



Estudio de la coloración de los juveniles de angelote *Squatina squatina* (Linnaeus, 1758) según la luna en la playa de Las Teresitas, Tenerife.

---

Coloration study of angel shark *Squatina squatina* (Linnaeus, 1758) juveniles according to the moon in Las Teresitas beach, Tenerife.

Arnau Andreu Diez

Máster en Biología Marina: Biodiversidad y  
Conservación

Septiembre 2020

SABRINA CLEMENTE MARTÍN, Profesora Ayudante Doctor del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna y JACOBO MARRERO PÉREZ, Presidente y Director Científico de la ONG científica “Asociación Tonina” y Profesor Asistente de la Universidad de La Laguna, como Tutora Académica y Co-tutor respectivamente:

CERTIFICAN:

que la memoria presentada por el Graduado en Biología, Arnau Andreu Diez, titulada “Estudio de la coloración de los juveniles de angelote *Squatina squatina* (Linnaeus, 1758) según la luna en la playa de Las Teresitas, Tenerife.”, ha sido realizada bajo nuestra dirección y consideramos que reúne todas las condiciones de calidad y rigor científico requeridas para optar a su presentación como Trabajo de Fin de Máster, en el Máster de Biología Marina: Biodiversidad y Conservación de la Universidad de La Laguna, curso 2018-2020

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, firmamos el presente certificado,

En San Cristóbal de La Laguna, a 7 de septiembre de 2020

# **Índice**

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Material y métodos .....</b>	<b>3</b>
<b>Área de estudio .....</b>	<b>3</b>
<b>Metodología de estudio .....</b>	<b>3</b>
<b>Análisis de datos .....</b>	<b>5</b>
<b>Análisis de las imágenes .....</b>	<b>6</b>
<b>Análisis estadístico .....</b>	<b>8</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>8</b>
<b>General .....</b>	<b>8</b>
<b>Coloración de los angelotes .....</b>	<b>9</b>
<b>Discusión.....</b>	<b>13</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>15</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>16</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>18</b>

## Resumen

El presente trabajo es una primera aproximación a la variación en los patrones de coloración de los juveniles de angelote *Squatina squatina*. Para ello, se han estudiado las diferencias de los patrones de coloración de los juveniles de *S. squatina* según las fases lunares y el nivel de luz lunar en la playa de las Teresitas, en la isla de Tenerife. Se analizaron tanto los colores presentes como el porcentaje de los colores en imágenes de 59 individuos, aislando el cuerpo del animal para generar un clúster con los colores con más píxeles representados. Los colores obtenidos fueron comparados entre los 2 ecotipos conocidos del angelote (claro y oscuro) y según la fase lunar y el nivel de luz lunar. Los resultados mostraron que las diferencias en la coloración de los diferentes individuos no tienen una relación con la fase lunar ni con el nivel de luz lunar, de modo que esas diferencias en la coloración se deben a otras causas como puede ser una estrategia de camuflaje. Este trabajo abre una línea de investigación para futuras investigaciones encaminadas a determinar las características que determinan el patrón de coloración del angelote *S. squatina* y mejorar la conservación de esta especie.

Palabras clave: *Squatina squatina*, patrón de coloración, ecotipo, fase lunar, playa de las Teresitas.

## Abstract

This research work is a first approximation to the different colors showed in the coloration patterns of the juvenile angel shark *Squatina squatina*. For this, we studied the differences in juvenile of *S. squatina* coloration patterns according to lunar phases and the level of moonlight on Las Teresitas beach on the island of Tenerife looking for presence and percentage of colors in the animal. In consequence, 59 individuals images were analyzed, isolating the body of the animal to generate a cluster of the colors with more pixels represented. The colors obtained were compared between the 2 ecotypes of the angel shark (light and dark) and according to the moon phase and the level of moonlight. The results showed that the differences in the coloration of the different individuals do not have a relationship with the moon phase and the level of moonlight, so that these differences in coloration are due to other causes such as a camouflage strategy. This research opens future investigations to determine the characteristics that determine the coloration pattern of the angel shark *S. squatina* and improve the conservation of this species.

Key words: *Squatina squatina*, coloration pattern, ecotype, lunar phase, Teresitas beach

## Introducción

Se entiende por camuflaje o cripsis visual a aquellas adaptaciones morfológicas, como puede ser la presencia de patrones de coloración específicos, que disminuyen el riesgo de ser detectados por un observador (Revisado en Merilaita et al., 2016). La cripsis visual reduce drásticamente la probabilidad de ser depredado e incrementa notablemente el éxito en la captura de presas (Stevens, 2007) y es especialmente importante en animales que tienen capacidades de defensa limitadas (Bedore et al., 2015; Hanlon & Messenger, 1988). Según los pioneros en el estudio del camuflaje en animales (Thayer, 1909; Cott, 1940), existen diferentes tipos, siendo la homocromía con el medio circundante (en inglés: “background matching”) una de las formas más sencillas de ocultación visual (Revisado en Merilaita et al., 2016). Este tipo de cripsis, según la teoría del procesamiento de las señales, actúa minimizando la información de la señal frente al conjunto de información irrelevante que la rodea, que se denomina ruido, minimizando de esa forma el SNR (del inglés “Signal-to-Noise Ratio”) (Merilaita et al., 2016; Merilaita & Stevens, 2011). Así, el grado de cripsis visual puede estimarse midiendo la similitud entre los animales y el ambiente que les rodea, tanto en relación a su tamaño y forma, estimando la evidencia de su contorno frente al fondo; o en cuanto a su brillo y patrones de coloración, evaluando su similitud con el ambiente (Revisado en Endler, 1990). Hay que considerar, sin embargo, que estas comparativas han de realizarse teniendo en cuenta el espectro de luz ambiental que rodea al animal, las propiedades de transmisión del medio donde se encuentra y la sensibilidad visual de los potenciales observadores (Revisado en Endler, 1990).

En elasmobranquios, los patrones de coloración pueden ser relativamente fijos, adaptados a un ambiente visualmente homogéneo, como es el caso por ejemplo del tiburón ballena (*Rhincodon typus*), donde los patrones de manchas de su cuerpo sirven para fotointerferirlos (Arzoumanian et al., 2005; Holmberg et al., 2011); o cambiantes, adaptados a ambientes heterogéneos, como es el caso de la raya amarilla (*Urolophus hannah*), que puede cambiar fisiológicamente su color corporal dependiendo del fondo en el que se encuentre (Gunn, 2018).

El cambio de color en peces se logra mediante la manipulación, ya sea morfológica o fisiológica, de células pigmentarias llamadas cromatóforos (Sugimoto, 2002). Los melanóforos son un tipo específico de cromatóforo que contiene melanina y se asocian a procesos de aclaramiento u oscurecimiento general del cuerpo, con el objetivo de que éste

sea lo más similar posible al ambiente que lo rodea (Skold et al., 2013). El cambio de color morfológico ocurre cuando los gránulos de pigmento o las propias células de pigmento son sintetizados o degradados (Sugimoto, 2002). En cambio, los cambios fisiológicos de color suceden cuando los gránulos de pigmento se mueven por todo el cromatóforo para producir la agregación o dispersión de los mismos, lo que es muy común en muchas especies de teleósteos (Skold et al., 2013). Los cambios de color morfológicos suceden como respuesta a estímulos continuados y que requieren largos tiempos de respuesta (días a meses), como puede ser la protección frente a radiación UV (P. ej. Adachi et al., 2005). Este es el caso, por ejemplo, de juveniles de tiburón martillo (*Sphyrna lewini*), que adoptan tonos más oscuros con el aumento de la exposición a la radiación solar (Lowe & Goodman-Lowe, 1996). Por el contrario, los cambios fisiológicos de color se manifiestan como respuestas a corto plazo (segundos a horas), ante estímulos puntuales o en ambientes cambiantes (Stuart-Fox & Moussalli, 2009). Un ejemplo de este control fisiológico se ha observado en crías de tiburón nodriza (*Ginglymostoma cirratum*) mantenidos en cautividad (Castro, 2000).

El angelote (*Squatina squatina*), es una especie de elasmobranquio que se encuentra catalogada como en Peligro de Extinción en el catálogo nacional de especies amenazadas (BOE-A-2019-8317 del 5 junio de 2019), siendo considerada la familia a la que pertenece, *Squatinidae*, como la segunda familia de tiburones más amenazada a nivel mundial (Dulvy et al., 2014). Su coloración varía desde gris a rojizo o pardo verdoso (Compagno et al., 2005) a marrón-grisáceo en el dorso (Roux, 1989), con manchas pequeñas de color negro dispersas que le ayuda a pasar inadvertido en los fondos fangosos o arenosos donde suele habitar (Compagno et al., 2005). Los pocos estudios de cambios de color llevados a cabo en esta especie mostraron que se observaban ligeros aclaramientos en los cromatóforos al inyectarles directamente adrenalina, aunque en estos experimentos no se tuvieron en cuenta los tiempos y se desconocía si podría deberse a un efecto secundario por el efecto vasoconstrictor de esa hormona (Wykes, 1936). Así, aunque parece demostrado que *S. squatina* puede cambiar de color, se desconoce el mecanismo exacto, en qué condiciones lo hace y si estos cambios ofrecen ventajas adaptativas a unos individuos frente a otros, como puede ser, por ejemplo, aumentando la tasa de éxito en la captura de presas.

En este trabajo se describen los diferentes patrones de coloración que presentan los juveniles de *S. squatina* en el criadero de la playa de las Teresitas (Escáñez et al., 2016),

se analiza si existen diferencias de coloración dependiendo de las fases lunares y si existen diferencias en la relación talla peso entre los individuos más oscuros y más claros.

## Material y métodos

### Área de estudio

El presente estudio se realizó en la playa de Las Teresitas ( $28^{\circ}30'23''\text{N}$   $16^{\circ}11'71''\text{O}$ ) de la isla de Tenerife (Fig. 1), esta playa es hasta el momento la única área de cría de angelote descubierta en la isla de Tenerife que cumple con los tres criterios propuestos por Heupel et al., 2007 (Escánez et al., 2016; Marrero et al., 2018). Se trata de una playa artificial donde la arena negra original se reemplazó en 1973 por arena importada del desierto del Sáhara y tiene una longitud total de unos 1300 metros y unos 100 metros de anchura desde la línea de costa hasta el rompeolas (Fig. 1). El rompeolas tiene una longitud de 1 km y tiene dos bocanas en los extremos de la playa. Se caracteriza por tener fondo arenoso o roco-arenoso en las zonas de mayor profundidad. Es una de las playas más conocidas y turísticas de Tenerife, existiendo kioscos, duchas y otros equipamientos para facilitar el acceso de los bañistas.



Figura 1. Localización y forma de la Playa de las Teresitas en la isla de Tenerife (Google Earth).

### Metodología de estudio

Entre junio de 2017 y octubre de 2019 se llevaron a cabo muestreos submarinos nocturnos, cuando es más sencillo avistar a los angelotes (Escánez et al., 2016), utilizando

la metodología de transectos lineales de ancho fijo para censos de peces e invertebrados (Branden et al., 1986; Graham et al., 2004; Caldwell et al., 2016). Durante cada sesión de muestreo se realizaron réplicas de 4 transectos de 50 m de longitud, donde una pareja de buceadores buscaba visualmente a los animales, cubriendo anchos de banda de 5 m a cada lado de la línea del transecto (500 m<sup>2</sup> en total) y en profundidades entre 0.5 y 3 metros de profundidad aproximadamente. En cada muestreo se consultaba el calendario de la fase lunar así como el nivel de luz de la luna en los datos meteorológicos.

Previo a la realización del muestreo, uno de los muestreadores se encargaba de fijar en la arena los límites de una cinta métrica de 50 m con ayuda de unas piquetas, escogiendo un área al azar dentro de las distintas zonas delimitadas de la playa como: Z1, Z2, Z3, Z4., Al avistar un angelote se tomaba la posición GPS de cada individuo, gracias a una boya equipada con un dispositivo GPS que se colocaba en superficie en la perpendicular sobre cada individuo y que servía además para registrar el recorrido realizado en cada uno de los transectos. Para determinar la medida de los animales, se utilizaba una tablilla milimetrada que se colocaba paralela al eje medio del cuerpo de los animales y se anotaba el comportamiento del animal en el momento del avistamiento (enterrado, semienterrado, nadando o alimentándose). Una vez tomados esos datos, se procedía a la captura de los individuos (siempre que fue posible) con ayuda de una red de mano. Éstos fueron capturados por investigadores previamente entrenados y con experiencia en este tipo de muestreo, para evitar causar daños a los animales o sobre-estresarlos. Una vez capturados, se transportaban en la red hasta la orilla donde se traspasaban a una cubeta reglada con agua. Ésta se utilizó para transportar a los diferentes individuos a una estación de tierra situada en la arena de la playa.





Figura 2. Metodología de estudio. (A) Colocación de un chip subcutáneo a un individuo capturado. El paño verde se utiliza para tapar los ojos y tranquilizar y así minimizar el estrés del animal durante el proceso. (B) Lectura del chip subcutáneo. Se utiliza para saber si un individuo ya ha sido previamente capturado y para comprobar la correcta introducción del chip un individuo recién marcado. (C) Individuo juvenil de angelote *Squatina squatina* en la bandeja reglada, el patrón de colores de la bandeja se utiliza como referencia para el correcto análisis de coloración. (D) Determinación del sexo en individuo juvenil de angelote *Squatina squatina*.

Una vez transportados los individuos a la estación de tierra, un segundo equipo de investigadores se encargaba de marcar con un chip subcutáneo, medir, pesar y determinar el sexo de cada uno de los angelotes capturados (Fig. 2). Para realizar los análisis de coloración, se tomaron fotografías con una cámara réflex SONY  $\alpha$ 200 con un objetivo 18-70 (ISO 3200). Para garantizar que posibles variaciones en las condiciones de iluminación durante la toma de las fotografías no afectaran a los análisis, se utilizaron patrones de colores situados en uno de los laterales de la cubeta (Fig. 2).

Tanto el trabajo en el agua como el realizado en tierra, fue realizado por personal cualificado y siguiendo todos los protocolos éticos de experimentación animal que se recogen en el RD 53/2013, con permiso otorgado a Asociación Tonina por el Ministerio para la Transición Ecológica Ref: SGPM/bdm/autspp/04/2019.

### Análisis de datos

### *Análisis de las imágenes*

Todas las imágenes fueron procesadas mediante Photoshop. Se usaron imágenes con las mismas condiciones de luz y mismo ángulo para evitar errores en el análisis de los colores. Mediante la herramienta “*Nueva capa de ajuste*” de Photoshop podemos crear y cambiar el patrón de coloración. En este caso hemos usado como guía el patrón de colores presente en la cubeta donde se tomaron las imágenes, así nos aseguramos que todas las fotografías tienen las mismas condiciones. En cada imagen se aisló el cuerpo del angelote y se eliminó el fondo, así la lectura de los píxeles solo hace referencia al cuerpo de los individuos (Fig. 3).



*Figura 3. Resultado final de la edición de las imágenes con Photoshop para poder realizar el análisis de los colores. En la imagen se muestran dos individuos de angelote Squatina squatina de ecotipo diferente.*

Para el análisis de los colores se usó el software Image Color Summarizer. Para la imagen de cada individuo se realizó un clúster en 9 grupos (k-means). Así obtenemos el color promedio de los colores para cada clúster, es decir, la imagen del angelote se divide en los 9 colores principales representados en porcentaje de píxeles (Fig. 4). Los colores son representados por su código HEX y el nombre asociado al respectivo código. Este proceso se realizó para las imágenes a color real a diferencia del análisis de B/N en el cual se usó un clúster de 2 grupos. En ambos casos el análisis se realizó con la mayor precisión que

permite el software (vhigh-200px) para una mejor lectura de los píxeles. Para la base de datos final se eliminaron los colores con menos de un 5% de píxeles en cada individuo para evitar un posible ruido en el análisis estadístico.

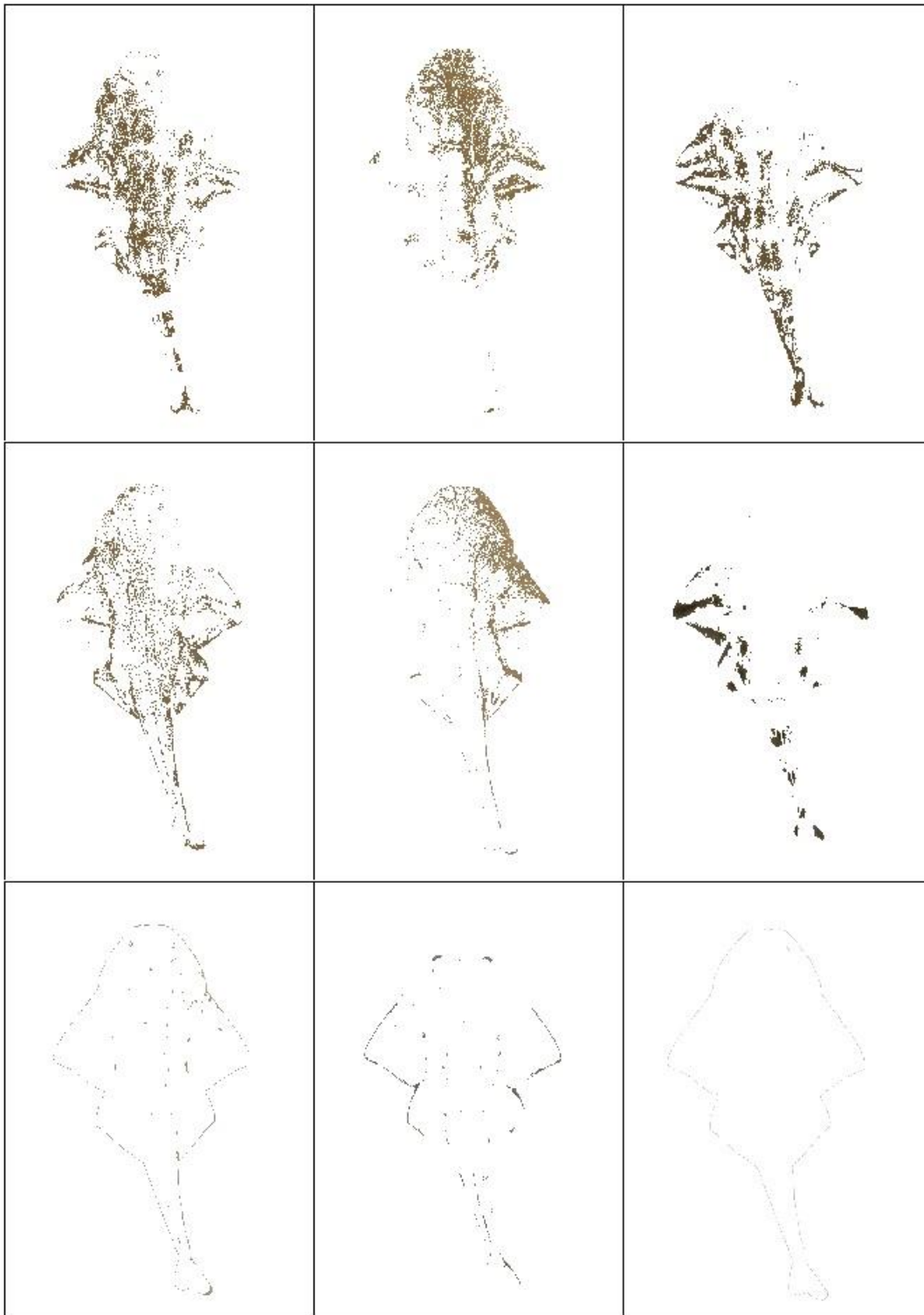


Figura 4. Individuo de angelote *Squatina squatina* dividido en 9 imágenes. Cada división representa los píxeles de un solo color. Estos colores son los 9 que encontramos en mayor medida. De izquierda a derecha y de arriba a abajo se ordenan los colores más representados a menos.

## *Análisis estadístico*

Para investigar si existían posibles diferencias en los diferentes colores presentes en los individuos de angelote según la fase lunar o el nivel de luz lunar, se llevaron a cabo dos análisis de PERMANOVA, con distancias Bray-Curtis y 9999 permutaciones, utilizando el software PRIMER 6 & PERMANOVA+ (Anderson, 2001). En ambos casos el diseño fue ortogonal de dos vías con los factores fijos: en el primer diseño “Fase lunar” (4 niveles: luna llena, cuarto creciente, cuarto menguante, luna nueva) y “ecotipo” (2 niveles: claro, oscuro) y en el segundo diseño “Nivel de luz” (3 niveles: alto, medio, bajo) y “ecotipo” (2 niveles: claro, oscuro). También se utilizó un análisis de similaridad (SIMPER) (Clarke, 1993) para identificar los colores que contribuyeron a la similitud dentro de los datos agrupados por ecotipo.

## **Resultados**

### **General**

Se analizaron un total de 14 días de trabajo realizados entre el día 5 de junio de 2017 y el día 25 de octubre de 2019 en la playa de Las Teresitas. De los 14 días de muestreo 6 fueron en cuarto menguante, 5 con cuarto creciente, 2 con luna llena y 1 con luna nueva. Además de la fase lunar se miró el porcentaje de luz lunar dividido en tres categorías cualitativas, de forma que los muestreos corresponden a 4 días con nivel de luz alto, 3 días medio y 7 días bajo. Se capturaron un total de 59 individuos, de los cuales se hizo una primera apreciación visual del ecotipo, resultando en 37 individuos de ecotipo claro y 22 individuos de ecotipo oscuro (Tabla 1).

Respecto a las tallas obtenidas se clasificó a los individuos siguiendo la clasificación de Escáñez et al. 2016, considerándose a los individuos con tallas comprendidas entre 20 – 30 cm **crías**, entre 30 – 37 cm **individuos de primer año** y + 37 cm **individuos juveniles**. En el estudio se encontraron 35 crías, 14 individuos de primer año y 2 individuos juveniles.

Tabla 1. Resumen de los datos recogidos en las distintas fechas de estudio.

Fecha	Fase lunar	Nivel de luz	Nº de individuos	Ecotipo claro	Ecotipo oscuro	Cría	Primer año	Juvenil
05/06/2017	Cuarto creciente	Alto	7	4	3	5	2	0
29/06/2017	Cuarto creciente	Bajo	5	3	2	4	1	0
18/08/2017	Cuarto menguante	Medio	5	3	2	3	2	0
05/10/2017	Luna llena	Alto	9	6	3	4	5	0
25/10/2017	Cuarto creciente	Bajo	3	2	1	1	2	0
10/01/2018	Cuarto menguante	Medio	3	2	1	0	2	1
07/11/2018	Luna nueva	bajo	1	1	0	1	0	0
26/04/2019	Cuarto menguante	Medio	1	0	1	1	0	0
09/05/2019	Cuarto creciente	Bajo	3	1	2	3	0	0
23/05/2019	Cuarto menguante	Alto	5	4	1	5	0	0
06/06/2019	Cuarto creciente	Bajo	5	3	2	5	0	0
18/07/2019	Luna llena	Alto	4	2	2	3	0	1
26/09/2019	Cuarto menguante	Bajo	7	5	2	3	2	2
25/10/2019	Cuarto menguante	Bajo	1	1	0	0	1	0
		Total	59	37	22	38	17	4

### Coloración de los angelotes

Respecto a la coloración los individuos muestreados mostraron un total de 111 colores diferentes. Los colores presentes en mayor número de individuos fueron los siguientes: Dull brown (15), Shingle fawn (14), Double mullarbor (14), Driftwood (14), Triple mullarbor (12), Muesli (11), Triple doeskin (11), Gold rush (10), Double doeskin (9),

Triple collins wicket (9) (Tabla 2). En el caso de los porcentajes de píxeles, los colores más representados fueron: Dull brown (4.78%), Driftwood (4.78%), Shingle fawn (4.32%), Double mullarbor (4.15%), Muesli (3.77%), Triple doeskin (3.68%), Triple collins wicket (2.90%), Gold rush (2.74%), Triple mullarbor (2.71%), Raw umber (2.51%) (Tabla 3).

Tabla 2. Colores más representados en el total de individuos de *Squatina squatina*.

Color	Nº de angelotes
Dull brown (#886E4D)	15
Shingle fawn (#7A5E3B)	14
Double mullarbor (#7A6248)	14
Driftwood (#8E6F49)	14
Triple mullarbor (#765F43)	12
Muesli (#9E7D54)	11
Triple doeskin (#9B7F5A)	11
Gold rush (#A18962)	10
Double doeskin (#A78E6D)	9
Triple collins wicket (#7D6546)	9

Tabla 3. Colores más representados en porcentaje de píxeles presentes en el total de individuos de *Squatina squatina* obtenidos con un análisis de similitud SIMPER.

Color	Porcentaje de píxeles
Dull brown (#886E4D)	4.78
Driftwood (#8E6F49)	4.78
Shingle fawn (#7A5E3B)	4.32
Double mullarbor (#7A6248)	4.15
Muesli (#9E7D54)	3.77
Triple doeskin (#9B7F5A)	3.68
Triple collins wicket (#7D6546)	2.90
Gold rush (#A18962)	2.74
Triple mullarbor (#765F43)	2.71
Raw umber (#7C6141)	2.51

Considerando los individuos de ecotipo claro, los colores más repetidos correspondieron a: Driftwood (11), Dull brown (10), Gold rush (10), Shingle fawn (9), Muesli (9), Triple doeskin (9), Triple mullarbour (9), Double doeskin (7), Triple colins wicket (7), Bull whip (6). En los individuos con ecotipo oscuro, los colores presentes en más individuos fueron: Doble mullarbor (9), Shingle fawn (5), Dull brown (5), Mikado (4), Punga (4), Raw umber (4), Ashbrown (4), Toasted green (4), Spark (4), Birch (3) (Tabla 4).

Teniendo en cuenta los porcentajes de píxeles, se obtuvo que para el ecotipo claro los colores más representativos fueron: Driftwood (5.88%), Muesli (5.04%), Triple doeskin (4.96%), Dull brown (4.75%), Gold rush (4.37%), Shingle fawn (3.84%), Triple collins wicket (3.36%), Bull whip (3.23), Double doeskin (2.76) Triple mullarbor (2.58%), (Tabla 3). En el caso del ecotipo oscuro, los resultados fueron: Double mullarbor (7.44%), Shingle fawn (5.14%), Dull brown (4.82%), Raw umber (3.84%), Toasted green (3.47%), Birch (3.46%), Spark (3.15%), Mikado (3.09), Driftwood (2.92) (Tabla 5).

Tabla 4. Colores más representados en individuos con ecotipo claro y oscuro de *Squatina squatina*.

Ecotipo claro		Ecotipo oscuro	
Color	N° de angelotes	Color	N° de angelotes
Driftwood (#8E6F49)	11	Double mullarbor (#766043)	9
Dull brown (#886E4D)	10	Shingle fawn (#7A5E3B)	5
Gold rush (#A18962)	10	Dull brown (#886E4D)	5
Shingle fawn (#7A5E3B)	9	Mikado (#423724)	4
Muesli (#9E7D54)	9	Punga (#564935)	4
Triple doeskin (#9B7F5A)	9	Raw umber (#7B6042)	4
Triple mullarbor (#765F43)	9	Ashbrown (#483D2E)	4
Double doeskin (#A78E6D)	7	Toasted Green (#685338)	4
Triple collins wicket (#7D6546)	7	Spark (#5F4E39)	4
Bull whip (#8C6B38)	6	Birch (#3A301F)	3

Tabla 5. Colores más representados en porcentaje de píxeles presentes en individuos con ecotipo claro y oscuro de *Squatina squatina* obtenidos con un análisis de similitud SIMPER.

Ecotipo claro		Ecotipo oscuro	
Color	Porcentaje de píxeles	Color	Porcentaje de píxeles
Driftwood (#8E6F49)	5.88	Double mullarbor (#766043)	7.74
Muesli (#9E7D54)	5.04	Shingle fawn (#7A5E3B)	5.14
Triple doeskin (#9B7F5A)	4.96	Dull brown (#886E4D)	4.82
Dull brown (#886E4D)	4.75	Raw umber (#7B6042)	3.84
Gold rush (#A18962)	4.37	Toasted Green (#685338)	3.47
Shingle fawn (#7A5E3B)	3.84	Birch (#3A301F)	3.46
Triple collins wicket (#7D6546)	3.36	Dallas (#644E30)	3.17
Bull whip (#8C6B38)	3.23	Spark (#5F4E39)	3.15
Double doeskin (#A78E6D)	2.76	Mikado (#423724)	3.09
Triple mullarbor (#765F43)	2.58	Driftwood (#8E6F49)	2.92

Tabla 6. Resultado del análisis de PERMANOVA de los diferentes colores presentes en los individuos de angelote, según el ecotipo y el nivel de luz lunar. En asterisco los resultados significativos.

Factor	gL	SC	MC	Pseudo-F	p(perm)
Nivel de luz	2	8487.6	4243.8	1.0333	0.4119
Ecotipo	1	9677.8	9677.8	2.3565	0.0035*
Luz x ecotipo	2	9955	4977.5	1.212	0.1996
Res	53	2.1766E5	4106.9		
Total	58	2.4699E5			

Al analizar los resultados de los colores presentes en los individuos de todos los muestreos se observó cómo significativa la diferencia de coloración según los ecotipos (Tabla 6) (Figura 5), no observándose relaciones significativas con los factores Nivel de luz y Ecotipo (Tabla 6.). Esto parece indicar que el nivel de luz lunar no varía la coloración de los individuos de angelote *S. squatina*.

Tabla 7. Resultado del análisis de PERMANOVA de los diferentes colores presentes en los individuos de angelote, según el ecotipo y la fase lunar. En asterisco los resultados significativos.

Factor	gL	SC	MC	Pseudo-F	p(perm)
Fase Lunar	3	14857	4952.4	1.2021	0.1737



Ecotipo	1	9886.6	9886.6	2.3999	0.0017*
Fase lunar x ecotipo	2	8474.3	4237.2	1.0285	0.4212
Res	52	2.1422E5	4119.7		
Total	58	2.4699E5			

Para los resultados de la coloración en relación a la interacción entre fase lunar y el ecotipo tampoco obtuvo diferencias significativas (Tabla 7). Esto parece indicar que la fase lunar no provoca diferencias en la coloración de los individuos, ni en la mayor presencia de un ecotipo u otro.

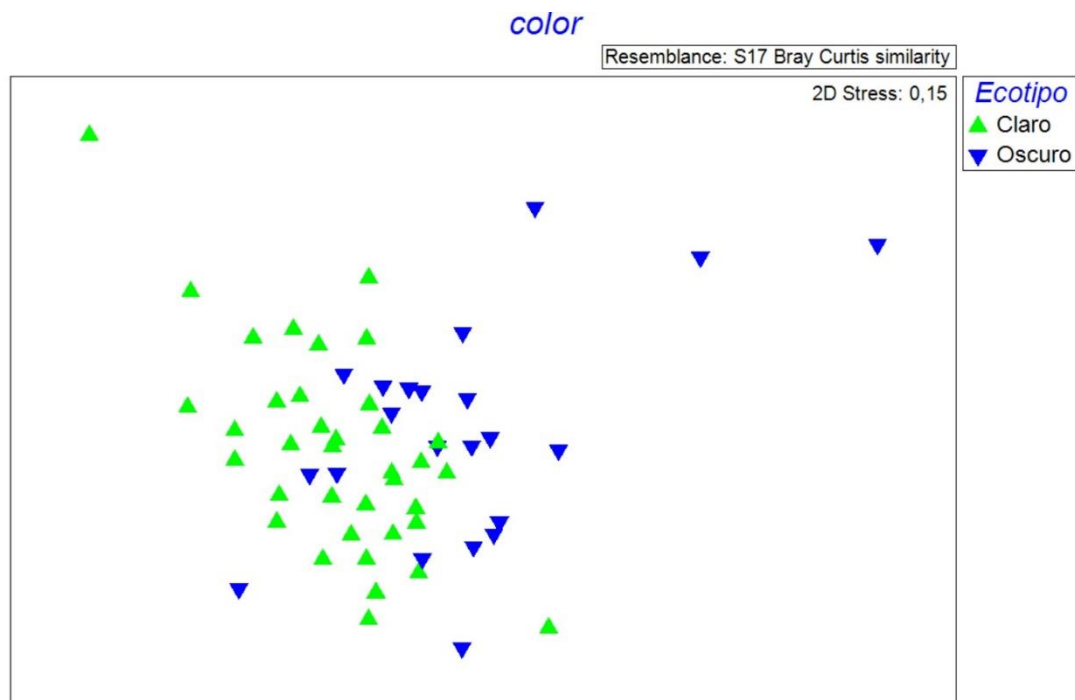


Figura 5. Gráfico de ordenación del análisis MDS de la coloración de los individuos de angelote de los dos diferentes ecotipos en base al porcentaje de píxeles de cada color.

## Discusión

Los cambios de coloración en elasmobranquios pueden tener diversas causas y son relativamente habituales, existiendo casos donde los animales tienen la capacidad de cambiar su coloración debido a estímulos luminosos (Kemp, 1999). En angelotes se han descrito casos de cambio de coloración en individuos juveniles y adultos (Osaer, 2010). En este estudio se ha podido observar como existen dos patrones de coloración bien diferenciados para las crías de angelotes: ecotipo claro y ecotipo oscuro. Sin embargo, se

ha observado asimismo que existe una gran variabilidad entre ellos, ya que el espectro de colores es muy amplio para cada uno de los ecotipos, llegándose a encontrar entre 80 y 65 colores diferentes para el ecotipo claro y oscuro respectivamente. Esta gran variabilidad puede explicar porque la coloración del angelote *S. squatina* no es usada para su fotoidentificación, al contrario de los que sucede para otras especies de elasmobranquios, como puede ser el tiburón ballena, *Rhincodon typus* (Arzoumanian et al., 2002; Meekan et al., 2006).

La relación estudiada de fases lunares con la coloración de las crías de angelotes no obtuvo resultados significativos (Tabla 7), lo que podría explicarse porque no se realizaron muestreos suficientes, necesitándose más días de esfuerzo, sobretodo en días con luna llena y nueva, que son las fases menos presentes en el estudio. Los resultados para la relación entre el nivel de luz de la luna con la coloración de las crías de angelote también fueron no significativos (Tabla 6). En ese caso, los días de muestreo son más parejos entre los distintos niveles del factor, así que solo podría mejorarse con un aumento de los días de muestreo. Sin embargo, no se puede descartar que ni la fase lunar ni su luminosidad relativa afecten en absoluto a la coloración de las crías de angelotes, o que otros factores, como podría ser la cobertura de nubes, pudiera estar influyendo en los resultados y enmascarando los posibles efectos de la luna.

La playa de las Teresitas, de arena blanca, parece presentar una mayor proporción de individuos claros (67% de los individuos), lo que parece relacionado con una mayor probabilidad de pasar inadvertidos o camuflarse mejor, para esas condiciones de arena. Sin embargo, sería necesario realizar más muestreos en diferentes playas con diferentes coloraciones de arena para poder así confirmar esta hipótesis, siendo de esperar que las proporciones relativas de individuos oscuros fueran mayores en playas de arena negra. Este estudio en condiciones naturales sobre crías de angelotes podría complicarse, debido a que los criaderos descubiertos en Canarias para esta especie tienden a ser en playas de arena clara (Escáñez et al., 2016; Marrero et al., 2018; Alvarado et al., 2020).

Existen estudios que sugieren que algunos elasmobranquios, entre ellos el angelote, podrían presentar cambios de coloración relativas al ser sometidos a condiciones de estrés (Hogben, 1936). El método de muestreo utilizado en este estudio, al ser el angelote capturado y transportado hasta una estación de tierra donde se le toman las fotografías,

no parece ser el más adecuado para comprobar esta hipótesis. El animal en la mesa de trabajo es iluminado artificialmente con un foco, lo que incide en el angelote y podría provocar cambios no deseados en su coloración (Kemp, 1999).

Para trabajos futuros sería interesante realizar fotografías a los individuos antes y después de capturarlos, para poder así observar si ha habido un cambio de coloración. Cuestión nada sencilla considerando que el angelote es un depredador de emboscada (Fouts & Nelson, 1999), estando la mayor parte del tiempo enterrados o semienterrados en la arena (Muñoz, 2019).

Cabe destacar que durante los muestreos realizados para estos análisis no se obtuvo ninguna recaptura de individuos, no siendo posible estudiar sus posibles cambios de coloración relativa con el tiempo.

Hasta la fecha, este es el primer estudio centrado en investigar la coloración del angelote *S. squatina*, especie catalogada como “En peligro de extinción” (BOE, 134 I 58611, 2019), de modo que no se puede comparar con otros estudios similares, pero que ayuda a conocer un poco mejor esta especie. Además abre el camino para desarrollar futuras investigaciones en esta línea.

## **Conclusiones**

- 1- El presente estudio supone el primer trabajo enfocado en la coloración y los distintos patrones de coloración de los juveniles de angelote *Squatina squatina*.
- 2- Los individuos juveniles de *S. squatina* presentan un gran espectro de colores en sus patrones de coloración naturales. Incluso dentro de los dos ecotipos observados, claro y oscuro, la variabilidad de colores presentes en el patrón de coloración es considerable.
- 3- La fase lunar no parece provocar ningún cambio en el patrón de coloración de los juveniles de *S. squatina*, ni tampoco una mayor presencia o ausencia de uno de los dos ecotipos.
- 4- En el mismo caso que la fase lunar, el nivel de luz lunar tampoco provoca cambios en el patrón de coloración de los juveniles de *S. squatina*.

- 5- Este trabajo supone una primera toma de contacto con el estudio de la coloración de los juveniles de *S. squatina*. Se necesitan futuras investigaciones para poder entender mejor las causas que determinan los patrones de coloración observados en crías de esta especie.

## Bibliografía

- Adachi, K., Kato, K., Wakamatsu, K., Ito, S., Ishimaru, K., Hirata, T., & Kumai, H. (2005). The histological analysis, colorimetric evaluation, and chemical quantification of melanin content in 'suntanned' fish. *Pigment Cell & Melanoma Research*, 18(6), 465-468.
- Arzoumanian, Z., Holmberg, J., & Norman, B. (2005). An astronomical pattern-matching algorithm for computer-aided identification of whale sharks *Rhincodon typus*. *Journal of Applied Ecology*, 42(6), 999-1011.
- Bedore, C. N., Loew, E. R., Frank, T. M., Hueter, R. E., McComb, D. M., & Kajiura, S. M. (2013). A physiological analysis of color vision in batoid elasmobranchs. *Journal of Comparative Physiology A*, 199(12), 1129-1141.
- Branden, K. L., Shepherd, S. A. y Edgar, G. J. (1986). Reef fish populations of the Investigator Group [islands], SouthAustralia: a comparison of two census methods. *Transactions of the Royal Society of South Australia (Australia)*.
- Caldwell, Z. R., Zgliczynski, B. J., Williams, G. J. y Sandin, S. A. (2016). Reef fish survey techniques: assessing the potential for standardizing methodologies. *PLoS ONE*. 114. doi: 10.1371/journal.pone.0153066
- Castro, J. I. (2000). The biology of the nurse shark, *Ginglymostoma cirratum*, off the Florida east coast and the Bahama Islands. *Environmental Biology of Fishes*, 58(1), 1-22.
- Compagno, L. J. V., Dando, M. y Fowler, S. (2005). *Sharks of the world*. Princeton University Press, Princeton, Estados Unidos.
- Cott, H. B. (1940). *Adaptive coloration in animals*. London, UK: Methuen & Co. Ltd.
- Dulvy, N. K., Fowler, S. L., Musick, J. A., Cavanagh, R. D., Kyne, P. M., Harrison, L. R., & Pollock, C. M. (2014). Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *elife*, 3, e00590.
- Endler, J. A. (1990). On the measurement and classification of colour in studies of animal colour patterns. *Biological Journal of the Linnean Society*, 41(4), 315-352.
- Escáñez, A., Crespo, A., Rodríguez, S., Oñate, M. y Marrero, J. (2016). Estudio del primer área de cría de angelote (*Squatina squatina*) descubierta en Europa. Abundancia, distribución y uso del hábitat.
- Fouts, W. R. y Nelson, D. R. (1999). Prey capture by the Pacific angel shark, *Squatina californica*: visually mediated strikes and ambush-site characteristics. *Copeia*. 2, pp. 304-312. doi: 10.2307/1447476.
- Gunn, T. R. (2018). *Environmental and physiological regulation of yellow stingray color change*. Statesboro, GA: Georgia Southern University.
- Graham, J. E., Neville, S. B., Alastair, J. M. (2004). Biases associated with the use of underwater visual census techniques to quantify the density and size-structure of fish populations. *Journal of Experimental Marine Biological and ecology* 30, 269-290.

- Hanlon RT & Messenger JB. (1988). Adaptive coloration in young cuttlefish (*Sepia officinalis* L.): the morphology and development of body patterns and their relation to behaviour. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 320, 437–487. (doi:10.1098/rstb.1988.0087).
- Heupel, M. R., Carlson, J. K. y Simpfendorfer C. A. (2007). Shark nursery areas: concepts, definition, characterization and assumptions. *Marine Ecology Progress*. 337, pp: 287-297.
- Hogben, L. (1936). The pigmentary effector system VII—The chromatic function in Elasmobranch fishes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences*, 120(817), 142-158.
- Holmberg, J., Norman, B., & Arzoumanian, Z. (2009). Estimating population size, structure, and residency time for whale sharks *Rhincodon typus* through collaborative photo-identification. *Endangered Species Research*, 7(1), 39-53.
- Kemp, N. E. (1999). Integumentary system and teeth. *Sharks, skates, and rays. The biology of elasmobranch fish*, 43-68.
- Marrero, J., Escáñez, A. y Moreno, S. (2018). Estudio bioecológico de las áreas de crías del angelote (*Squatina squatina*) en la isla de Tenerife. Importancia como áreas clave para la conservación de la especie.
- Meekan, M. G., Bradshaw, C. J., Press, M., McLean, C., Richards, A., Quasnichka, S., & Taylor, J. G. (2006). Population size and structure of whale sharks *Rhincodon typus* at Ningaloo Reef, Western Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 319, 275-285.
- Meekan, M. G., Bradshaw, C. J., Press, M., McLean, C., Richards, A., Quasnichka, S., & Taylor, J. G. (2006). Population size and structure of whale sharks *Rhincodon typus* at Ningaloo Reef, Western Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 319, 275-285.
- Merilaita, S., & Stevens, M. (2011). Crypsis through background matching. *Animal camouflage: mechanisms and function*, 17-33.
- Muñoz Molina, M. (2019). Estudio del comportamiento de caza y ecología trófica del angelote *Squatina squatina* (Linnaeus 1758) en áreas de cría.
- Narvaez, K. (2012). Aspectos biológicos y ecológicos del tiburón ángel" *Squatina squatina*"(Linnaeus 1758) en la isla de Gran Canaria (Doctoral dissertation).
- Osaer, F. R. (2010). Morfometría y reproducción del angelote *squatina squatina* (linnaeus, 1758) en la isla de gran canaria (Doctoral dissertation, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria).
- Roux, C. (1989) *Squatinae*. In: Whitehead P.J.P, Bauchot M.L, Hureau J.C., Nielsen J., Tortonese E. (eds) *Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean*, vol 1. UNESCO, Paris, pp 148-152.
- Sami Merilaita, Nicholas E. Scott-Samuel and Innes C. Cuthill (2017). How camouflage Works *Phil. Trans. R. Soc.* B37220160341
- Sköld, N.H., Aspöngren, S., & Wallin, M. (2013). Rapid color change in fish and amphibians function, regulation, and emerging applications. *Pigment cell & melanoma research*, 26(1), 29-38.
- Stevens, M. (2007). Predator perception and the interrelation between different forms of protective coloration. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 274(1617), 1457-1464.
- Stuart-Fox, D., & Moussalli, A. (2009). Camouflage, communication and thermoregulation: lessons from colour changing organisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1516), 463-470.

Sugimoto, M. (2002). Morphological color changes in fish: regulation of pigment cell density and morphology. *Microscopy research and technique*, 58(6), 496-503.

Thayer, G. H. (1909). Concealing-coloration in the animal kingdom: being a summary of Abbott H. Thayer's discoveries. New York, NY: Macmillan.

Wykes, U. (1936). Observations on pigmentary co-ordination in elasmobranchs. *Journal of Experimental Biology*, 13(4), 460-466.

## **Agradecimientos**

Primero de todo me gustaría dar las gracias a mi tutor Jacobo Marrero, no solamente por la realización y la ayuda que me has dado en el presente trabajo de final de master, sino también por permitirme colaborar activamente en los muestreos de esta magnífica especie que es el angelote desde hace 2 años. Cuando llegué a Tenerife quedé maravillado por el angelote y gracias a ti he podido realizar mi trabajo sobre él. Dar las gracias también a mi tutora Sabrina, por las correcciones y aportar sus opiniones al trabajo. También quiero agradecer a Miguel que juntamente con Jacobo fue quien me abrió las puertas de esta maravillosa especie. En segundo lugar agradecer a toda la gente de Asociación Tonina, Adri, Bella, Ate, Ana, trabajar cada día a vuestro lado ha sido lo mejor del trabajo, me he sentido siempre uno del equipo y me habéis sacado una sonrisa realizando cualquier actividad. También me gustaría añadir la gran cantidad de voluntarios que participan en los muestreos y que sin ellos sería imposible realizar los trabajos.

Quiero agradecer en especial mis amigos, empezando por Daida y Eva, gracias por ser mi apoyo constante tanto en tema de trabajo como personales, me motiváis y conseguís sacar siempre lo mejor de mí, con vosotras sé que tengo una amistad para toda la vida. A Pablo por animarme constantemente y sobre todo por sus planes alocados, compartimos la misma pasión por la biología marina y estoy seguro que el futuro nos depara proyectos increíbles juntos. A Iago por sus consejos y siempre decirme la verdad y no lo que quiero escuchar y por ser mi fiel compañero debajo del agua.

Por último y más importante a mi familia, es decir mi madre, mi padre y mi hermano. Ellos me han permitido poder realizar mi sueño de ser biólogo marino y siempre me han puesto todas las facilidades para ello. Aunque hemos pasado momentos complicados desde mi llegada a la isla siempre han confiado en mí y me han ayudado a seguir adelante y crecer como persona. Sobretudo quiero agradecer a mi madre, siempre ha estado cuando la he necesitado y en los momentos más bajos ha sido quien me ha dado el empujón

necesario para seguir adelante, es la persona que más confío y estoy seguro que también es la persona que se sentirá más orgullosa que finalmente sea biólogo marino.

Seguro que me dejo mucha gente que ha estado presente durante la realización del trabajo y quiero agradecer a todos aquellos que no veáis vuestro nombre en los agradecimientos pero os sintáis parte de este camino.

Finalmente decir que esto no es el final de un camino sino el inicio de una nueva etapa llena de cosas por descubrir.