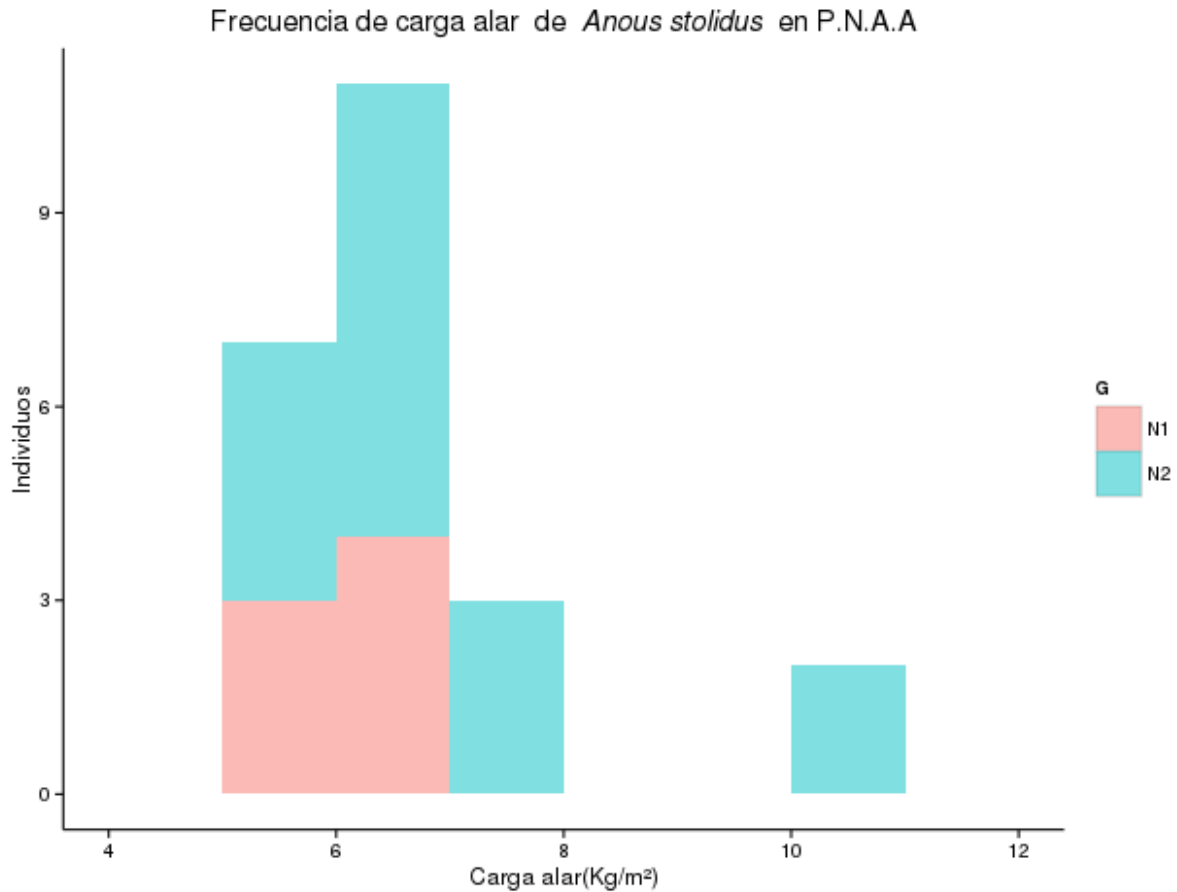
En la carga alar el grupo N1 presentó un promedio de  $6 \pm 0.51$  N/m<sup>2</sup> (n = 7) siendo  $\approx 2\%$  menor que la media del grupo N2 que presentó una carga alar promedio de  $6.7 \pm 1.4$  N/m<sup>2</sup> (n = 16). Esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $t = -1.40$ , g.l. = 21,  $p = 0.17$ ).



**Figura 25:** Distribución en orden ascendente del tamaño de la carga alar (kg/m<sup>2</sup>) de *A. stolidus* en la isla Pérez en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (P.N.A.A) 2011, Eje Y tamaño del largo de la colar (mm), Eje X número de individuos, el color rosa representa al grupo N1 (●), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (▲) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.



En la gráfica de frecuencia (Figura 26) se comprobó que la moda de cada uno de los grupos se ubicó dentro del mismo intervalo de 6 a 7 mm.



**Figura 26:** Frecuencia de carga alar. Eje X tamaño de carga alar, Eje Y número de Individuos de *A. stolidus* en isla Pérez del Parque Nacional Arrecife Alacranes 2011. El color rosa representa al grupo N1 (■), el cual se determinó como el grupo con menor tamaño de cabeza más pico para este trabajo, el color azul representa al grupo N2 (■) el cual se determinó como grupo con mayor tamaño de cabeza más pico.

## Capítulo 5. Discusión

---

Aun cuando no se pudo determinar de forma independiente el sexo de los dos grupos de *Anous stolidus* del P.N.A.A., considerando las características anatómicas de esta especie, el grupo N2 pudiera estar formado por machos, a partir de la comparación de la media de los caracteres de los trabajos anteriores con *A. stolidus* en Puerto Rico (Chardine & Morris 1989) y en el Atlántico tropical (Murphy, 1936). En estos trabajos los caracteres como cabeza más pico, largo y ancho de culmen y el tarso, las medias más grandes pertenecen exclusivamente a los machos. Sin embargo, es necesario verificar independientemente el sexo de los ejemplares de las muestras obtenidas por otro método para poder confirmar esta suposición; se sugiere determinar el sexo de las aves usadas en el estudio mediante análisis moleculares, como el uso de cromosomas ZZ/ZW que ha sido usado en el sexado de Charadriiforme (Fridolfsson y Ellegren 1999, Wakisaka et al. 2006, Galarza e Hidalgo 2008), para poder determinar que el carácter de cabeza más pico es un indicador confiable de dimorfismo sexual.

Se compararon las mediciones en campo con las mediciones obtenidas por fotografías digitales procesada sin encontrarse diferencias significativas en los resultados. Para asegurar la precisión de las fotografías digitales se realizaron procesos como la alineación de forma horizontal y la aplicación de las rejillas para una medición mas precisa, existe la posibilidad de cometer errores en medidas lineales o angulares propias de la técnicas (Van der Molen et al. 2007).

Si bien los estudios de dieta *A. stolidus* en el Golfo de México y en especial en P.N.A.A. no se han hecho con la misma intensidad que en otras ubicaciones, se puede considerar que la mayor parte de su dieta se compone de calamares *Sardinella anchovia* (Morris & Chardine 1992, de la Cueva obs. pers.). Para poder considerar el supuesto que factores como diferente tamaño de presa o abundancia pudieran estar relacionado con algún aspecto morfométrico, seria necesario desarrollar trabajos de dietas que incluya análisis de diferentes periodos, para documentar posibles variaciones estacionales en la composición y abundancia del tamaño de las presas. Se sugiere hacer realizar estudios relacionado con la dieta de *A.stolidus* en él P.N.A.A.,

para determinar similitudes o diferencias con otras colonias y selección de presas disponibles en el área.

## Capítulo 6. Conclusiones

Se identificó la longitud de la cabeza más pico como un carácter dimórfico para la población de *Anous stolidus* en la colonia de isla Pérez en Arrecife Alacranes.

Se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de los distintos grupos en las medidas de la longitud cabeza + pico y tarso.

Los promedios de los grupos cabeza y pico difieren entre ellos por lo menos  $\approx 5$  mm.

Se encontró que al separar las muestras por grupos de cabeza más pico se reduce la variación y presenta valores medios mas bajos para un grupo en la cuerda alar lo cual indica diferente tipos de ala el cual presenta mayor sustentación.

Se comprobó que las mediciones en campo y por software a partir de fotografías reportaron datos similares, lo cual indica como buen método de extracción y de comprobación de información morfométrica.

El Análisis de Componentes principales determinó a la cabeza más pico como el factor con mayor peso.

## Lista de referencias

- Ainley, D. G., y Boekelheide, R. J. (1983). An ecological comparison of oceanic seabird communities of the South Pacific Ocean. *Studies in Avian Biology*, 8, 2-23.
- Alatalo, R. V., Gustafsson, L., y Lundbäck, A. (1984). Why do young passerine birds have shorter wings than older birds. *Ibis*, 126(3), 410-415.
- Barrett, R. T., Peterz, M., Furness, R. W., y Durinck, J. (1989). The variability of biometric measurements. *Ringing & Migration*, 10(1), 13-16.
- Bertellotti, M., Tella, J. L., Godoy, J. A., Blanco, G., Forero, M. G., Donazar, J. A., & Ceballos, O. (2002). Determining sex of Magellanic Penguins using molecular procedures and discriminant functions. *Waterbirds*, 25(4), 479-484.
- Bateman, A. J. (1948). Intra-sexual selection in *Drosophila*. *Heredity*, 2(Pt. 3), 349-368.
- Berger, M., y Hart, J. S. (1974). *Physiology and energetics of flight*. Avian biology, (4ª. Ed.), New York, Academic Press. pp. 415-477.
- Berzins, L. L., Gilchrist, H. G., y Burness, G. (2009). No assortative mating based on size in black guillemots breeding in the Canadian Arctic. *Waterbirds*, 32(3), 459-463.
- Bourgeois, K., Curé, C., Legrand, J., Gómez-Díaz, E., Vidal, E., Aubin, T., y Mathevon, N. (2007). Morphological versus acoustic analysis: what is the most efficient method for sexing yellow-rumped shearwaters *Puffinus yelkouan*?. *Journal of Ornithology*, 148(3), 261-269.
- Chardine, J. W., y Morris, R. D. (1989). Sexual size dimorphism and assortative mating in the Brown Noddy. *Condor*, 868-874.
- CONANP (2006). Programa de conservación y manejo Parque Nacional Arrecife Alacranes. México, DF, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Recuperado de [http://www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/pdf/programas\\_manejo/alacranes\\_ok.pdf](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/alacranes_ok.pdf)
- Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., y Massarini, A. (2008). *Biología*. (7ª. Ed.), Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana, p. 370.

- Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. London. Editorial John Murray.
- Devlin, Catherine M., Diamond, Antony W. y Saunders, Gary W (2004). Sexing Arctic Terns in the field and laboratory. *Waterbirds*, 27(3), 314-320.
- Dod, Annabelle Stockton, y Angus Nater (1981). *Guía de campo para las aves de la República Dominicana*. Santo Domingo, República Dominicana. Museo Nacional de Historia Natural, pp 332.
- Evans, Peter GH. (1990). *Birds of the eastern Caribbean*. London, Macmillan education, pp.149.
- Franks SE, Lank D.B y Wilson WH (2014). Western sandpiper (*Calidris mauri*). *The birds of North America online*. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York.
- Fridolfsson, Anna-Karin, and Hans Ellegren (1999). A simple and universal method for molecular sexing of non-ratite birds. *Journal of Avian Biology*, 116-121.
- Galarza, A., Hidalgo, J., Ocio, G., y Rodríguez, P. (2008). Sexual size dimorphism and determination of sex in Atlantic yellow-legged gulls *Larus michahellis lusitani* us from northern Spain. *Ardeola*, 55(1), 41-47.
- Gibara, T. (2013). Canny Edge Detector. Recuperado de <http://www.tomgibara.com/computer-vision/canny-edg>
- The Global Biodiversity Information Facility: GBIF Backbone Taxonomy, 2013-07-01. Recuperado de: <http://www.gbif.org/species/2481113> on 2014-08-14
- González-Jaramillo, Mónica, y Horacio de la Cueva. (2012). Influencia de la asimetría de las rectrices exteriores en la eficiencia de vuelo del Rabihorcado (*Fregata magnificens*), 13(1), 6-16.
- van Halewyn, Ruud, y Robert L. Norton (1984). The status and conservation of seabirds in the Caribbean. *Status and conservation of the world's seabirds*. ICBP Technical Publication,(2), 169-222.
- Harper, D. G. (1994). Some comments on the repeatability of measurements. *Ringling & Migration*. 15(2), 84-90.

- Harrison, Peter, y Roger Tory Peterson (1985). *Seabirds: an identification guide*. (2ª. Ed.), editorial Houghton Mifflin. Boston, Massachusetts, pp 448.
- Helfenstein, Fabrice, Etienne Danchin, y Richard H. Wagner (2004). Assortative mating and sexual size dimorphism in Black-legged Kittiwakes. *Waterbirds*, 27(3), 350-354.
- Hertel, Fritz, y Lisa T. Ballance (1999). Wing ecomorphology of seabirds from Johnston Atoll. *Condor*, p. 549-556.
- Huxley, J. (1942). *Evolution. The Modern Synthesis*. Editorial Allen & Unwin, London, pp. 645.
- Howell, Steve NG, y Sophie Webb (1995). *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. New York. Oxford University Press.
- del Hoyo, J., A. Elliot, y J. Sargatal (1996). *Handbook of the Birds of the World*. Barcelona. Lynx Editions.
- IBM CORP (2013). *IBM SPSS Statistics for UNIX*. En Armonk, NY: IBM Corp.
- Lack, David (1944). Correlation between Beak and Food in the Crossbill, *Loxia eurvirostra* Linnaeus. *Ibis*, 86(4), 552-553.
- Lack, David (1947). *Darwin's finches*. Cambridge University Press, pp.208.
- Larsson, Hans. y Olsen, Klaus Malling. (2010). *Terns of Europe and North America*. London. A & C Black, pp 165.
- Leisler, Bernd, y Hans Winkler (1985). *Ecomorphology. Current ornithology*. New York. Springer US. p. 155-186.
- Liceaga-Correa, M. A., y H. Hernández-Núñez (2000). Localización y dimensiones del Arrecife Alacranes. *Jaina*, 11, 8-10.
- Lighthill, James (1975). *Aerodynamic aspects of animal flight. Swimming and flying in nature*. New York. Springer US. p. 423-491.
- Lorencio, Carlos Granado (2000). *Ecología de comunidades: el paradigma de los peces de agua dulce*. España. Universidad de Sevilla. p. 197-212.

- Martínez-Guzmán, L. A., y Hernández-Aguilera, J. L. (1993). Crustáceos estomatópodos y decápodos del Arrecife Alacrán, Yucatán. Biodiversidad marina y costera de México. México: Comisión Nacional de Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo. p. 609-629.
- Mayr, Ernst (1963). Animal species and evolution. Animal species and their evolution. Cambridge, Belknap Press of Harvard University Press, pp 797.
- Morris, R. D., y Chardine, J. W. (1992). The breeding biology and aspects of the feeding ecology of brown noddies *Anous stolidus* nesting near Culebra, Puerto Rico, 1985–1989. *Journal of Zoology*, 226(1), 65-79.
- Van der Molen, Silvina, N. A. Martínez, y J. R. González (2007). Introducción a la morfometría geométrica: curso teórico práctico, p 1-78.
- Murphy, Robert Cushman (1936). 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. Macmillan Company, The American museum of natural history. Recuperado de <http://www.biodiversitylibrary.org/item/45089>
- Norberg, Ulla M. (1995). How a long tail and changes in mass and wing shape affect the cost for flight in animals. *Functional Ecology*, p. 48-54.
- Norberg, Ulla M. (1996). Energetics of flight. Avian energetics and nutritional ecology. En Cynthia Carey, *Avian Energetics and Nutritional Ecology*. New York. Springer US, p. 199-249.
- Pennycuik, C. (2008). *Modelling the flying bird*, Elsevier. p. 1-480.
- Perry, R. (1984). *Key Environments, Galápagos*. Oxford. Pergamon Press. p. 101-114.
- Pinilla, J. (2000). *Manual para el anillamiento científico de aves*. SEO/BirdLife.
- R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R foundation for Statistical Computing.
- Raffaele, H. A. (1989). *A Guide to the Birds of Puerto Rico and the Virgin Islands*. New Jersey, USA., Princeton: University Press.



- Rasband, W. S. (2014). ImageJ, US National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA.
- Rayner, J. M. V. (1982). Avian flight energetics. *Annual review of physiology*, 44(1), 109-119.
- Meyer de Schauensee, R., y Phelps Jr, W. H. (1978). *A guide to the birds of Venezuela*. Princeton, Princeton University, 424p.
- Schlatter, R. P. (1984). The status and conservation of seabirds in Chile. *Status and Conservation of the World's Seabirds*. 2, 261-269.
- Solís, W. R. del S. R. (1990). Estructura de la comunidad bentónica de la parte sur del Arrecife Alacranes, Yucatán, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.
- Spear, Larry B., y David G. Ainley (1997). Flight behaviour of seabirds in relation to wind direction and wing morphology. *Ibis*, 139(2), 221-233.
- Stiles, F. G. (1984). Status and conservation of seabirds in Costa Rican waters. Status and conservation of the world's seabirds. International Council for Bird Preservation Technical Publication, p. 223-229.
- Storer, Robert W (1966). Sexual dimorphism and food habits in three North American accipiters. *The Auk*, p. 423-436.
- Székely, T. (2007). *Sex, size, and gender roles: evolutionary studies of sexual size dimorphism*. New York, NY, Oxford University Press.
- Székely, Tamás, John D. Reynolds, y Jordi Figuerola (2000). Sexual size dimorphism in shorebirds, gulls, and alcids: the influence of sexual and natural selection. *Evolution*, 54(4), 1404-1413.
- Tostain, O. (1992). *Oiseaux de Guyane.*, Société d'études ornithologiques.
- Urfi, Abdul Jamil, y Abdul Kalam (2008). Sexual size dimorphism and mating pattern in the Painted Stork (*Mycteria leucocephala*). *Waterbirds*, 29(4), 489-496.
- Wagner, Richard H (1999). Sexual size dimorphism and assortative mating in Razorbills (*Alca torda*). *The Auk*, p. 542-544.

- Wakisaka, H., Nakagawa, M., Wakisaka, K., y Itoh, M. (2006). Molecular sexing and sexual difference in carpal spur length of the Gray-headed Lapwing *Vanellus cinereus* (Charadriidae). *Ornithological Science*, 5(1), 133-137.
- Wainwright, Peter C., and Stephen M. Reilly (1994), eds. *Ecological morphology: integrative organismal biology*. Chicago: University Press.
- Wetmore, Alexander (1965). *The birds of the Republic of Panama*. Washington, Smithsonian Institution. Recuperado de <http://www.biodiversitylibrary.org/item/138345>
- Wilk, M. B. y S. S. Shapiro (1968). The joint assessment of normality of several independent samples. *Technometrics*, 10(4), 825-839.
- Williams, A. J (1984). Breeding distribution, numbers and conservation of tropical seabirds on oceanic islands in the south Atlantic ocean. Status and conservation of the world's seabirds. JPE Croxall, PGH and RW Schreiber, ICBP Technical Publication, 2, 393-402.
- Zar, Jerrold H (1999). *Biostatistical analysis*. (3<sup>a</sup>. Ed.). India. Pearson Education.
- Zink, R. M., y J. V. Remsen Jr (1986). Evolutionary processes and patterns of geographic variation in birds. *Current Ornithology*, New York, Plenum Press, p. 1-69.