



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

PATRONES DE COMPORTAMIENTO DEL TIBURÓN TORO (*CARCHARHINUS LEUCAS*)  
DURANTE LA ACTIVIDAD DE BUCEO RECREATIVO EN PLAYA DEL CARMEN, QUINTANA ROO.

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:  
DIANA PIO OLGUÍN

TUTORA PRINCIPAL  
DRA. MARIA DEL PILAR BLANCO PARRA  
CONACYT-UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR  
DR. YANN LUCIÉN HENAUT  
EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA  
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

DR. FRANCISCO X. CHIAPPA CARRARA  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES MÉRIDA

DRA. NATALY CASTELBLANCO MARTÍNEZ  
CONACYT-UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE, 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**Patrones de comportamiento del tiburón toro  
(*Carcharhinus leucas*) durante la actividad de buceo  
recreativo en Playa del Carmen, Quintana Roo.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:  
**MAESTRA EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**DIANA PIO OLGUÍN**

**TUTORA PRINCIPAL:**

DRA. MARIA DEL PILAR BLANCO PARRA  
CONACYT-UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

**COMITÉ TUTOR:**

DR. YANN LUCIÉN HENAUT  
EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA  
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

DR. FRANCISCO X. CHIAPPA CARRARA  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES MÉRIDA

DRA. NATALY CASTELBLANCO MARTÍNEZ  
CONACYT-UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

**ASESOR(A) EXTERNO:**

DR. JAIME MANUEL GONZÁLEZ CANO  
SAVING OUR SHARKS A.C.

**MÉXICO, CDMX., octubre, 2020**

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>12</b>
<i>BIOLOGÍA DE LA ESPECIE CARCHARHINUS LEUCAS (MÜLLER &amp; HENLE, 1839)</i> .....	12
<i>ESTUDIOS DE COMPORTAMIENTO EN TIBURONES RELACIONADOS A ACTIVIDADES TURÍSTICAS DE AVISTAMIENTO</i> .....	15
<i>PROS Y CONTRAS DEL TURISMO DE AVISTAMIENTO DE TIBURONES</i> .....	17
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>22</b>
<b>MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
<i>ANÁLISIS EXPLORATORIO: ENTREVISTAS A PROFESIONALES DEL BUCEO CON TIBURÓN TORO</i> .....	24
<i>SELECCIÓN DE GRABACIONES</i> .....	24
<i>PROTOCOLO DE TOMA DE DATOS A PARTIR DE LAS GRABACIONES Y ANÁLISIS</i> .....	25
<i>GENERACIÓN DEL CATÁLOGO DE COMPORTAMIENTOS DE TIBURÓN TORO</i> .....	26
<i>ANÁLISIS DE PRESENCIA/AUSENCIA DE DATOS</i> .....	27
<i>FRECUENCIA DEL COMPORTAMIENTO DE C. LEUCAS DURANTE EL BUCEO TURÍSTICO</i> .....	28
<i>SECUENCIAS DEL COMPORTAMIENTO DE C. LEUCAS DURANTE EL BUCEO TURÍSTICO</i> .....	29
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
<i>TURISMO Y BUCEO RELACIONADO CON TIBURÓN TORO EN PLAYA DEL CARMEN</i> .....	31
<i>ENTREVISTAS A PROFESIONALES DEL BUCEO CON TIBURÓN TORO</i> .....	34
<i>SELECCIÓN PRELIMINAR DE VIDEOS</i> .....	37
<i>CATÁLOGO DE COMPORTAMIENTOS DE TIBURÓN TORO (CARCHARHINUS LEUCAS, DURANTE EL BUCEO RECREATIVO DE OBSERVACIÓN Y ATRACCIÓN</i> .....	38
<i>PRESENCIA DE COMPORTAMIENTOS REALIZADOS POR C. LEUCAS</i> .....	52
<i>FRECUENCIA DE COMPORTAMIENTOS EN C. LEUCAS DURANTE EL BUCEO TURÍSTICO</i> .....	62
<i>SECUENCIAS DE COMPORTAMIENTO DE C. LEUCAS DURANTE EL BUCEO RECREATIVO</i> .....	66
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>74</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>81</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>82</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>83</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>88</b>
<i>ANEXO 1: FORMATO DE REGISTRO PARA BUZOS GUÍA Y FOTÓGRAFOS</i> .....	88
<i>ANEXO 2: BASE DE DATOS PARA REGISTRO</i> .....	89
<i>ANEXO 3: SCRIPT PARA ANÁLISIS EN R, HEATMAP Y DENDOGRAMA</i> .....	90
<i>ANEXO 4: VALORES PARA LA CURVA DE ACUMULACIÓN</i> .....	91
<i>ANEXO 5<sub>A</sub>: MATRIZ DE PRESENCIA/AUSENCIA EN EL BUCEO DE ATRACCIÓN</i> .....	95
<i>ANEXO 5<sub>B</sub>: MATRIZ DE PRESENCIA/AUSENCIA EN EL BUCEO OBSERVACIÓN</i> .....	97
<i>ANEXO 6<sub>A</sub>: SECUENCIAS DE COMPORTAMIENTO DURANTE LA ACTIVIDAD DE OBSERVACIÓN</i> .....	99
<i>ANEXO 6<sub>B</sub>: SECUENCIAS DE COMPORTAMIENTO DURANTE LA ACTIVIDAD DE ATRACCIÓN</i> .....	100

## Lista de tablas

<i>Tabla 1. Datos de presencia y ausencia de comportamientos de C. leucas durante el buceo recreativo. Las claves para las conductas son: APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 2. Frecuencia de ocurrencia de comportamientos durante el buceo con C. leucas Claves :APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 3. Eigenvalores y porcentajes de inercia.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 4. PERMANOVA de una vía, índice de similitud de Mahalanobis .....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 5. Matrices de transición de comportamientos de C. leucas, durante el buceo recreativo de observación, las filas indican el primer comportamiento y las columnas el segundo .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 6. Matriz de probabilidades de transición esperada de comportamientos realizados por C. leucas, durante las actividades de buceo recreativo de observación, las filas indican el primer comportamiento y las columnas el segundo.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 7. Matrices de transición de conductas realizadas por de C. leucas, durante el buceo de atracción, las filas indican el primer comportamiento y las columnas el segundo. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 8. Matriz de probabilidades de transición esperada de comportamientos realizados por C. leucas, durante las actividades de buceo recreativo de atracción, las filas indican el primer comportamiento y las columnas el segundo. ....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 9. Comparativa de comportamientos con otros autores sobre la especie C. leucas.....</i>	<i>77</i>

## Lista de figuras

Figura 1. Distribución geográfica de <i>Carcharhinus leucas</i> .....	13
Figura 2. Posición geográfica del área de estudio, así como las coordenadas dentro de Playa del Carmen, Quintana Roo.....	23
Figura 3. Ejemplo de aplicación Visual Basic, para registro de comportamientos y duración. Claves. A= Nado lejano, B=Bostezo, C= Nado cercano, D=Cambio brusco de dirección, E=Embestida, F= seguimiento de carnada, G=Agarre, H=Transporte, I=Engullir, J= Giro cercano hacia alimentador, K=Giro cercano en sentido contrario al alimentador, L=Giro cercano hacia otro tiburón, M=Giro cercano contrario a otro tiburón, N=Mirada, O=Vibración de las aletas, P=Movimiento caudal, Q=Arqueo de lomo. ....	26
Figura 4. Vista superior de las posiciones durante un buceo con tiburón toro mediante uso de carnada.....	33
Figura 5. Número de tiburones observados en Playa de Carmen durante la temporada de noviembre a marzo en Playa del Carmen, de acuerdo con los encuestados. Las respuestas se concentraron entre los rangos de 20 a 30 tiburones, el porcentaje de mención se indica del lado derecho. ....	35
Figura 6. Porcentaje de mención respecto a la conducta inicial de <i>C. leucas</i> en el descenso de buceo para turistas y guías de buceo.....	36
Figura 7. Comportamientos realizados por los tiburones toro, relevantes para los guías de buceo durante las inmersiones que fueron mencionados durante las encuestas. ....	37
Figura 8. Ejemplos de comportamiento de aproximación. Fotografías: Phantom divers. ....	38
Figura 9. Comportamiento bostezo. Se observa la secuencia de apertura y cierre de mandíbula. Fotografía: Phantom divers.....	39
Figura 10. Ejemplos del comportamiento de cercanía, con una distancia entre .5 y 5 m del alimentador. Fotografía: Phantom divers.....	40
Figura 11. Cambio brusco de dirección en sentidos diferentes. Fotografía: Phantom divers. ....	41
Figura 12. Ejemplos de la unidad de comportamiento de embestida. Fotografías: Phantom divers. ....	42
Figura 13. Ejemplo del comportamiento seguimiento de carnada. Fotografía: Phantom divers.....	43
Ilustración 14. Ejemplos del seguimiento de carnada. Fotografía: Phantom divers.....	44
Ilustración 15. Ejemplos de transporte de carnada. Fotografía: Phantom divers. ....	45
Figura 16. Ejemplo del comportamiento engullir. Fotografía: Phantom divers. ....	46
Figura 17. Ejemplo de giro hacia el alimentador. Fotografía: Phantom divers. ....	47
Figura 18. Giro en sentido contrario al alimentador. Fotografía: Phantom divers. ....	47
Figura 19. Giro de seguimiento hacia otro tiburón. Fotografía: Rebecca Bateman. ....	48
Figura 20 . Giro en sentido contrario a otro tiburón. Fotografía: Guillermo Valero. ....	48

Figura 21. Movimiento de aletas pectorales hacia abajo. Fotografía: Guillermo Valero. ....	49
Figura 22. Ejemplo de arque de lomo. Fotografía: Guillermo Valero.....	50
Figura 23. Curva de acumulativa de comportamientos durante la actividad de buceo con atrayente alimenticio (creada con el método Mao Tao, 100 iteraciones). En rojo la media de acumulación, en azul el error estándar (intervalo de confianza del 95%). ....	51
Figura 24. Curva de acumulativa de comportamientos durante la actividad de buceo sin atrayente alimenticio (creada con el método Mao Tao, 100 iteraciones). En rojo la media de acumulación, en azul el error estándar (intervalo de confianza del 95%). ....	51
Figura 25. Mapa de calor para correlaciones de conductas realizadas por <i>C. leucas</i> , durante el buceo de observación con atrayentes. A la derecha el grado de correlación, donde uno y color azul se refieren a una correlación positiva y la correlación negativa, representada con -1 y color rojo. APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo. ....	53
Figura 26. Gráfica de Análisis de correlación 1/r (Pearson, Vecino más cercano) de conductas realizadas por <i>C. leucas</i> , durante el buceo de atracción. APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido a un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, ARQ =Arqueo de lomo.....	54
Figura 27. Gráfica de escalamiento multidimensional (dos dimensiones) para el buceo de observación con atrayentes alimenticios. Claves :APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo. ....	55
Figura 28. Mapa de calor para correlaciones de conductas realizadas por <i>C. leucas</i> , durante el buceo de observación sin atrayentes. A la derecha el grado de correlación, donde uno y color azul se refieren a una correlación positiva y la correlación negativa representada con -1 y color rojo. APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo .....	56
Figura 29. Gráfica de Análisis de correlación 1/r (Pearson, Vecino más cercano) de conductas realizadas por <i>C. leucas</i> , durante el buceo de observación sin atrayente alimenticio. APR= nado lejano, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales. ....	57
Figura 30. Gráfica de escalamiento multidimensional (dos dimensiones) para el buceo de observación con atrayentes alimenticios (estrés: 0.17759). Clave: APR= nado lejano, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales.....	58
Figura 31. Mapa de calor para correlaciones de conductas realizadas por <i>C. leucas</i> , durante el buceo de atracción y observación integradas. Claves :APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo,	

SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo..... 59

Figura 32. Gráfica de Análisis de correlación 1/r (Pearson, Vecino más cercano) de conductas realizadas por C. leucas, durante el buceo de atracción y observación. Claves :APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo..... 60

Figura 33. Gráfica de escalamiento multidimensional de dos dimensiones durante la actividad de buceo de observación con C. leucas (estrés: 0.3353) Claves :APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo..... 61

Figura 34. Grafica de análisis de comportamientos por individuos durante el buceo de observación con tiburón toro, en rojo registros con atrayentes y en negro los registros sin atrayentes. .... 63

Figura 35. Gráfica de análisis por comportamientos durante el buceo de observación con tiburón toro, se muestran las diferentes conductas con su respectiva asociación entre ellas, en rojo registros con atrayentes y en azul los registros sin atrayentes..... 64

Figura 36. Gráfica de análisis por individuo y comportamientos, en rojo individuos durante atracción, en negro individuos durante observación y en azul los comportamientos que describen los cuadrante..... 65

Figura 37. Diagrama cinemático de probabilidades observadas durante la actividad de buceo de observación. Claves. APR= nado lejano, CER=nado cercano, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, VIB=cambio de posición de aletas pectorales. .... 68

Figura 38. Diagrama cinemático de probabilidades esperadas durante la actividad de buceo de observación. Claves. APR= nado lejano, CER=nado cercano, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, VIB=cambio de posición de aletas pectorales. .... 69

Figura 39. Diagrama cinemático de probabilidad de transición entre conductas observadas durante la actividad de buceo de atracción. Claves. APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a alimentador, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo. Se encuentran resaltadas aquellas secuencias de mayor relevancia..... 72

Figura 40. Diagrama cinemático de probabilidades esperadas durante la actividad de buceo de atracción. Claves: APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a alimentador, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo. .... 73

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la asignación de la beca número 477221, al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología que ha sido fundamental en mi formación académica. A la Dra. María del Pilar Blanco Parra por acercarme a los tiburones y permitirme desarrollar este trabajo con libertad y paciencia. A los miembros de comité revisor Nataly Castelblanco, Yann Henaut, Felipe Galván Magaña y Xavier Chiappa por el tiempo invertido en la revisión de proyecto, por sus observaciones que enriquecieron y estructuraron este trabajo para hacerlo mejorar. El inicio de este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo de la asociación Saving our Sarks A.C. por medio de su director Luis Lombardo y Pamela Vázquez, quienes me brindaron apoyo para obtener parte de los datos utilizados. A prestadores de servicios turísticos Jorge Loria, quien me brindo las primeras grabaciones para comenzar el proyecto, a Gabriela Zubillaga por compartirme anécdotas, videos y contactos con grupos de buzos. A los buzos y fotógrafos que de forma desinteresada participaron en las entrevistas, por la donación de videos y experiencias de buceo con tiburón toro, sin esa información, este proyecto no se habría realizado, gracias por la pasión con la que hablan de los tiburones y por su compromiso en la conservación de la especie.

Al programa de Monitoreo de Megafauna Marina (PROMMAC) de la Universidad de Quintana Roo y la Fundación Internacional para la Naturaleza y la Sustentabilidad (FINS), por permitirme participar en el grupo de trabajo que enriquecieron mi formación en esta etapa.

Agradezco a Francisco Torres por la asesoría en estadística y porque sin su ayuda en programación los registros hubieran sido muy lentos.

A Christian Mariscal por ser maestro y crítico en cada etapa de este trabajo. Por ser mi principal apoyo de cerca y a distancia.

A Angélica Ramírez, oceanóloga con gran pasión por los tiburones. Tú ejemplo en lo profesional y lo personal es inspirador.

A Sarah, Fabi, Angie, Kata y los compañeros del laboratorio de la Universidad de Quintana Roo, cada una de ustedes me dejo una enseñanza, haciendo mi estancia en Chetumal enriquecedora.

## RESUMEN

El tiburón toro (*Carcharhinus leucas*), es una de las especies de elasmobranquios importantes para la industria del buceo turístico en Fiji, Bahamas y México. Si bien, se han definido múltiples beneficios del uso de la industria turística alrededor de estos tiburones también se hace necesario tener conocimiento de la influencia de dichas actividades en el comportamiento de la especie. En especial debido a la falta de regulación oficial en la región del Caribe Mexicano. El objetivo de este estudio fue caracterizar los patrones de comportamiento de *C. leucas* durante el buceo recreativo, en el área de Playa del Carmen. Se realizó mediante la identificación de las principales unidades de comportamiento y analizando la diferencia entre las estrategias de buceo llevadas a cabo en la región (con y sin alimento). Para ello, se entrevistó a buzos dedicados a dicha actividad, así como un análisis de 1100 videograbaciones submarinas. Éstas corresponden al periodo de 2016 a 2018 y fueron proporcionadas por prestadores de servicios turísticos. Los registros de tiburones se realizaron mediante un seguimiento focal y continuo. Obteniendo la estimación de la presencia, frecuencia y secuencia de cada comportamiento. Se han identificado quince unidades de comportamiento, que son descritas en un catálogo. Se registró la presencia de las conductas identificadas en ambos buceos de observación, identificando 14 comportamientos con el uso de atrayente y seis sin atrayente alimenticio. Se realizaron diagramas de flujo con los patrones generales por pares de comportamientos y secuencias. Utilizando una tabla de datos de presencia-ausencia, se realizó una matriz de correlación, que sugiere una correspondencia entre los comportamientos, que sugiere un mayor transporte de carnada que un consumo efectivo. Con análisis de conglomerados de tipo vecino más cercano, se identifican grupos de comportamientos relacionados con el atrayente respecto del alimentador, así como aquellos asociados a la observación sin atrayente; identificando comportamientos que ocurren en un solo escenario como cambio de posición de las aletas pectorales o arqueado de lomo. Este estudio puede colaborar con información para turistas que realizarán la actividad y como información para la regulación de las políticas públicas respecto al buceo con esta especie.

## ABSTRACT

The bull shark (*Carcharhinus leucas*) is one of the most important elasmobranch species for the tourist diving industry in Fiji, Bahamas and Mexico. Multiple benefits of using the tourism industry around these sharks have been defined. And thus, knowledge of the influence of activities on their behavior is needed. Especially, because official regulation in the Mexican Caribbean region has not been legislated. The objective of this study was to characterize the behavior patterns of *C. leucas* during recreational diving. The study area was Playa del Carmen, Quintana Roo.

Main behavioral units were identified and analyzed in different diving strategies carried out in the region (with and without bait). Accordingly, dive operators engaged in this activity were interviewed, as well as an analysis of 1100 underwater video recordings. These correspond to the period from 2016 to 2018 and were provided by tourism service providers. Shark registrations are carried out through a continuous and focal monitoring. Obtaining the detection of the presence, frequency and sequence of each behavior.

Fifteen units of behavior have been identified, which are described in a catalog. The presence of the behaviors identified in both observation dives was observed, identifying 14 behaviors with the use of bait and six without food. Flowcharts are presented with general patterns by pairs of behaviors and sequences. Using a presence-absence data, a correlation matrix was performed, identifying a correspondence between the behaviors. With the analysis of clusters of the closest neighbor type, groups of behaviors related to the attractant are identified with respect to the feeder, as well as those associated with dives without food; identifying behaviors that occur in a single scenario such as depressed pectoral fins or back arch. Finally, we identify groups of behavior in recreational dives with this specie (feeding, alert and social). This study will help to develop a process that will better inform tourist and dives about the expected behaviors in *C. leucas* and collaborate with public policies regarding the management of the activity.

## INTRODUCCIÓN

La interacción directa con la megafauna marina ha incrementado su popularidad en los últimos años a nivel mundial. Derivado de esto, se presentan diversos servicios entre los que se encuentra el buceo con tiburones, siendo esta actividad una alternativa no extractiva de aprovechamiento.

Son varias las especies de tiburones utilizadas en la industria turística a nivel mundial, sin embargo, son 15 las de mayor demanda (Gallagher y Hammerschlag, 2011). En primer lugar, el tiburón ballena (*Rhincodon typus*) que ocupa el 30 % de la oferta; los tiburones de arrecife (*Carcharhinus amblyrinchos*, *Carcharhinus albimarginatus* y *Triaenodon obesus*) conforman otro 30% y finalmente el tiburón azul (*Plionacea glauca*) presenta un porcentaje menor al 10% (Cisneros-Montemayor *et al.*, 2013). En México, la oferta de acercamiento con tiburones tiene gran demanda, para el tiburón ballena, el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) y el tiburón toro (*Carcharhinus leucas*).

El buceo con *C. leucas*, se realiza principalmente en Fiji, Bahamas y México (Brunnschweiler *et al.*, 2018). El turismo asociado al buceo presenta una diversidad alta dependiendo de la especie, las regulaciones mundiales y locales, así como el grado de acercamiento cultural histórico a la especie de tiburón (Gallagher *et al.*, 2015). Cada zona de buceo e incluso cada prestador de servicios turísticos, ofrece una estrategia de observación diferente, dependiendo del tipo de región y las medidas de seguridad que se requieran para llevar a cabo dicha actividad.

Playa del Carmen, en el estado de Quintana Roo, se ha posicionado como una de las regiones claves para realizar el buceo con tiburón toro, adquiriendo gran importancia para el turismo en la región Caribe de México. Sin embargo, existen muchos aspectos a investigar relacionados con el turismo de observación incluyendo su efecto sobre el comportamiento natural de los individuos. Para el caso particular del tiburón toro, no se conoce aún el estatus de sus poblaciones y los posibles efectos de actividades humanas, entre las cuales se contempla el turismo de avistamiento.

## ANTECEDENTES

### Biología de la especie *Carcharhinus leucas* (Müller & Henle, 1839)

La especie *C. leucas* forma parte de la familia Carcharhinidae que incluye 59 especies (Eschmeyer, 2018). Resalta para su identificación que el largo del morro tiene una longitud menor que el ancho de la boca, razón por la que en algunas regiones de México como Tabasco y Veracruz se le conoce como tiburón chato (Sosa Nishizaki *et al.*, 1998).

De acuerdo con Castro (2011) los caracteres diagnósticos de esta especie son: 1) el origen de la primera aleta dorsal, la cual se encuentra sobre el eje de la aleta pectoral o ligeramente anterior a esta; 2) el tamaño menor de la segunda aleta con respecto a la primera; 3) la carencia de pliegue inter dorsal, y 4) su coloración, siendo el ápice de las aletas ligeramente más oscuro que el resto del cuerpo, y la parte inferior del cuerpo es blanca.

El tiburón toro habita en aguas poco profundas normalmente a menos de 30 m de profundidad con registros que van desde un metro y hasta 150 m (Castro, 2011), permaneciendo cerca de fondos arenosos (Compagno *et al.*, 2006). La especie tiene la capacidad de incursionar desde el mar hacia cuerpos de agua costeros, ribereños, estuarinos y lacustres (Castro, 1983; Fischer *et al.*, 1995). Su capacidad de adentrarse en aguas con menor salinidad está relacionada con sus hábitos alimenticios y le confiere ventaja para conseguir alimento más fácilmente respecto a otros tiburones (Sosa Nishizaki *et al.*, 1998).

El tiburón toro es un depredador tope, como parte de su dieta se han reportado crustáceos (*Callinectes sp.* y *Penaeus sp.*), peces (*Ariidae* y *Carangidae*), presentando adaptaciones en sus hábitos alimenticios dependiendo de la región que habita (Snelson *et al.*, 1984), por lo que también puede consumir tortugas marinas, aves, carroña y mamíferos marinos (Compagno *et al.*, 2006).

*C. leucas* es un organismo vivíparo placentario, con un periodo de gestación entre diez y once meses (Compagno, 1984). Las crías nacen con una talla entre 56 y 81 cm

(Cruz-Martínez *et al.*, 2004), siendo el número de crías discutido por diferentes autores entre tres y trece (Branstetter y Stiles, 1987).

La especie usa bahías o estuarios como áreas de crianza, lo que favorece su supervivencia (Heupel y Simpfendorfer, 2008, Compagno *et al.*, 2006). Los organismos alcanzan la madurez completa entre los 157 y 226 cm, los machos tienen una talla máxima registrada de 299 cm y las hembras de 324 cm, con una talla máxima registrada para la especie de 340 cm (Castro, 1983). En México los posibles sitios de crianza determinados por la abundancia de juveniles son Laguna de Términos en Campeche (Uribe Martínez, 1993) y Teacapán, Sinaloa (Salomón-Aguilar *et al.*, 2009) y posiblemente en Quintana Roo (Marín-Osorno, 1992).

Es considerado un tiburón cosmopolita y costero, que se encuentra principalmente en aguas tropicales (Fischer *et al.*, 1995). En el continente americano se distribuye desde Massachusetts hasta Brasil y desde Baja California Sur hasta Ecuador (Compagno, 1984; Simpfendorfer, 2009) (Fig. 1).



Figura 1. Distribución geográfica de *Carcharhinus leucas*.  
Fuente: Simpfendorfer, C. & Burges G.H., 2009.

El tiburón toro es una especie casi amenazada (IUCN, 2016). Debido a su largo desarrollo embrionario, bajo número de crías, su lenta tasa de crecimiento y madurez sexual tardía, esta especie es particularmente vulnerable a sufrir reducciones poblacionales (Compagno *et al.*, 2006).

Siendo un tiburón de hábitos costeros es vulnerable a impactos negativos derivados de actividades humanas como: la sobrepesca, la contaminación, la modificación de hábitat y el cambio climático (Compagno *et al.*, 1984; Martin *et al.*, 2005). Por otra parte su presencia en las costas aumenta la probabilidad de ataques hacia humanos. Anislado-Tolentino *et al.* (2008) reporta que estos ataques responden a agresiones de buzos o pescadores. Los estudios de comportamiento específicos sobre la especie son escasos y enfocados a la prevención de ataques. Ritter (2012) analiza el comportamiento del tiburón toro respecto a la posición de las personas en la superficie del agua, encontrando que la distancia del tiburón fue mayor cuando la persona se encontraba en posición vertical con la cabeza sobre el agua respecto a una posición horizontal, se reporta también mayor cercanía a los humanos por parte de los tiburones de menor tamaño.

Curtis & Majestic (2014) observaron el comportamiento de salto en superficie (breaching) en juveniles de *C. leucas*, se menciona como comportamiento natural un nado lento, con la capacidad de aumentar su velocidad al perseguir a sus presas.

Martín en 2007 realiza una revisión de comportamientos agonísticos en diversas especies de tiburones y de esta reseña menciona que el tiburón toro presenta tres comportamientos de este grupo: apertura de mandíbulas (jaw ganping), elevación del hocico (Snout elevation) y abatimiento de aletas pectorales (pectoral fin depression), todos los comportamientos fueron registrados por comunicación personal al autor. Pasos-Acuña (2018) identificó 19 comportamientos realizados por esta especie con y sin presencia de buzos, reportando como movimientos frecuentes “merodeo” y “no reacción” en presencia de buzos; esta investigación fue realizada en el Parque Nacional Cabo Pulmo, el sitio tiene la particularidad de prohibir alimentar a los tiburones.

Mediante estaciones de video submarinas (sin cebo), Loiseau *et al.* en 2016 describen asociaciones entre tiburones toro hembras, identificando que algunos individuos eran más gregarios que otros.

Guttridge *et al.* (2009) planteo la hipótesis de que los tiburones más jóvenes tienden a seguir a los más grandes debido a la información referente al hábitat que poseían estos individuos de mayor experiencia; sin embargo, en el estudio respecto a interacciones entre individuos de esta especie. Louseau *et al.* (2016) los individuos de mayor tamaño corporal o edad no fueron necesariamente los identificados en posiciones de liderazgo.

La comprensión actual del comportamiento de la especie *C. leucas* se encuentra en proceso, por lo que se requiere utilizar el conocimiento referente a otras especies, particularmente aquellas que han sido estudiadas en lo referente a cuestiones turísticas para este trabajo.

### **Estudios de comportamiento en tiburones relacionados a actividades turísticas de avistamiento.**

El comportamiento de organismos acuáticos requiere el uso de la definición de unidades bien definidas compiladas en catálogos de comportamiento y etogramas (Barlow, 1968). Dentro de estas unidades existen patrones dominantes que pueden ser analizados mediante frecuencias o su relación con un estímulo determinado, dependiendo de las características de cada especie (Lehner, 1998).

Los estudios respecto al comportamiento del tiburón son diversos, abarcando desde movimientos espaciales (Hueter *et al.* 2005, Heupel y Simpfendorfer, 2008, Tillett *et al.* 2012, Brunnschweiler *et al.*, 2018), comportamientos en cautiverio (Clark, 1963, Skomal *et al.* 2010, Ezcurra J *et al.* 2012) y durante buceo en su ambiente natural (Nelson, 1977, Gallagher *et al.*, 2005).

A nivel mundial, la especie de tiburón mejor estudiada con respecto a la relación entre el turismo de buceo y el comportamiento, es el tiburón ballena (*R. typus*). Los estudios realizados se enfocan en mayor medida a datos de distribución a nivel mundial, patrones de migración y tamaño poblacional (Meekan *et al.*, 2006); es decir

comportamiento temporal y espacial. También se ha evaluado el comportamiento alimenticio, identificando los efectos de la presencia de buzos, encontrándose opiniones encontradas. Por un lado se menciona una reacción de alejamiento de los tiburones ballena a la presencia cercana de más de tres personas (Villagómez Vélez, 2016). Sin embargo, otro estudio reporta cambios mínimos de comportamiento alimenticio de organismos de *R. typus*, obteniendo en este estudio, nula suspensión de la alimentación por actividad turística en su análisis, atribuyendo este resultado a la planificación de la actividad por parte de los prestadores de servicio turístico (Núñez-Vivas, 2015).

Otro ejemplo de tiburón con gran interés en investigaciones respecto a turismo y comportamiento es el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*), se han desarrollado etogramas de estrategias de caza (Klimley *et al.*, 1996; Martin y Hammerschlag, 2012) y patrones de comportamiento (Sperone *et al.*, 2012). El buceo turístico con tiburón blanco se realiza dentro de una jaula sumergible a nivel de superficie para buceadores no experimentados y a mayor profundidad para profesionales (Sperone *et al.*, 2012). Los estudios científicos han sido realizados a partir de observaciones desde una embarcación a nivel de superficie (Klimley *et al.*, 1996; Laroche *et al.*, 2007; Sperone *et al.*, 2012); y desde jaulas sumergidas (Sperone *et al.*, 2012). Se han definido 24 unidades o categorías de comportamientos distintos en la interacción con pinnípedos en las Islas Farallón (Klimley *et al.*, 1996), 20 en Sudáfrica (Martin *et al.*, 2005) y nueve en presencia de carnada y con una mayor cantidad de categorías comportamentales entre menor es el tamaño de los ejemplares observados (Sperone *et al.*, 2012).

Los estudios de comportamiento de turismo con tiburón toro se han enfocado principalmente a la alimentación que los buzos realizan durante el buceo. En la Reserva marina "Shark reef" se han identificado individuos con fidelidad al sitio y una permanencia de horas consecutivas en el área cuando se alimenta a los tiburones respecto a los días que no se utiliza carnada, así como agregación de los tiburones en el día y dispersión por la noche (Brunnschweiler y Barnett, 2013). En el Parque nacional Cabo Pulmo, se identificó una mayor diversidad de comportamiento sociales realizados por parte de los tiburones cuando se encontraban en un ambiente sin buzos, también se indica que durante los buceos de observación los tiburones no

reaccionaron a los buzos, pero al no seguir un protocolo de observación, el repertorio de comportamientos se incrementa (Pasos-Acuña, 2018).

Martin (2005) analizó los comportamientos que reflejan el estrés en tiburones durante los buceos recreativos, identificando: 1) Con buzos solitarios o grupos dispersos de buzos, los tiburones parecen menos estresados que en grupos unidos. 2) Durante la alimentación a tiburones, estos reflejaban un comportamiento que parecía relajado. 3) En eventos de alimentación donde participaban dos o más especies, se presentaban comportamientos agonísticos. 4) La distancia que suelen presentar entre tiburones toro es aproximadamente el tamaño de longitud total de un tiburón, a esta distancia mínima le llamó "idiosphere" y 5) Aceptación diferencial de la carnada a nivel individual. Finalmente, es importante señalar que los estudios sobre el comportamiento en condiciones de vida libre son aún escasos y que cada sitio se convierte en un único, debido a las condiciones ambientales y el tipo de especie de tiburón presente (Gallagher *et al.*, 2005), el tipo de manejo por parte de los prestadores de servicios turísticos, así como la regulación local y gubernamental.

### **Pros y contras del turismo de avistamiento de tiburones.**

A nivel mundial se realizan actividades turísticas relacionadas con tiburones con grandes beneficios sociales y económicos que pueden incidir en programas de conservación para las regiones y especies utilizadas (Cisneros-Montemayor *et al.*, 2013). Por otro lado, las investigaciones referentes a los efectos de la observación de la vida marina reportan la importancia de investigar los potenciales de las actividades de turismo sobre el (Gallagher *et al.*, 2005, Gallagher y Huveneers, 2018).

El análisis recopilatorio de Gallagher *et al.* en 2005 reporta una revisión de publicaciones hasta el 2014 relacionadas al turismo recreativo con tiburones, encontrando que los mayores esfuerzos de investigaciones se enfocaron a aspectos socioeconómicos y en menor medida al bienestar animal, incluyendo el efecto en el comportamiento derivado de la interacción con los humanos. Dentro de las conclusiones se hace hincapié en la importancia del manejo de la actividad reduciendo interacciones directas, así como la necesidad de incrementar información de elementos básicos conductuales.

## *Alimentación*

Comenzando por uno de los elementos de mayor preocupación para muchos investigadores en cuanto a los efectos biológicos potencialmente negativos para los animales con los que se realizan actividades turísticas se encuentra la alimentación (Orams, 2002, Gallagher *et al.*, 2015, Zemah Shamir *et al.*, 2019). Orams (2002) analiza las implicaciones de alimentar animales silvestres, considerando cuatro temas principales de interés:

- 1) La alteración natural de los patrones de comportamiento: Esto incluye el aumento en su actividad habitual para obtener el alimento en los horarios designados por los visitantes y no por sus necesidades naturales, el gasto energético invertido en la actividad de alimentación respecto a otras actividades como socialización o movimientos espaciales, dependiendo del tipo de lugar y especie, puede ocurrir que se tenga mayor tiempo para actividades diferentes al forrajeo y/o caza.
- 2) Dependencia y habituación: El principal efecto potencialmente dañino, reside en que, al suministrar el alimento de manera continua, los animales pueden no desarrollar su capacidad de adquirir de manera autosuficiente su alimento, esto es particularmente relevante en organismos juveniles que pueden no desarrollar la capacidad tener herramientas para la obtener su alimento. Adicionalmente, la habituación al contacto humano implica que a diferencia de la mayoría de los animales en vida libre que se alejan de las personas, situación que les permite tener una distancia de seguridad; sin embargo, cuando no mantienen esta distancia pueden incrementar su vulnerabilidad.
- 3) Agresión: En ciertos casos se reporta ataques de los animales silvestres durante la alimentación por parte de los turistas o posterior a eventos de atracción a personas que se encuentran en el área que ha sido utilizada para alimentación.
- 4) Salud, enfermedades y lesiones: En muchas ocasiones los alimentos ofrecidos a los animales durante las actividades turísticas, no estas reguladas y por lo

tanto pueden afectar la salud de los animales al no formar parte de su dieta habitual. Las lesiones se deben principalmente a vehículos utilizados para la observación de los animales y la cercanía requerida para alimentarlos.

Brunnschweiler *et al.* (2018) reportan que la cantidad de alimento ofrecido a tiburones durante 36 buceos dentro de la Reserva Marina “Shark Reef” en Fiji, cumplían con los requerimientos energéticos totales. En la misma zona de Fiji, se analizó el movimiento de los tiburones dentro de la reserva, identificando que no había diferencia en la presencia de los tiburones durante días de alimentación y no alimentación, pero si hubo una diferencia en el tiempo que se permanece dentro de las áreas de alimentación respecto a las áreas donde se reunía normalmente los tiburones pero donde no se da la actividad de atracción alimenticia (Brunnschweiler y Barnett., 2013). Reportes de alimentación a animales silvestres indican que aquellos que son alimentados tienden a regresar a las zonas de actividad humana comparados con lo que no han recibido comida antes, los animales pueden ser atraídos por el estímulo del alimento a la misma zona en repetidas ocasiones o bien no tener ninguna reacción ante la presencia humana por habituación (Whittaker, 1998).

#### *Regulación estatal de la actividad de avistamiento de fauna silvestre.*

Otro tema de relevancia es el ordenamiento legal en las diferentes áreas que involucran el avistamiento de la fauna silvestre, desde los permisos de operación y los requisitos mínimos de manejo hasta el uso de área. Por ejemplo, Zemah Shamir *et al.* (2019), reporta que en el mediterráneo las complicaciones con las agregaciones de tiburones atraídas al avistamiento en las actividades turísticas, se deben a que no hay un reglamento que funcione como mediador entre el crecimiento acelerado de la industria turística de observación y la conservación de las especies utilizadas.

Dobson (2006), analiza los tipos de regulación en las actividades de fauna silvestre, indicando que, en su mayoría, la autogestión es el primer elemento regulatorio estableciendo códigos de conducta y costo. Siendo la auto regulación el mecanismo mejor recibido por los operadores de servicio turístico, pero en general también son los menos fuertes ya que se convierten en decisiones comerciales. La regulación

gubernamental en general toma tiempo en llevarse a cabo y se concretan por presión de la sociedad. En conclusión, se sugiere a integración de los grupos de interés para consolidar acuerdos en los planes de manejo y que éstos lleguen a ser exitosos.

#### *Potencial de conservación*

El turismo de avistamiento de la naturaleza cuenta con la posibilidad de incentivar al público participante hacia el cuidado del ambiente natural y la especie visitada. Curtin y Kragh (2014), mencionan que el interés e inclusión en temas de conservación de especies es más probable al realizarse enfocándose a una especie. La importancia socio económica en las localidades donde se realiza pueden generar mayor cercanía de los turistas a las diferentes especies, fomentando actitudes de respeto por parte de los turistas participantes y colaborando con la promoción de medidas de conservación (Gallagher y Huveneers, 2018).

Un análisis respecto al aprendizaje respecto a la conservación de vida silvestre en acuarios y zoológicos reflexionando sobre la aplicación al turismo de naturaleza, indica que la receptividad de los turistas es mayor al encontrarse cerca con la especie. Este aprendizaje siempre acompañado por un guía con preparación para sensibilizar a la biología, ecología y comportamiento natural de la especie (Ballantyne *et al.*, 2007).

#### *Beneficios económicos*

El desarrollo económico que deriva de la actividad ecoturística se incrementa año con año. Cisneros Montemayor, 2013 identificó 70 sitios de avistamiento de tiburones a nivel mundial, donde entre 10 y 20 especies están disponibles para el avistamiento por temporadas o por sitios específicos, en todos los casos se incrementaba el número de turistas al paso del tiempo, con proyecciones de incremento de 27% cada año en dos décadas en los que se genera globalmente 314 millones de dólares con más de 10,000 trabajos generados.

## JUSTIFICACIÓN

Los tiburones toro cumplen una importante función dentro de los ecosistemas marinos ayudando a mantener el equilibrio de los océanos al ser consumidor de presas, manteniendo el equilibrio natural (Kempster, 2013). Son también parte de las especies de utilidad económica como alimento y atractivo turístico (Gallagher *et al.*, 2005). De acuerdo con Reynolds y Braithwaite (2001), comprender la respuesta de los animales a las actividades turísticas y la dimensión humana que está involucrada en el ecoturismo con la vida silvestre es crucial para el manejo exitoso de estas actividades. Playa del Carmen se ha posicionado como uno de los mejores lugares para realizar el buceo con esta especie, siendo uno de los mayores atractivos ecoturísticos en la Península de Yucatán (Golby, 2015). Si bien, se han definido múltiples beneficios del uso de la industria turística alrededor de estos tiburones, también se hace necesario tener conocimiento de la influencia de dichas actividades en su comportamiento (Gallagher *et al.*, 2015).

Con esta tesis se busca enriquecer el conocimiento de los patrones de comportamiento de esta especie durante la observación con y sin atrayentes alimenticios. Esto permitirá formar una idea de la tendencia general en el comportamiento esperado durante el buceo recreativo llevado a cabo en la región. Siendo también una oportunidad para discutir potenciales escenarios presentes y los futuros retos que se presentarán para tener un manejo adecuado de esta actividad. Para ello, se identificarán las principales unidades de comportamiento en *C. leucas*. Analizando la posible diferencia entre los dos tipos de buceo. Conformando un estudio exploratorio de datos básicos de comportamiento del tiburón toro en Playa del Carmen, Quintana Roo.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Caracterizar el comportamiento del tiburón toro durante las actividades de observación y atracción mediante carnada en sitios con actividad turística de buceo autónomo recreativo en Playa del Carmen, Quintana Roo.

### **Objetivos particulares**

- Describir el comportamiento del tiburón toro en la zona de buceo recreativo en Playa del Carmen, Quintana Roo.
- Analizar la conducta de *C. leucas* en presencia de buzos con equipo autónomo.
- Comparar el comportamiento del tiburón toro entre el buceo con y sin atrayentes.

## **ÁREA DE ESTUDIO**

Playa del Carmen es la cabecera del municipio Solidaridad en el estado de Quintana Roo, se encuentra ubicado a los 20.62° de latitud Norte y 87.07° de longitud Oeste, a una altitud media de 15 msnm.

El estado de Quintana Roo presenta un clima subhúmedo con lluvias en verano, presentándose la costa Este como la región de mayor humedad comparada con la zona Norte (INEGI, 2005). El clima es tropical, con dos temporadas dominantes, que se encuentran marcadas por los patrones de viento y temperatura a lo largo del año. La temperatura media durante el año está entre los 26°C, en los meses de abril a agosto con una máxima de 33°C. A partir del mes de octubre y hasta el mes de febrero se presentan vientos dominantes de noreste, con influencia de frentes fríos del norte y de octubre a febrero los vientos dominantes son del noreste, en verano los vientos dominantes del este tienen velocidades de 3 a 9 m/s (Merino-Ibarra y Otero, 1999).

El perfil batimétrico de Playa del Carmen presenta una pendiente suave en comparación con otras zonas de Quintana Roo. A partir de los siete primeros metros se tiene una pendiente pronunciada con exposición a la erosión por oleaje constante. Las corrientes viajan predominantemente hacia el norte a velocidades altas y hacia el suroeste a velocidades bajas (Gajá, 2007).

Aunque la actividad turística de avistamiento de tiburón puede darse en cualquier sitio dentro de la península de Yucatán durante un buceo de forma casual, los prestadores de servicios turísticos tienen una región designada para tal fin. Dicha zona ha variado al paso de los años, debido a las condiciones ambientales en Quintana Roo y los sitios seleccionados. Sin embargo, siempre desarrollan la actividad en zonas sin arrecifes (arenales), con poca corriente y con espacios que permitan la permanencia de los tiburones. Desde hace algunos años la zona utilizada de común acuerdo por la comunidad de buzos se limita al polígono indicado en la Figura 2. Esta área se encuentra a 400 metros de la costa, delimitada por una boya con línea de descenso, realizando la actividad a 25 metros de profundidad.

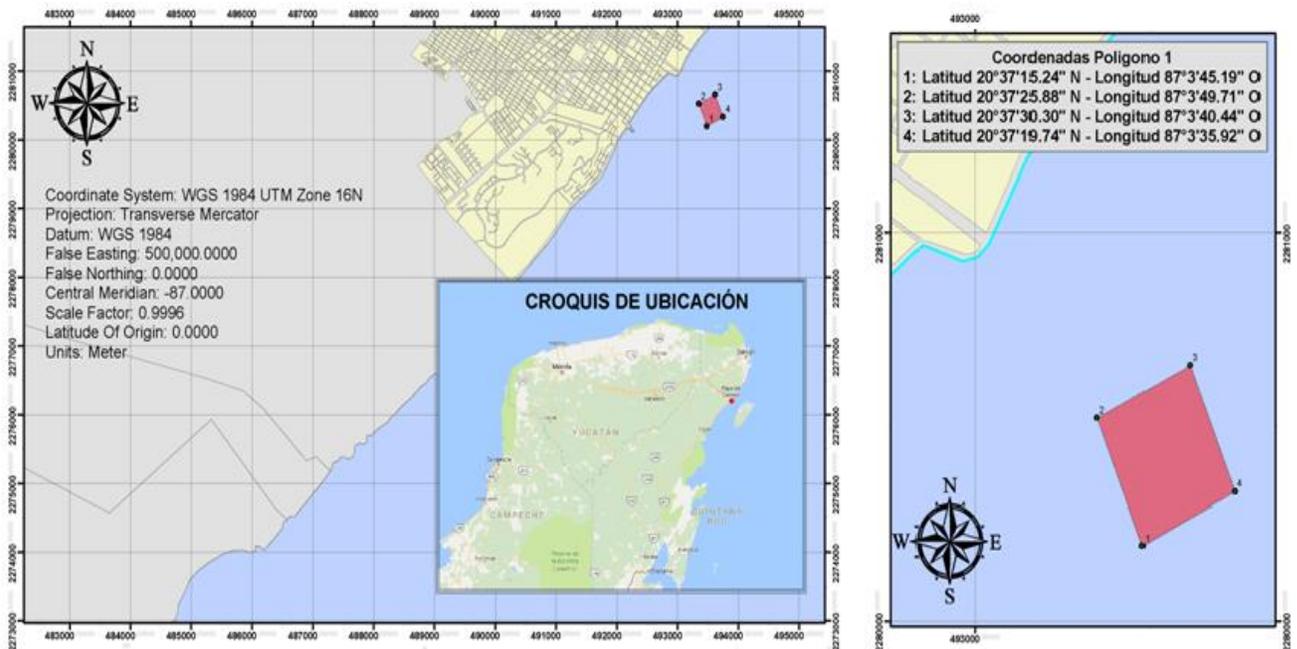


Figura 2. Posición geográfica del área de estudio, así como las coordenadas dentro de Playa del Carmen, Quintana Roo

## **MÉTODOS**

### **Análisis exploratorio: Caracterización de la actividad turística y entrevistas a profesionales del buceo con tiburón toro**

Con el objetivo de conocer información de primera mano sobre el comportamiento del tiburón toro y las particularidades del buceo con estos organismos, se realizó una serie de entrevistas informales a buzos guía, fotógrafos y asistentes que realizaron la actividad en la temporada 2017-2018.

Durante las entrevistas, se les preguntó aspectos sobre la distancia y posición de los tiburones durante el buceo respecto a los turistas, a los guías de buceo y los alimentadores. Con dicha información se obtuvieron datos sobre las condiciones generales de buceo, con énfasis en los movimientos espaciales identificados. Como parte de la información se les pregunto sobre las técnicas utilizada durante esta actividad a nivel individual o por empresa turística que cuenta con el servicio de buceo con tiburón toro, como el número de buzos permitido. Por ejemplo, el seguimiento de acuerdos comunes (horarios y equipo), así como experiencias de interés referentes al comportamiento de los tiburones. El formato de preguntas se presenta en el Anexo 1.

#### **Selección de grabaciones.**

El presente estudio fue realizado a partir de videograbaciones submarinas durante las actividades de observación y atracción de tiburones toro en Playa del Carmen, durante los meses de noviembre a febrero dentro del periodo comprendido entre 2016 y 2017, dentro del área indicada previamente (Figura 2). Con el objeto de recabar la información necesaria para la investigación, se solicitaron los videos completos y sin edición a buzos y fotógrafos que realizan la actividad en dicho periodo.

Las grabaciones fueron realizadas por los guías de buceo con el objetivo final de vender los videos a los turistas participantes, por lo tanto, no fue planificadas para este estudio. Las grabaciones se realizaron con videocámaras submarinas de alta definición (Go pro: 3, 4, 5 y 5+) dependiendo del guía de buceo.

En una primera etapa se realizó una selección de los videos, según la calidad y las características de estos, eligiendo aquellos que cubrían al menos tres movimientos diferentes, para contar con al menos 4 transiciones (cambios de un comportamiento a otro) por secuencia. Se eliminaron aquellos donde el tiempo de grabación era menor a 1 minuto, aquellos cuya baja visibilidad impedía ver claramente los movimientos del tiburón, aquellos cuya grabación era interrumpida por el guía de buceo y las que se concentraron en el seguimiento de otra especie y no se alcanzaba una secuencia mínima. La información de los videos se presenta en el Anexo 2.

### **Protocolo de toma de datos a partir de las grabaciones y análisis**

El análisis del comportamiento en vida libre de organismos acuáticos presenta diversos retos, debido a los múltiples factores que intervienen durante el desarrollo del estudio. Sin embargo, la toma de datos a partir de grabación, pueden brindar información de utilidad para estudios básicos o descriptivos. Las unidades de comportamiento identificadas se obtuvieron registrando la secuencia de unidades conductuales observadas en los videos mediante muestreo focal y continuo (Martin, P. y Bateson, P., 1986). De acuerdo con Lehner (1996), éste registro debe ser particular por grupo de edad, sexo o comportamiento específico, dependiendo del objetivo del estudio. Por lo que la identificación del sexo, mediante la observación de los órganos sexuales externos, fue realizada para los casos en que la grabación lo permitió. Buscando los gonopterigios para machos o ausencia de estos para hembras, en los casos que no fuera posible tenerlos a la vista de la cámara, se registró como no identificado.

Se desarrolló una hoja de cálculo de Excel en cual se creó una aplicación con Visual Basic, para marcar los diferentes comportamientos y duración de cada uno de forma automática, para su posterior ingreso a la base de datos.

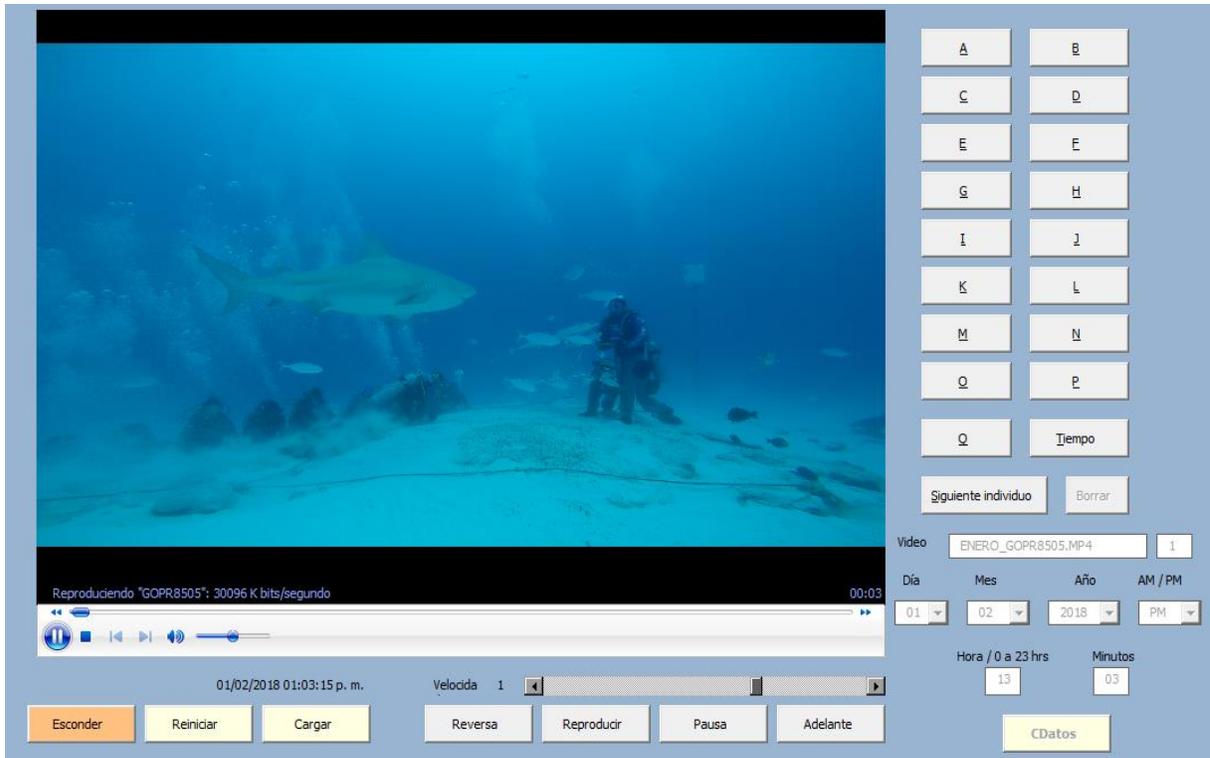


Figura 3. Ejemplo de aplicación Visual Basic, para registro de comportamientos y duración. Claves. A= Nado lejano, B=Bostezo, C= Nado cercano, D=Cambio brusco de dirección, E=Embestida, F= seguimiento de carnada, G=Agarre, H=Transporte, I=Engullir, J= Giro cercano hacia alimentador, K=Giro cercano en sentido contrario al alimentador, L=Giro cercano hacia otro tiburón, M=Giro cercano contrario a otro tiburón, N=Mirada, O=Vibración de las aletas, P=Movimiento caudal, Q=Arqueo de lomo.

El seguimiento fue continuo para un tiburón a la vez, durante el mayor tiempo posible. Si este organismo salía del rango de visión de la cámara, se seleccionaba a otro individuo como organismo focal, indicándolo en la base de datos y se continuó con la asignación de unidades de comportamiento.

### Generación del catálogo de comportamientos de tiburón toro

Con la información recabada a partir de entrevistas, la observación de las grabaciones *ad libitum* y la observación directa, se realizó un listado de comportamientos, con descripciones y fotografías que permiten una comprensión de cada uno. Sin embargo, el repertorio de comportamientos encontrado no será la totalidad de los

comportamientos realizados por el tiburón toro, ya que está sólo se analizan las conductas restringida a un ambiente muy particular durante el buceo recreativo.

A partir del registro continuo se llevó a cabo la observación de los video y la relación de conductas observadas. Con el listado de presencia o ausencia de conductas se realizó un curva de acumulación de comportamientos, a fin de garantizar que el esfuerzo de observación en horas fue suficiente para contar la mayoría de los comportamientos presentes (Días PAD *et al.*, 2009).

La curva de acumulación se utiliza para los inventarios de biodiversidad, pero es aplicable a la acumulación de comportamientos (Días PAD *et al.*, 2009). La observación de nuevos comportamientos puede ser representada en función del esfuerzo de observación, esperando que al inicio se encuentran los comportamientos comunes y a medida que se avanza en la observación el número de comportamiento nuevos será menor. Para este caso se utilizará el método desarrollado por Días P.A.D. *et al.* (2009) para curvas de acumulación de comportamientos, realizándolo en el programa de libre acceso Past (Hammer *et al.*, 2001). En este programa se utiliza el método de rarefacción simple (Sanders, 1968) utilizando el estadístico Mao's tau, para evitar que influya el orden del muestreo y el algoritmo de remuestreo computacional intensivo desarrollado por Colwell (1997) utilizando 100 iteraciones.

### **Análisis de presencia/ausencia de datos**

Se realizó una matriz de presencia/ausencia de datos, a partir de la cual se obtuvo una matriz de correlación, con 100 iteraciones, donde se reflejan las correlaciones positivas y negativas para el conjunto de comportamientos en el escenario de atracción y observación. Se realizó un mapa de calor para una visualización de datos. Si bien la correlación positiva o negativa nos da información sobre el sentido directo o inverso entre dos comportamientos, se realizó una transformación a datos absolutos para utilizarla como matriz de similitud y a partir de esta, se transformó a matriz de distancia, donde se consideran los valores positivos y negativos con el objetivo de graficarlo en el programa R (R Core Team, 2013).

Con la matriz de distancia, se realizó un escalamiento multidimensional, para registrar los comportamientos correlacionados y un análisis de conglomerados de tipo vecino más cercano, para agrupar los comportamientos de acuerdo con su correlación. Una vez obtenida la matriz de datos fueron identificadas las frecuencias observadas, siendo éstas las unidades de comportamiento que se realizan usualmente por parte de los tiburones durante el buceo. La guía del programa R utilizada para este paso se encuentra en el Anexo 3.

### **Frecuencia del comportamiento de *C. leucas* durante el buceo turístico**

Las frecuencias observadas de los comportamientos durante el buceo de observación y el de atracción fueron estudiadas mediante un análisis de correspondencia, para identificar la asociación entre filas y columnas mediante una tabla de contingencia y la similitud entre las categorías de cada variable, donde los renglones corresponden a los individuos registrados y las columnas a los comportamientos realizados por los tiburones. Se dividió en dos grupos que corresponden al buceo con atractivos y buceo sin atractivos. En este caso se pueden examinar la distribución de las frecuencias de cada comportamiento registrado y establecer si existen relaciones entre las diferentes conductas.

La representación gráfica se puede simbolizar de forma geométrica, permitiendo comprender el significado de las operaciones numéricas. De esta forma se representa un lugar sobre el cual se encuentran los puntos y las distancias entre vectores graficados en un espacio euclidiano de dimensión finita (Acosta Espinosa G., 2004). En este caso el número de dimensiones está determinado por el número de conductas realizadas por cada individuo de tiburón toro analizado.

Al agregarse los vectores con sus respectivas distancias euclidianas, las operaciones ya no se refieren a la transformación de un vector, sino a la transformación de un conjunto de datos expresados en forma de matriz. Los valores propios (eigenvalores) extraídos de la matriz corresponden a la varianza de cada dimensión y la calidad del análisis se puede evaluar con la tabla de sedimentación, donde se tiene la noción de la inercia total y acumulativa por cada eje (Acosta Espinosa G., 2004).

Se realizó un análisis multivariado de la varianza por permutaciones para datos categóricos (PERMANOVA), mediante el índice de Mahalanobis, empleando la matriz de repeticiones para cada individuo en el grupo de atracción, dividiéndolos en grupo uno y dos, para contrastar la diferencia entre ambos grupos durante los dos escenarios de buceo. El análisis de correspondencia y Permanova fueron realizados en el programa Past (Hammer *et al.*, 2001).

### **Secuencias del comportamiento de *C. leucas* durante el buceo turístico**

Para identificar la diferencia entre las sesiones grabadas, se realizó el análisis basado en la ocurrencia de pares de elementos, cuantificando las veces que apareció el elemento *i* seguido del elemento *j*. ( $N_{ij}$ : Donde los elementos pueden ser secciones o secuencias completas). Así los valores  $N_{ij}$  obtenidos no solo reflejan la presencia del elemento determinado, sino que mantiene la información de la estructura de las secuencias (Devore J.L., 2004).

Posteriormente se identificaron las tendencias del patrón conductual, se representa la probabilidad de que una categoría de comportamiento sea subsecuente a otra, dividiendo el número de veces que apareció cada par de comportamiento entre el total de unidades en par presentes para el mismo individuo. Esto mediante el registro de comportamientos espontáneos sucesivos, se registró el tiempo de inicio y el de finalización de cada comportamiento realizado por el tiburón objetivo utilizando el modelo de cadenas de Markov.

El modelo de Markov, es una herramienta para el análisis de la sucesión de variables en función de otra variable, ambas tienen un efecto aleatorio, que recibe el nombre de proceso estocástico (Slater, 1973). Mediante el análisis de las secuencias recopiladas, se realizó una matriz de transición en el programa Past (Hammer *et al.*, 2001), obteniendo las frecuencias de transición y con esto las probabilidades asociadas a cada cambio de estado y la probabilidad que se puede esperar en cada cambio, mediante el proceso estocástico asociado (Slater, 1973).

Se seleccionó el análisis sin repeticiones, ya que en este análisis se agruparon aquellos comportamientos iguales que había sido repetidos, es decir si se encontró

un comportamiento embestida-embestida, se colocó sólo una vez “EB” que corresponde a dicha conducta.

En el análisis de Markov, se genera un modelo aleatorio, que identifica la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado por el evento precedente. Del análisis de cadenas de Markov, se obtuvo la tabla de frecuencias de transición observada y esperada, reflejando las relaciones entre las conductas, si todos los actos son independientes uno de otro (Slater, 1973).

En primera instancia se obtuvo la matriz de transición, provenientes de la tabla de contingencia inicial. La comparación entre las frecuencias de transición esperadas y observadas se analizó mediante la prueba de  $X^2$ , si la diferencia encontrada es significativa, la independencia de comportamientos en la secuencia puede ser rechazada y por lo tanto la aparición de los datos no es azarosa. La matriz de transición debe ser cuadrada, con teniendo como etiqueta de columna y fila las conductas realizadas por los tiburones, las probabilidades de transición deben encontrarse entre 0 y 1.

Finalmente se realizará el diagrama cinemático en el programa R (R Core Team, 2013), que refleja la transición de estados, esperados y observados para los dos tipos de buceo analizados de observación y atracción (Script disponible en el Anexo 3), resaltando las líneas de acuerdo con la mayor ocurrencia con el programa Inkscape (v. 0.91, Inkscape Team, 2004-2017).

## RESULTADOS

### **Turismo y buceo relacionado con tiburón toro en Playa del Carmen.**

Tanto en tiendas de buceo de la zona como en páginas de internet se encuentran ofertados dos tipos de buceo, el buceo de observación y el de atracción, con la diferencia del uso de atrayente alimenticio durante la realización de la actividad.

Los entrevistados reportaron dos tipos de acercamiento a los tiburones, de acuerdo con la presencia o no de alimento, ambos desarrollados en el mismo sitio.

*Buceo de observación sin uso de atrayentes alimenticios:* En este primer tipo de buceo, el encuentro está determinado por la posibilidad de coincidir en la misma área con un tiburón toro. Sin embargo, durante las entrevistas se hizo la aclaración que, en algunos casos se agrega sangre o restos de pescado fresco en la superficie, sobre todo al inicio de la temporada y por las mañanas algunos días. Por lo tanto, aun cuando este buceo no utiliza atrayente durante la actividad, si lo utiliza previa a la misma.

*Buceo de observación con uso de atrayentes alimenticios:* En este tipo de buceo con atracción, el buzo guía baja un contenedor con carnada para alimentar al tiburón, este guía lleva una protección de malla para prevenir daños derivados de la interacción con el tiburón. El uso del atrayente alimenticio hace posible dirigir a los tiburones hacia los turistas, durante todo el buceo.

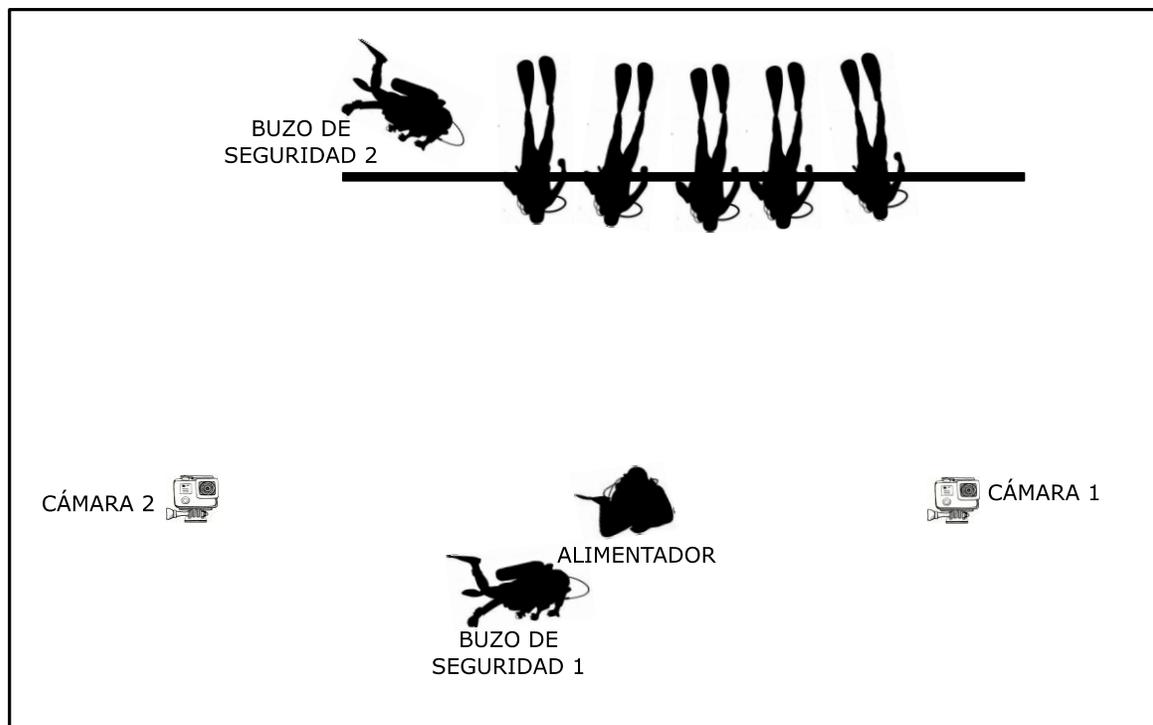
Inicialmente ambos tipos de buceo se realizaban sin ningún protocolo común específico, es decir cada tienda realizaba el buceo con tiburón toro de forma independiente, con sus reglamentos a nivel de guía de buceo o tienda, sin embargo, poco a poco se han estructurado mecanismos de unificación de metodologías entre buzos, siendo el seguimiento voluntario. Para el buceo con alimentación se menciona una metodología general, en la que el buzo de acompañamiento y guía principal, realizan los preparativos previos al descenso de los turistas. Los primero en bajar son el alimentador y el buzo de seguridad. El alimentador baja con el recipiente que contiene trozos de pescado, normalmente jurel (fresco o congelado), si los tiburones ya se encuentran en las inmediaciones, se dirige a colocar la cámara Gopro, que se encuentra sujeta a una estaca y es clavada en la arena.

Si los tiburones no se encuentran cerca, abre el recipiente con trozos de pescado y deja salir los líquidos al exterior, para atraer a los tiburones. El buzo de seguridad coloca la cámara o cámaras restantes a utilizar y se dirige a la línea de amarre, esperando al segundo buzo de seguridad que baja con el grupo de turistas y en algunos casos con un camarógrafo por grupo.

En la mayor parte de los casos, colocan cámaras en los extremos de la cuerda guía del fondo, aproximadamente a 4m de distancia, con la intención de grabar a los turistas durante el paso de los tiburones en el buceo. El alimentador se coloca a 4 o 5m de distancia al centro de la línea del fondo y el buzo de seguridad comienza a recibir y acomodar a los buzos turistas sobre la línea de fondo, con poca distancia entre ellos y lo más pegado al fondo posible.

Una vez que se tienen a los turistas ya reunidos, el alimentador abre el recipiente con carnada y lo ofrece a los tiburones que ya están rondando el área. En un escenario ideal, se tiene la metodología estándar descrita, sin embargo, durante las entrevistas, se detectó un alto descontento por las distintas formas de descenso e interrupciones entre los distintos tipos de acercamiento.

Actualmente, se tienen acuerdos de horarios de observación y atracción alternados, utilizando el mismo sitio, donde cuentan con una línea de amarre fija durante la temporada en que se presentan los tiburones en la región. Siendo los horarios de 10:30 am a 13:00 pm y de 15:00 a 17:00 utilizados para buceo de atracción y para observación de 8:30 am a 10:30 am y de 13:00 pm a 15:00 pm, dependiendo de la posibilidad de asistencia en las embarcaciones que apoyan esta propuesta. Dichos horarios son establecidos por algunos de los prestadores de servicios turísticos y su integración a este calendario es de carácter voluntario para los buzos de dedicados a esta actividad.



*Figura 4. Vista superior de las posiciones durante un buceo con tiburón toro mediante uso de carnada.*

De acuerdo a la información recopilada, las embarcaciones cuentan con el permiso de la Capitanía del Puerto, pero el buceo con tiburones no es una actividad bajo regulación. La actividad se realiza en zonas arenosas a una profundidad entre 20 y 26 m, aproximadamente a 400 m de la costa. Algunos operadores invierten un periodo de tiempo para informar el tipo de actividad y una charla de concientización para los turistas. En algunos casos se incluyen aspectos de biología y conservación de los tiburones.

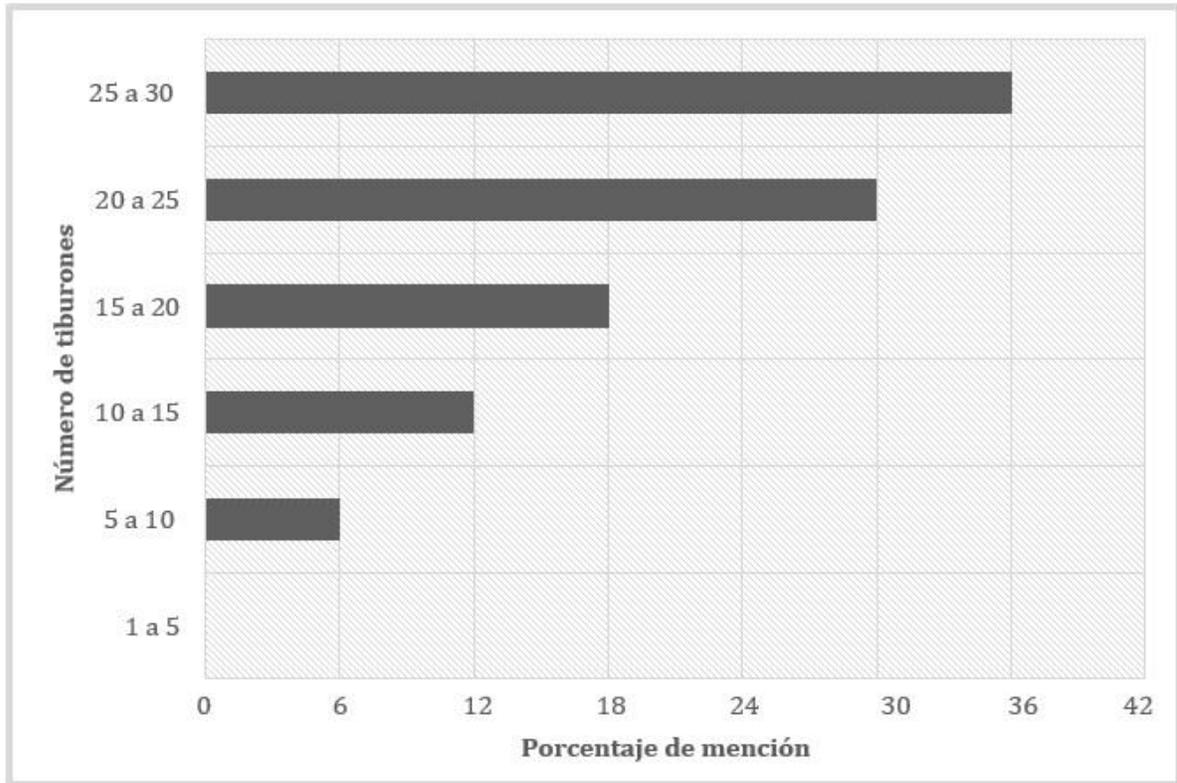
Debido a la profundidad, esta actividad requiere experiencia previa comprobable (mínimo certificado una estrella y al menos 20 buceos en la bitácora personal) o habilidades suficientes a criterio del buzo guía. El “Manual de Prácticas para el buceo con el tiburón toro en Playa del Carmen”, es hasta ahora el texto donde se sintetizan los puntos más relevantes para realizar un buceo con estándares de seguridad recomendados (CONANP/PROCOCODES, 2014), sin embargo, la reglamentación es de carácter opcional para los operadores turísticos (CONANP/PROCOCODES, 2014).

## **Entrevistas a profesionales del buceo con tiburón toro**

Las encuestas fueron realizadas entre noviembre de 2017 y enero de 2018, en total se entrevistaron a 17 personas. Los entrevistados fueron hombres entre 23 y 60 años, con participación constante en el buceo con tiburón toro en al menos tres años anteriores. Catorce están adscritos a algún centro de buceo y tres trabajan de forma independiente.

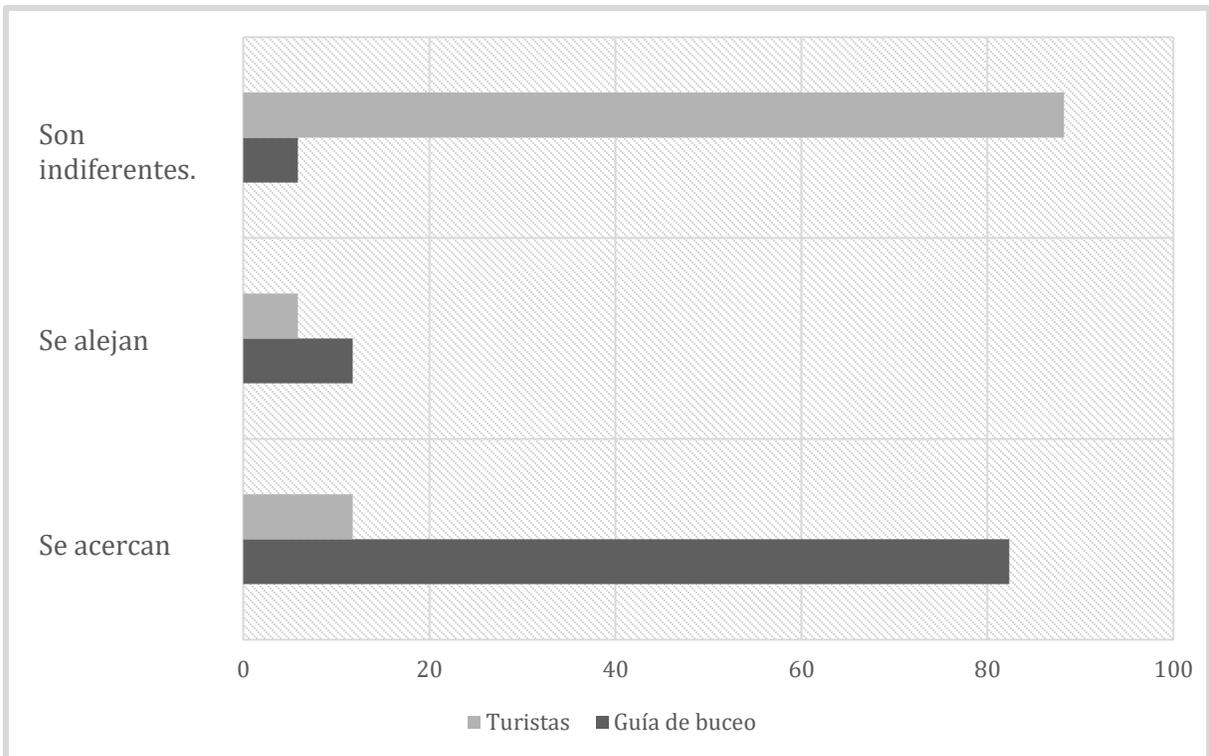
En cuanto a la metodología de interacción con el tiburón, nueve de los entrevistados utilizan la atracción alimenticia durante la inmersión; de estos tres son buzos alimentadores “feeders” y el resto buzos de acompañamiento o guía de buceo exclusivamente. Cinco de los entrevistados, no utilizan carnada, pero realizan el buceo en la misma área donde se lleva a cabo el buceo con atrayente, en horarios intercalados y tres no utilizan atrayente, ni la zona de alimentación designada por la comunidad de buzos.

Dentro de los aspectos relevantes mencionados por los buzos se encuentra la cantidad de buzos que involucrados en una misma sesión de la actividad. Esto, de acuerdo con los entrevistados, puede encontrarse entre uno y hasta 40 en la misma área y en tránsito de ascenso o descenso. La duración aproximada del buceo es de entre 25 y 35 minutos, dependiendo de la experiencia de los buzos participantes y las condiciones ambientales. Todos los encuestados opinan que el número de tiburones es variable, dependiendo de la temporada y las condiciones del día. Sin embargo, al dar un número promedio (Figura 3), indicaron la presencia de entre 20 y 30 tiburones toro en la mejor época de la temporada, rondando en las cercanías de la zona de atracción usual.



*Figura 5. Número de tiburones observados en Playa de Carmen durante la temporada de noviembre a marzo en Playa del Carmen, de acuerdo con los encuestados. Las respuestas se concentraron entre los rangos de 20 a 30 tiburones, el porcentaje de mención se indica del lado derecho.*

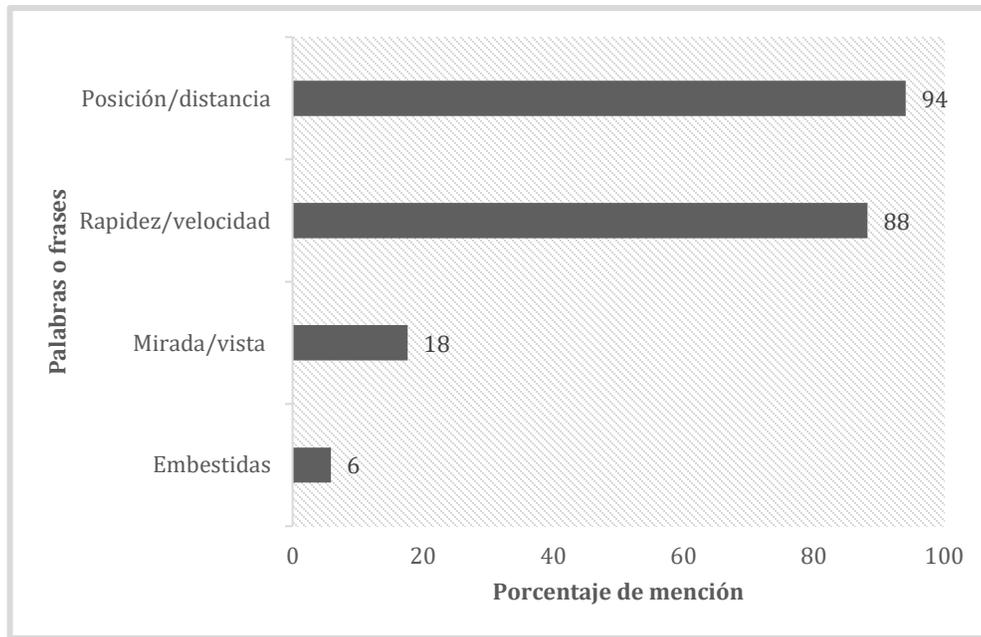
Con respecto a la reacción de los tiburones ante el descenso de los primeros buzos, 82% de los encuestados respondieron que los tiburones se acercan, 12% que son indiferentes y 6% que inicialmente se alejan. Para el caso de aquellos que usan atrayentes alimenticios, se menciona que el uso de carnada en el fondo permite mantener a los tiburones en las cercanías, concentrados en el fondo. Por otra parte, el 88% respondió que los tiburones son indiferentes a la presencia de los turistas (segundo grupo de buzos que desciende), pues el uso previo de carnada tiene el objetivo de evitar que se acerquen a los turistas que están en descenso.



*Figura 6. Porcentaje de mención respecto a la conducta inicial de C. leucas en el descenso de buceo para turistas y guías de buceo.*

Respecto al comportamiento de los tiburones durante el ascenso y descenso, once personas de las 17 entrevistadas, respondieron esta pregunta, mencionando como señales, movimientos de mayor velocidad y embestidas directas.

Dentro de los términos o frases relevantes desde el punto de vistas de los entrevistados en cuanto a comportamiento (Figura 7), fueron mencionados: posición/distancia del tiburón respecto al grupo (94%), rapidez/velocidad (88%), mirada/vista (18%) y embestida/contacto físico (6%).



*Figura 7. Comportamientos realizados por los tiburones toro, relevantes para los guías de buceo durante las inmersiones que fueron mencionados durante las encuestas.*

### **Selección preliminar de videos**

A partir de la solicitud de videos a tiendas de buceo, asociaciones civiles y fotógrafos, se obtuvieron cerca de 3900 grabaciones de entre 1 y 20 minutos, algunas de ellas de la misma sesión de buceo, colocadas a aproximadamente 5m de forma opuesta a la altura del alimentador, frente a los turistas. La depuración de videos dejó 1100 videos utilizables, incluyendo videos en secuencia de un minuto formando videos de 5 minutos y videos con dos cámaras en posición opuesta.

## Catálogo de comportamientos de tiburón toro (*Carcharhinus leucas*), durante el buceo recreativo de observación y atracción.

Se obtuvo el listado de conductas y la descripción de cada comportamiento realizado por los tiburones toro en Playa del Carmen, Quintana Roo.

### Aproximación (APR)

Acercamiento del tiburón toro en un rango entre 2 y 10m, tomando como punto de referencia al alimentador.

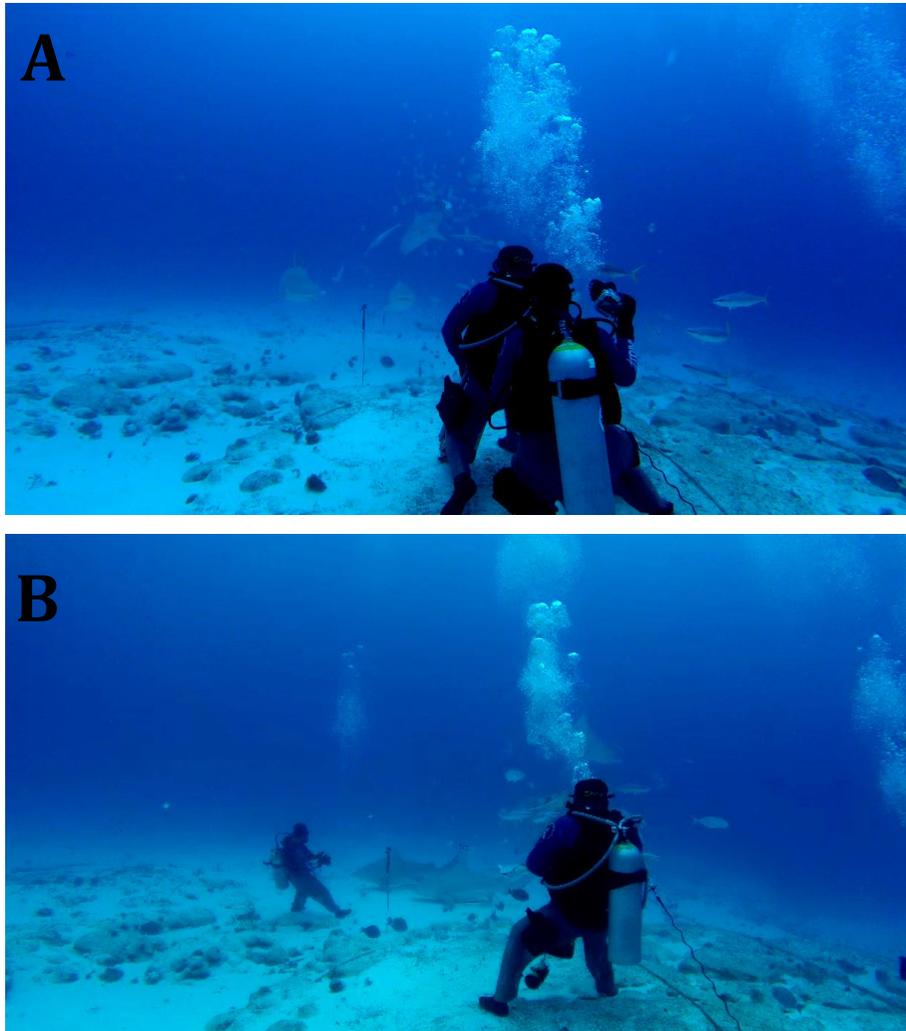


Figura 8. Ejemplos de comportamiento de aproximación. Fotografías: Phantom divers.

## Bostezo (BOS)

El tiburón extiende su mandíbula, este movimiento puede repetirse más de una vez.



*Figura 9. Comportamiento bostezo. Se observa la secuencia de apertura y cierre de mandíbula. Fotografía: Phantom divers.*

## Nado cercano (CER)

Se da cuando un tiburón nada en una distancia entre 0.5 y 5 m del alimentador.



*Figura 10. Ejemplos del comportamiento de cercanía, con una distancia entre .5 y 5 m del alimentador. Fotografía: Phantom divers.*

## Cambio brusco de dirección (CBD)

Se da un aumento de velocidad con un cambio repentino de dirección.



Figura 11. Cambio brusco de dirección en sentidos diferentes. Fotografía: Phantom divers.

## Embestida (EB)

El tiburón se acerca al alimentador aumentando su velocidad de nado, produciendo que éste, se mueva de posición.



*Figura 12. Ejemplos de la unidad de comportamiento de embestida. Fotografías: Phantom divers.*

## Seguimiento de la carnada (SC)

El tiburón se mueve en dirección de la carnada durante un tiempo determinado.



*Figura 13. Ejemplo del comportamiento seguimiento de carnada. Fotografía: Phantom divers.*

## Agarre (AGA)

Ocurre cuando el tiburón toma la carnada de mano de alimentador.



*Ilustración 14. Ejemplos del seguimiento de carnada. Fotografía: Phantom divers.*

## Transporte (TRA)

El tiburón lleva la carnada sin consumir.



*Ilustración 15. Ejemplos de transporte de carnada. Fotografía: Phantom divers.*

## **Engullir (ENGU)**

La carnada es consumida por el tiburón, después de la sujeción.



*Figura 16. Ejemplo del comportamiento engullir. Fotografía: Phantom divers.*

## **J- M Giros (GC)**

Movimiento alrededor del alimentador u otro tiburón, dependiendo de la dirección se encontraron:

### **Giro hacia el alimentador o buzo (GCF)**

Giro del tiburón focal en dirección a un buzo, en el caso de la actividad de alimentación, se considera al buzo alimentador y en el caso de la actividad de observación el giro puede presentarse hacia cualquiera de los buzos.



*Figura 17. Ejemplo de giro hacia el alimentador. Fotografía: Phantom divers.*

### **Giro contrario al alimentador (GCCF)**

Giro del tiburón focal en dirección contraria a un buzo, en el caso de la actividad de alimentación, en el caso de la actividad de observación el giro puede presentarse hacia cualquiera de los buzos.



*Figura 18. Giro en sentido contrario al alimentador. Fotografía: Phantom divers.*

## **Giro hacia otro tiburón (GCT)**

Movimiento de seguimiento del tiburón focal hacia otro tiburón.



*Figura 19. Giro de seguimiento hacia otro tiburón. Fotografía: Rebecca Bateman.*

## **Giro en sentido contrario a otro tiburón (GCCT)**

El tiburón focal realiza un giro en dirección contraria a otro tiburón.



*Figura 20 . Giro en sentido contrario a otro tiburón. Fotografía: Guillermo Valero.*

## Movimiento de aletas pectorales (VIB)

Movimiento de las aletas pectorales del tiburón posicionadas hacia abajo.



*Figura 21. Movimiento de aletas pectorales hacia abajo. Fotografía: Guillermo Valero.*

## Arqueo de lomo (ARQ)

Movimiento del dorso del tiburón, manteniendo la posición curvada por unos segundos.



*Figura 22. Ejemplo de arque de lomo. Fotografía: Guillermo Valero.*

### *Curva de acumulación de comportamientos*

Los resultados de dicha curva se encuentran en el Anexo 4. La curva de acumulativa mostró una asíntota a partir del individuo 50 en el caso del buceo de atracción (Figura 22) y en el 52 en el caso del buceo de observación (Figura 23).

Cabe mencionar que en ambos casos la probabilidad de agregar nuevos comportamientos al repertorio decrece con el incremento de individuos, hasta llegar a una asíntota, lo que refleja un dato esperado, para considerar suficiente el muestreo realizado. Sin embargo, por definición se requeriría un infinito esfuerzo de muestreo para observar la totalidad de las conductas (Días P.A.D *et al.*, 2009).

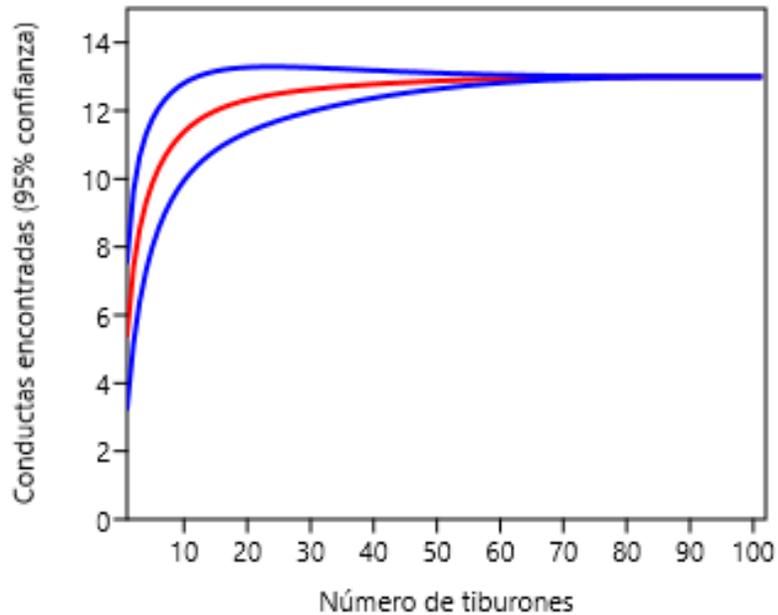


Figura 23. Curva de acumulativa de comportamientos durante la actividad de buceo con atrayente alimenticio (creada con el método Mao Tao, 100 iteraciones). En rojo la media de acumulación, en azul el error estándar (intervalo de confianza del 95%).

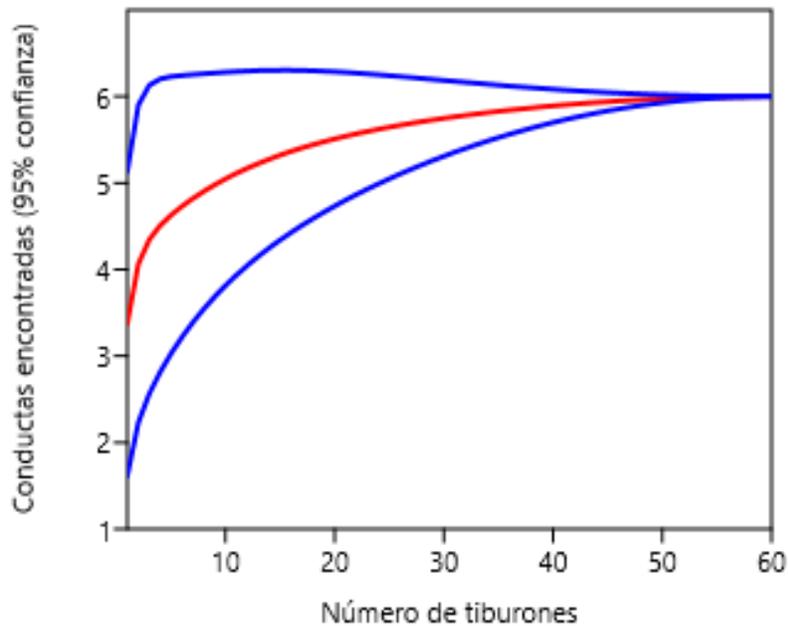


Figura 24. Curva de acumulativa de comportamientos durante la actividad de buceo sin atrayente alimenticio (creada con el método Mao Tao, 100 iteraciones). En rojo la media de acumulación, en azul el error estándar (intervalo de confianza del 95%).

### Presencia de comportamientos realizados por *C. leucas*

Se analizaron doce grabaciones que fueron realizadas entre las 7:00 y 12:30 horas y 89 filmaciones, entre las 13:00 y las 18:00 pm, cubriendo los horarios matutino y vespertino. A partir de las grabaciones se obtuvieron 1116 transiciones de 101 individuos durante la actividad de buceo con carnada. En cuanto a la actividad de observación se alcanzaron 347 transiciones de 60 individuos en la actividad de buceo de observación.

Se observaron 15 conductas por parte de los tiburones durante las actividades de buceo recreativo, 14 se presentaron en la actividad durante el buceo con atrayente y seis con la actividad de observación (Tabla 1). El comportamiento que no se presenta en la actividad de atracción con alimento fue cambio de ángulo en la posición de aletas pectorales y en el caso de observación además de no presentarse conductas de alimentación, no se observó arqueado de lomo y bostezo, cambio brusco de dirección y giros entre tiburones.

**Tabla 1. Datos de presencia y ausencia de comportamientos de *C. leucas* durante el buceo recreativo. Las claves para las conductas son: APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo.**

Conducta	Observación	Atracción
AGA	0	1
APR	1	1
ARQ	0	1
BOS	0	1
CBD	0	1
CER	1	1
EB	1	1
ENG	0	1
GCCF	1	1
GCCT	0	1
GCF	1	1
GCT	0	1
SC	0	1
TRA	0	1
VIB	1	0

## Correlación entre variables

### Análisis de correlación entre variables durante el buceo de atracción:

Mediante el mapa de calor derivado de la matriz de correlación de comportamientos realizados durante el buceo con atrayente alimenticio (Anexo 5a) se identifican, por su mayor frecuencia las correlaciones tanto positivas como negativas de relevancia (Figura 25).

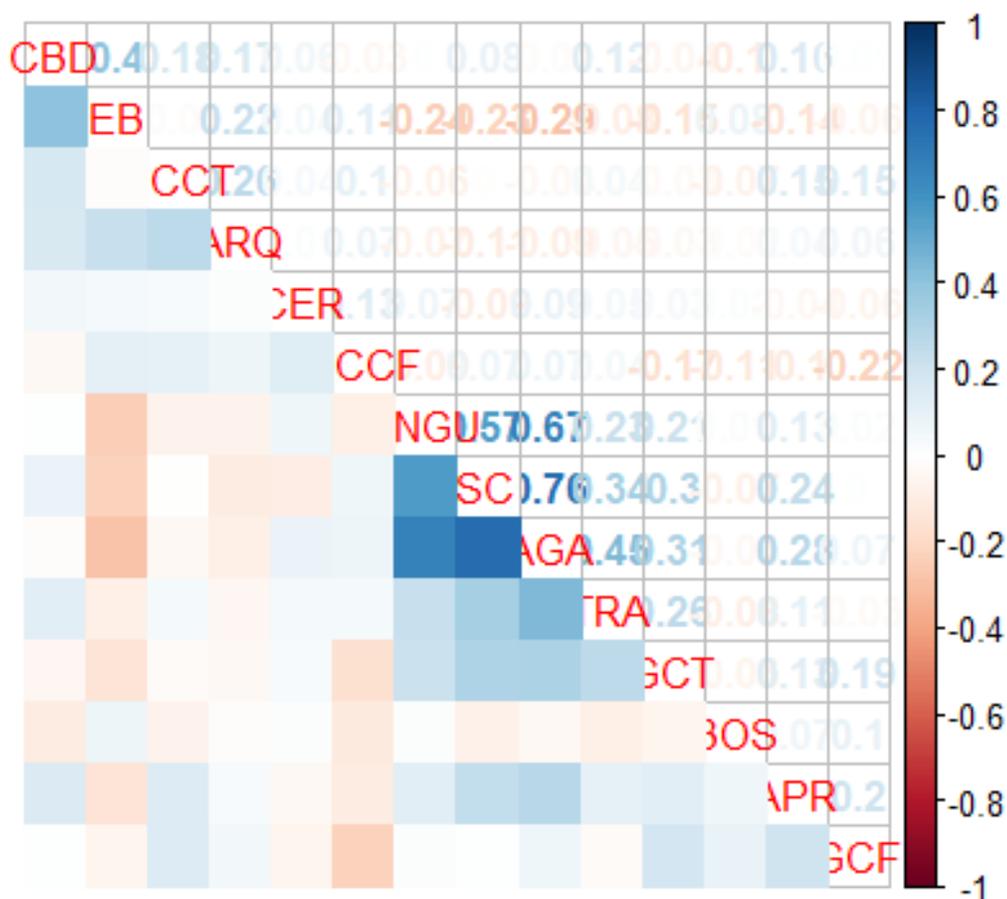


Figura 25. Mapa de calor para correlaciones de conductas realizadas por *C. leucas*, durante el buceo de observación con atrayentes. A la derecha el grado de correlación, donde uno y color azul se refieren a una correlación positiva y la correlación negativa, representada con -1 y color rojo. APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC=seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo.

De la correlación se destaca los comportamientos de seguimiento de carnada, agarre y engullir. Así como cambio brusco de dirección con embestida por tener la mayor correlación positiva de entre las transiciones presentes. Y arqueado de lomo con los giros entre tiburones, tanto en el mismo sentido de otro tiburón como en sentido contrario (Figura 25).

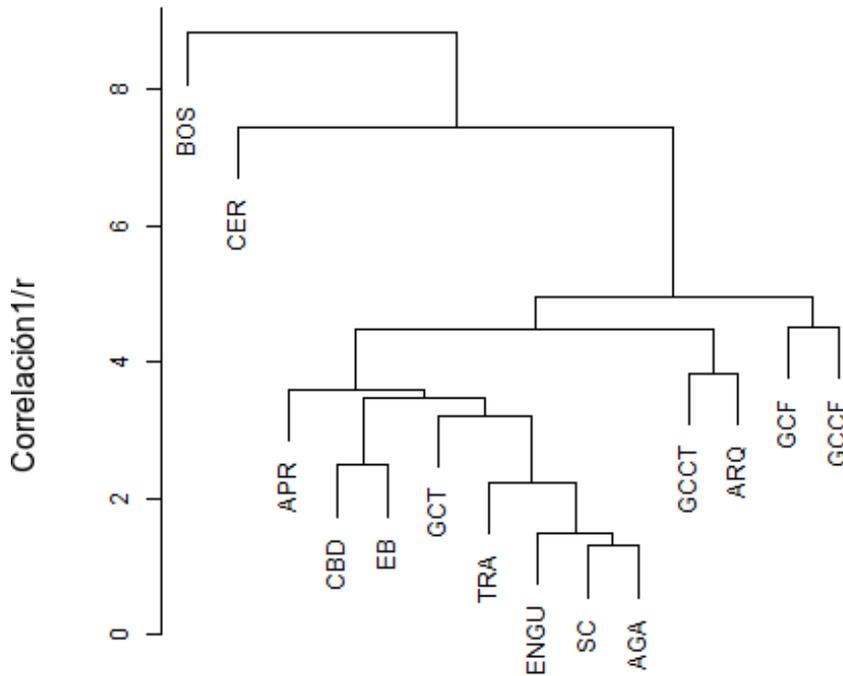


Figura 26. Gráfica de Análisis de correlación 1/r (Pearson, Vecino más cercano) de conductas realizadas por *C. leucas*, durante el buceo de atracción. APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido a un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, ARQ =Arqueo de lomo

A partir de esta matriz de distancia se identifica en el clúster del tipo vecino más cercano, los movimientos analizados dentro de la matriz cambio brusco de dirección con embestida y arqueado de lomo con giro cercano contrario a otro tiburón y giro cercano a otro tiburón se encuentran en grupos separados. En el siguiente grupo, se encuentra seguimiento de carnada y agarre y juntos con engullir. La distancia entre agarre y engullir es mayor que la presente entre agarre y transporte. Lo que sugiere,

un mayor transporte de carnada respecto al consumo. La distancia entre las variables arqueo de lomo y cambio brusco de dirección; arqueo de lomo y giro contrario a otro tiburón y arqueo de lomo con embestida.

En el escalamiento multidimensional de dos dimensiones, se identifican los comportamientos seguimiento de carnada, agarre y transporte y engullir con mayor correlación. Así como una correlación entre las variables arqueo de lomo y cambio brusco de dirección y finalmente, las variables arqueo de lomo con embestida.

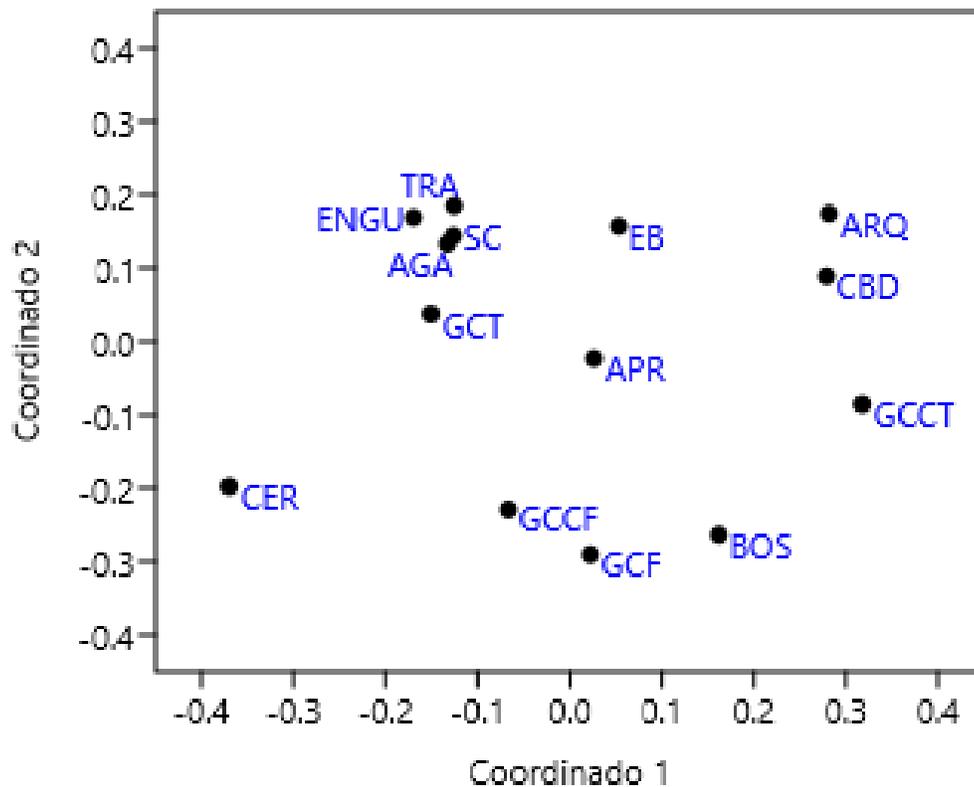
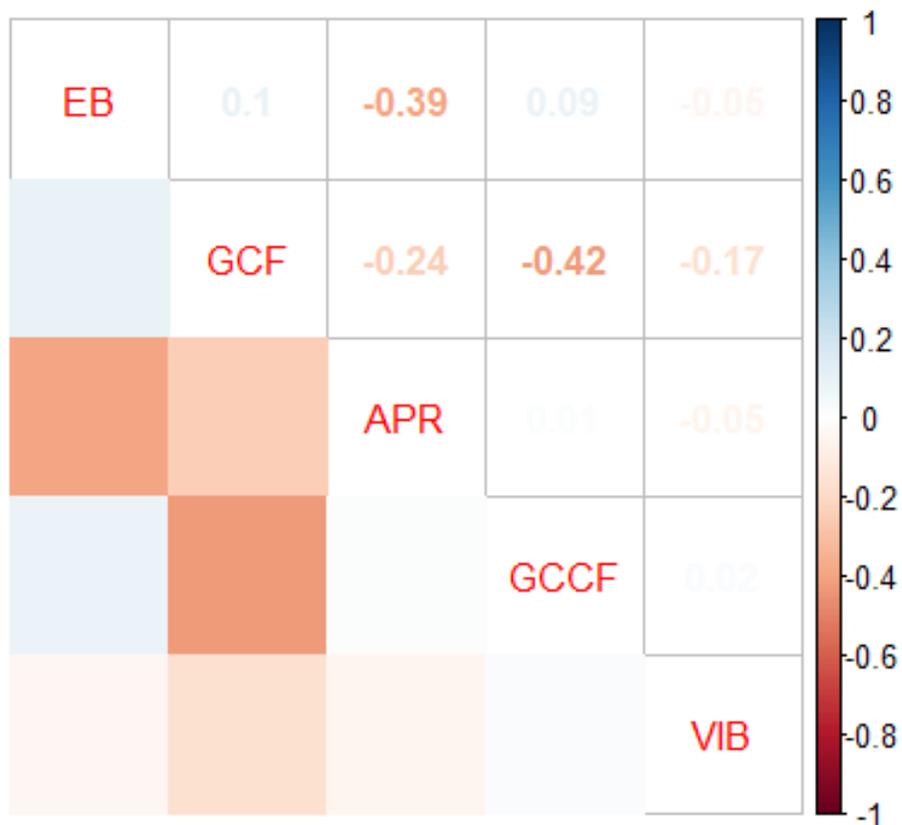


Figura 27. Gráfica de escalamiento multidimensional (dos dimensiones) para el buceo de observación con atrayentes alimenticios. Claves :APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo.

*Análisis de correlación entre variables durante el buceo de observación.*

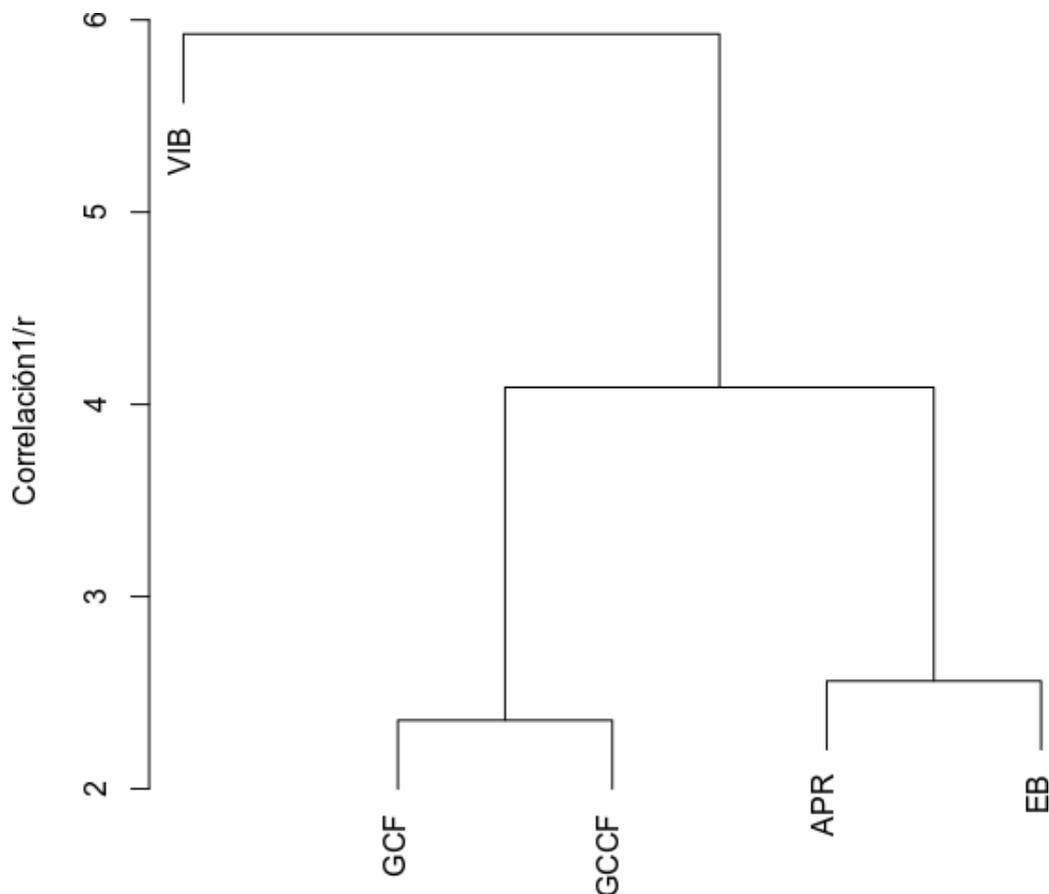
Las conductas de los 60 individuos expresadas en datos de presencia/ausencia de conductas, fue utilizada como base para la matriz de correlación (Anexo 5b), con 100 iteraciones. El mapa de calor realizado a partir de dichos datos, se muestran correlaciones negativas para situaciones conocida como excluyentes, GCF (giro cercano a un buzo) y GCCF (giro contrario a un buzo).



*Figura 28. Mapa de calor para correlaciones de conductas realizadas por C. leucas, durante el buceo de observación sin atrayentes. A la derecha el grado de correlación, donde uno y color azul se refieren a una correlación positiva y la correlación negativa representada con -1 y color rojo. APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC=seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo*

En el análisis de conglomerados de tipo vecino más cercano, se observan grupos formados por embestida y cambio de ángulo de aletas y los giros que veíamos

excluyentes, forman un grupo por su correlación negativa, finalmente el grupo de posición, que fue agregado para poder identificar los otros grupos, debido a las pocas variables para el análisis. En el escalamiento multidimensional se obtienen resultados poco informativos identificando relaciones positivas. Sin embargo, este grupo es poco informativo en este análisis.



*Figura 29. Gráfica de Análisis de correlación 1/r (Pearson, Vecino más cercano) de conductas realizadas por C. leucas, durante el buceo de observación sin atrayente alimenticio. APR= nado lejano, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales.*

Con respecto al escalamiento multidimensional se observa la correlación de los giros respecto a los buzos, generando el circuito alrededor de los turistas. No se identifica una relación clara entre el movimiento de aletas pectorales VIB y las conductas embestida y aproximación.

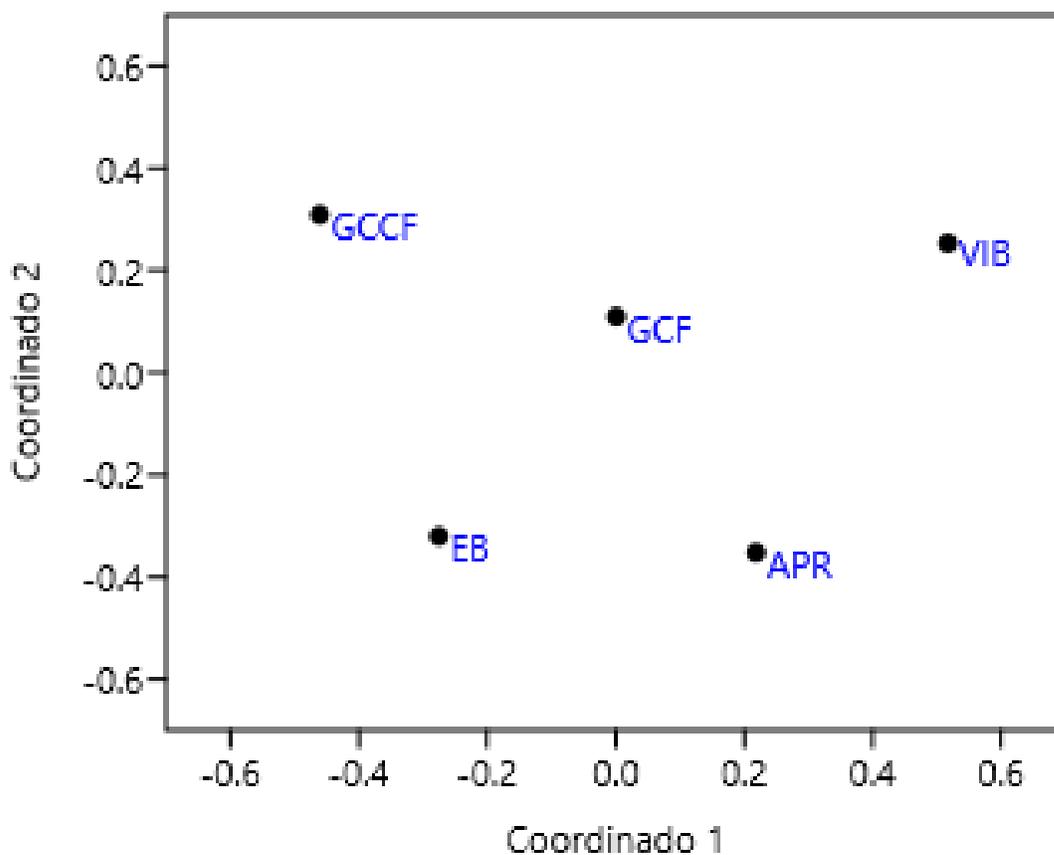


Figura 30. Gráfica de escalamiento multidimensional (dos dimensiones) para el buceo de observación con atrayentes alimenticios (estrés: 0.17759). Clave: APR= nado lejano, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales.

*Análisis de correlación entre variables escenarios integrados, durante el buceo recreativo en Playa del Carmen Quintana Roo.*

A partir de la matriz de presencia/ausencia (Anexo 5 a y b), se obtiene la matriz de correlación y posteriormente un mapa de calor para visualizar las correlaciones positivas y negativas entre conductas (Figura 30).

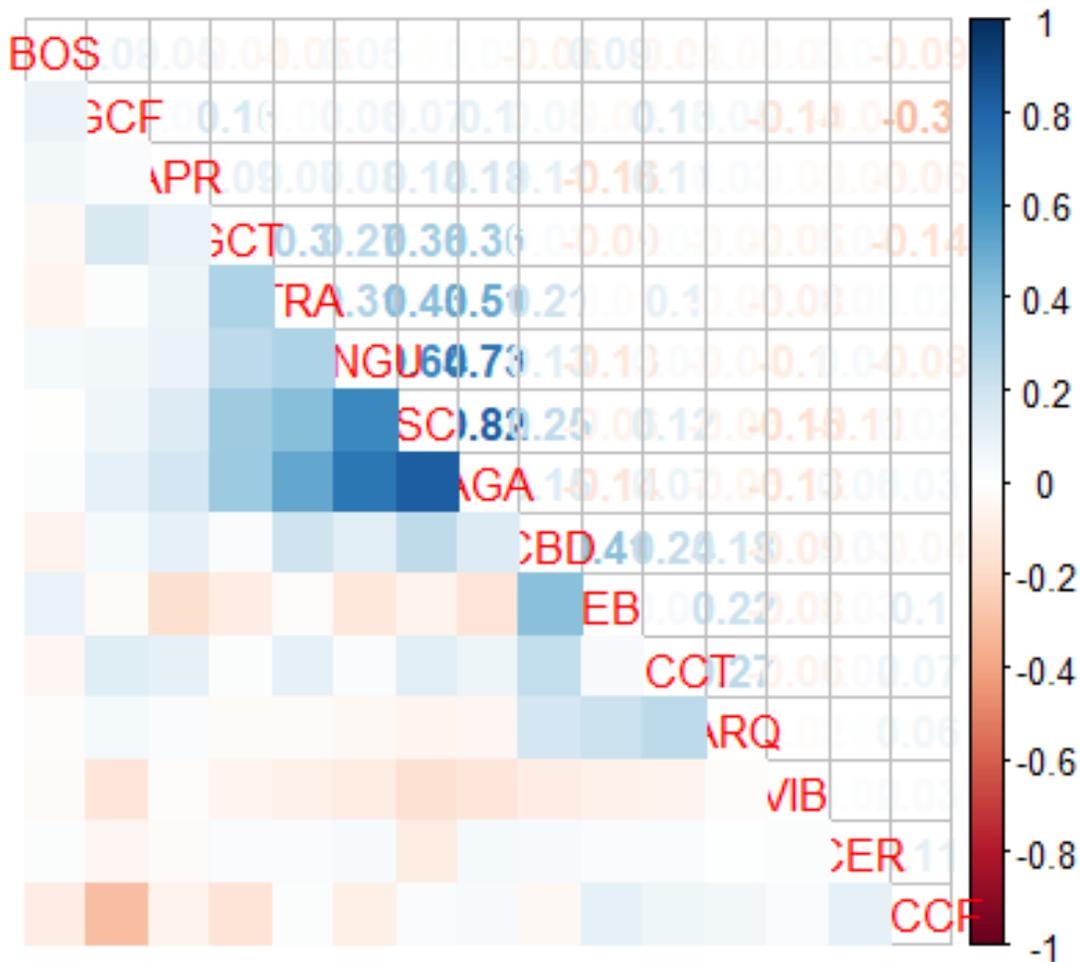


Figura 31. Mapa de calor para correlaciones de conductas realizadas por *C. leucas*, durante el buceo de atracción y observación integradas. Claves :APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo.

Se observan las mayores correlaciones positivas en las conductas relacionadas a alimentación (seguimiento de carnada, agarre, transporte y engullir); así como embestida con cambio brusco de dirección y finalmente los giros en torno a los buzos o alimentadores.

Al analizar solo los valores absolutos en la matriz de distancia se observa, el grupo de alimentación relacionado con los giros entre tiburones, particularmente los de seguimiento de un tiburón a otro. Sin embargo, los giros en contra de otro tiburón están relacionados con el arqueo de lomo y un grupo formado por el circuito de giros

hacia los buzos (GCF y GCCF). Finalmente, los menos informativos cercanía y aproximación, que se encuentran en casi todos los individuos y bostezo junto con cambio de ángulo de aletas pectorales, que son los que se presentan en menor medida respecto del resto de las conductas (Figura 31).

### Cluster Dendrogram

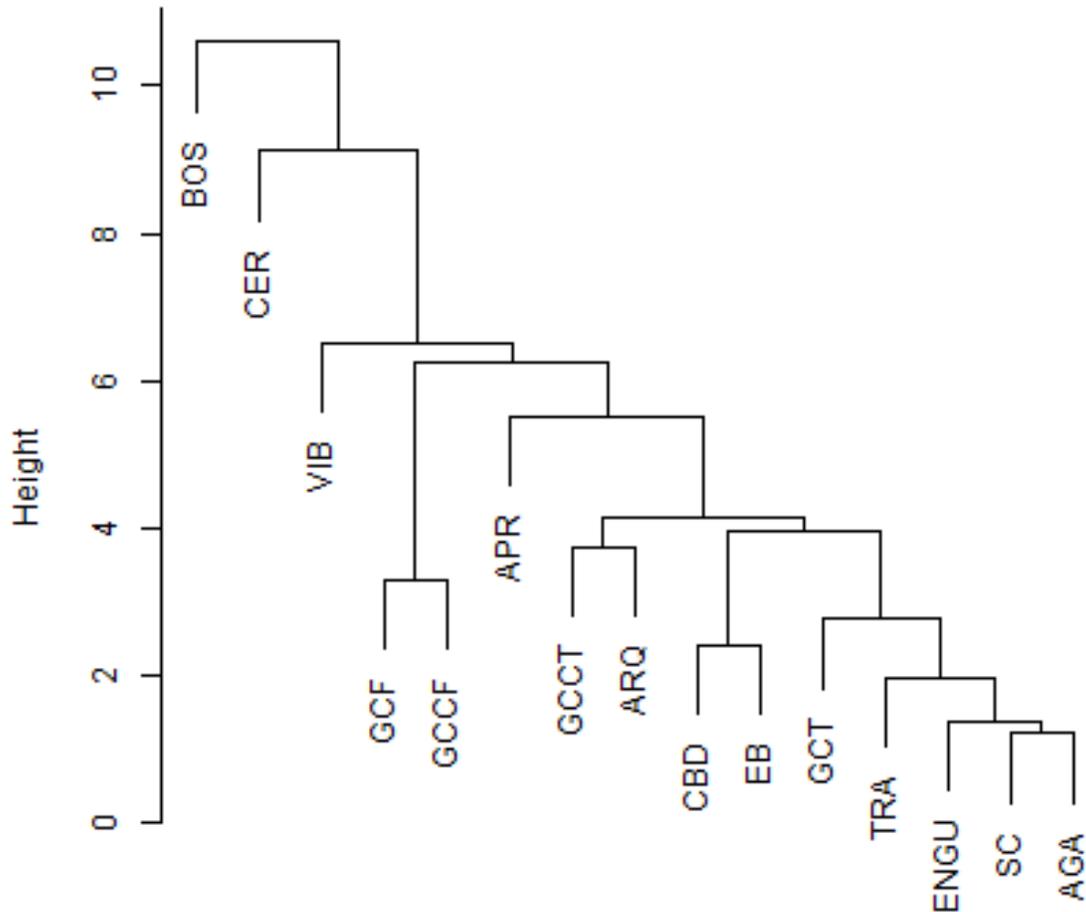


Figura 32. Gráfica de Análisis de correlación  $1/r$  (Pearson, Vecino más cercano) de conductas realizadas por *C. leucas*, durante el buceo de atracción y observación. Claves :APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ=Arqueo de lomo.

En el escalamiento multidimensional en la matriz de distancia se observa, el grupo de embestida y aproximación muy cerca, debido a su correlación negativa. La alimentación compuesta por agarre, engullir, seguimiento de carnada y transporte, cercanos a giro en sentido de otro tiburón, y si bien, se observan cerca del cambio en ángulo de aletas pectorales, éstas también tiene una correlación negativa, ya que VIB, no se presenta cuando se ofrece alimento, ya sea que este sea consumido o que solo se transporta (Figura 31).

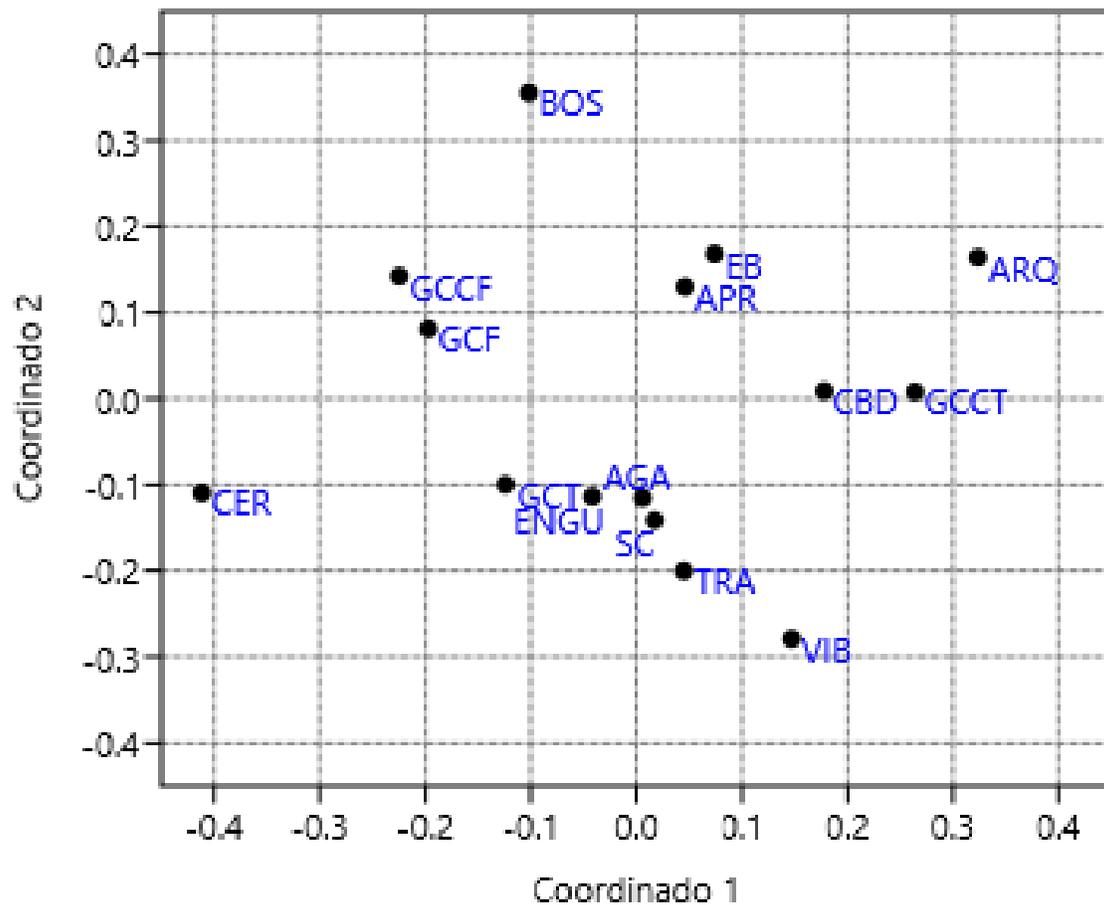


Figura 33. Gráfica de escalamiento multidimensional de dos dimensiones durante la actividad de buceo de observación con *C. leucas* (estrés: 0.3353) Claves :APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo.

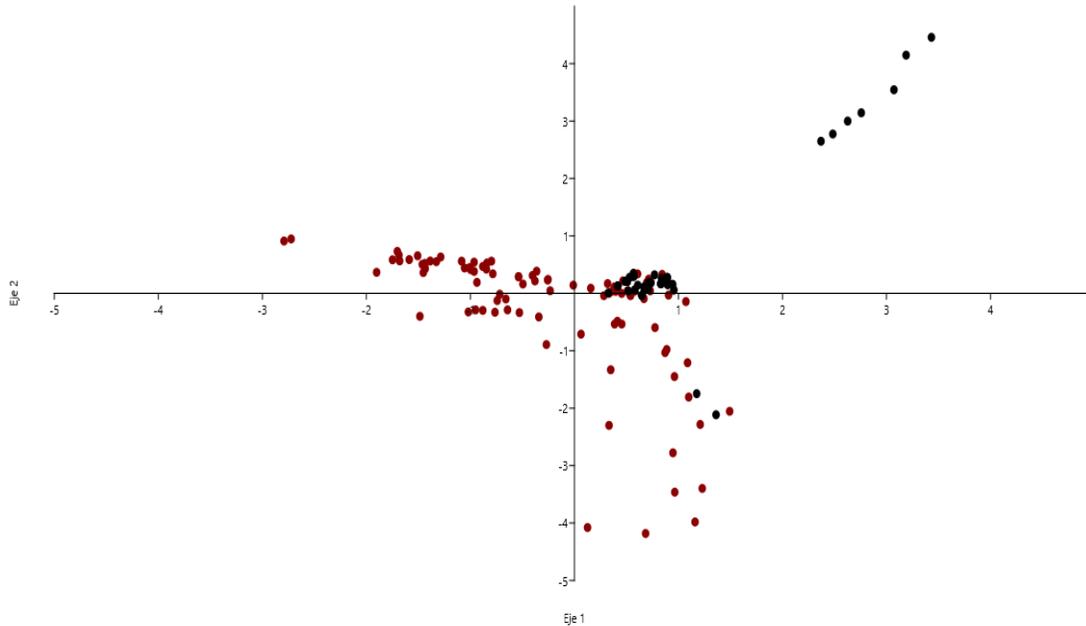
## Frecuencia de comportamientos en *C. leucas* durante el buceo turístico.

Fueron identificados quince comportamientos diferentes de los diecisiete descritos por parte de los buzos entrevistados. Las frecuencias más altas correspondieron a los movimientos que se refieren a la distancia (cercanía y aproximación), seguidos de giros en relación con buzos y alimentadores y para el caso de la actividad de atracción con carnada, también destaca el seguimiento del atrayente (Tabla 2).

**Tabla 2. Frecuencia de ocurrencia de comportamientos durante el buceo con *C. leucas* Claves :APR= nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a otro tiburón, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo.**

		Repeticiones por conducta													
Conductas Identificadas	APR	BOS	CER	CBD	EB	SC	AGA	TRA	ENGU	GCF	GCCF	GCT	GCCT	VIB	ARQ
Atracción	166	3	431	30	18	77	47	19	33	159	101	13	16	0	1
Observación	81	0	167	0	2	0	0	0	0	49	45	0	0	7	0
Integrado	247	3	598	30	20	77	47	19	33	208	146	13	16	7	1

A partir de estos datos, se muestra la gráfica que representa todos los datos. Los individuos del grupo uno, se encuentran distribuidos en tres cuadrantes, relativamente cercanos entre sí, concentrándose en el primer cuadrante en su mayoría, con algunos casos dispersos en los otros dos cuadrantes. Por otro lado, los individuos del grupo dos, se encuentran casi en su totalidad en el mismo cuadrante, considerando que son 60 individuos, se observa que en muchos casos los puntos se encuentran superpuestos. En la gráfica los puntos del perfil que son similares tienen una posición similar, por lo que los individuos con conductas similares tienden a permanecer cercanos.



*Figura 34. Grafica de análisis de comportamientos por individuos durante el buceo de observación con tiburón toro, en rojo registros con atrayentes y en negro los registros sin atrayentes.*

En la gráfica por columnas (comportamientos realizados por parte de los tiburones) (Figura 34), se presentan los buceo de atracción (grupo uno, color rojo) y buceo de observación (grupo dos, color negro), identificando los comportamientos que describen mejor cada cuadrante: en el cuadrante uno (arriba a la izquierda), los comportamientos que corresponden a la alimentación y el giro entre hacia otro tiburón. En el cuadrante dos VIB (cambio de posición de aletas pectorales), un comportamiento distante, pero en el mismo cuadrante, describe esta segunda sección. En el cuadrante tres (abajo a la derecha) se encuentran CBD (cambio brusco de dirección) y GCCT (giro cercano contrario a otro tiburón). El cuarto cuadrante (abajo a la derecha) presenta las conductas de EB (embestida), ARQ (arqueo de lomo) y BOS (bostezo). Cercano al origen del mapa se encuentran aquellos individuos que cambian de posición CER y APR (cercanía y aproximación), así como GCF y GCCF, los cuatro

comportamientos describen el circuito de los tiburones alrededor de los buzos, independientemente de si son alimentados o no.

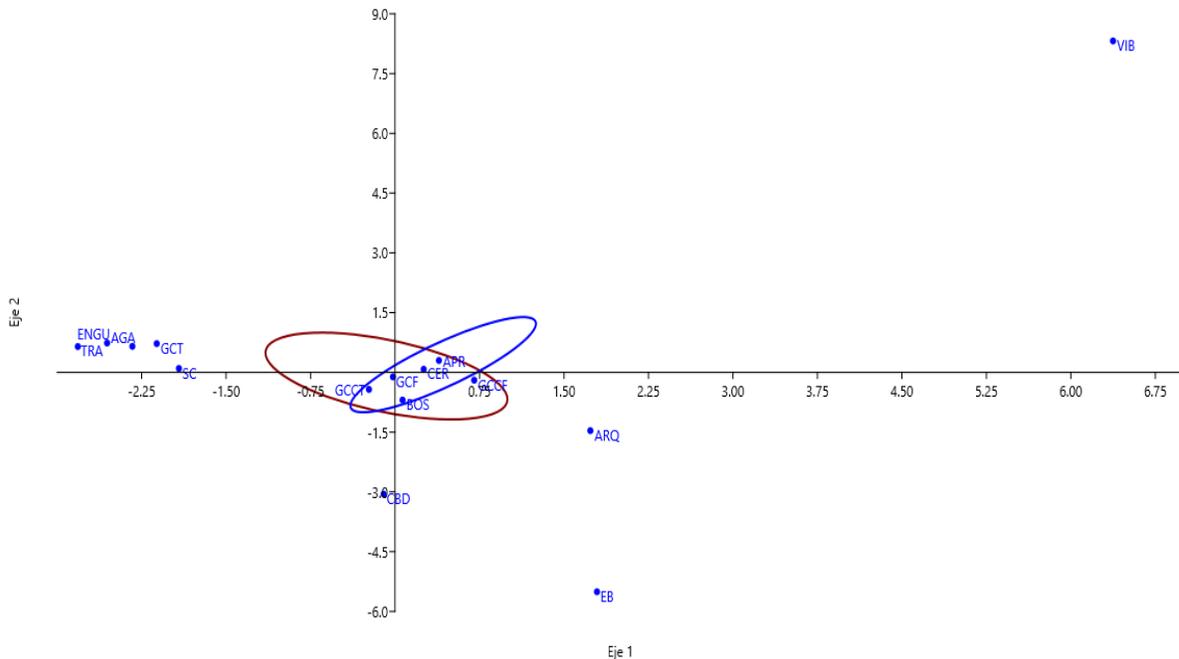


Figura 35. Gráfica de análisis por comportamientos durante el buceo de observación con tiburón toro, se muestran las diferentes conductas con su respectiva asociación entre ellas, en rojo registros con atrayentes y en azul los registros sin atrayentes.

Con esta información, pero graficando los comportamientos realizados (análisis por renglones), añadiendo elipses de confianza (Figura 35), se muestra la asociación entre los individuos de los grupos de observación y atracción, así como la relación entre éstos y los comportamientos. En el cuadrante dos se encuentra el comportamiento VIB (cambio de ángulo de las aletas pectorales) está presente exclusivamente en este grupo. En el cuadrante tres algunos individuos que, si bien, se encuentran dentro de la actividad de observación, tienden a embestir.

Los perfiles de los comportamientos presentados por los tiburones durante la actividad de observación se mantienen dentro de un mismo grupo, presentando un grupo que tiende a realizar un cambio en la posición de sus aletas pélvicas y un grupo minoritario que presenta arqueado de dorso y embestidas.

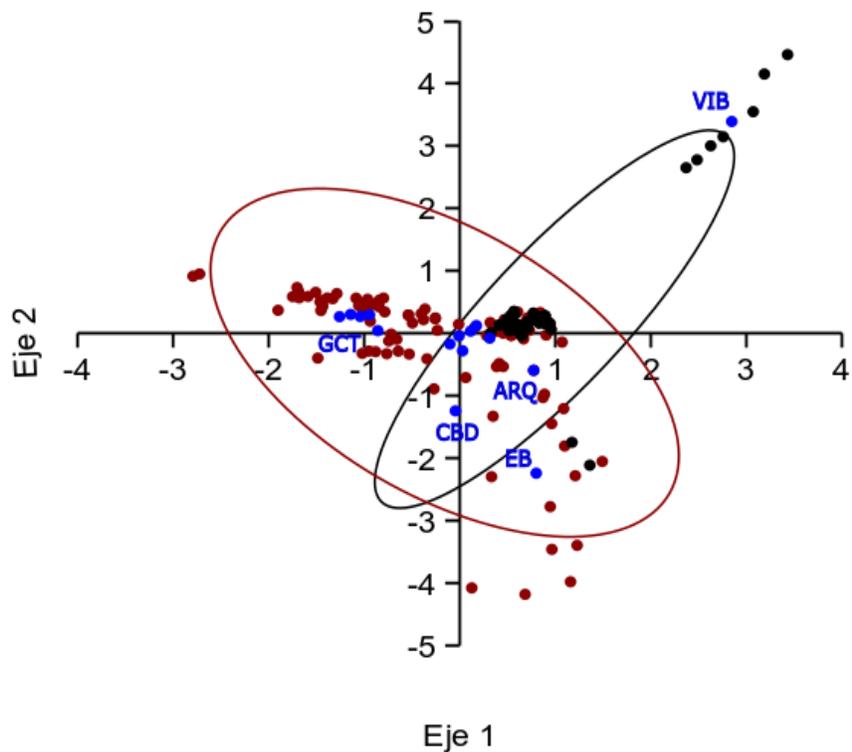


Figura 36. Gráfica de análisis por individuo y comportamientos, en rojo individuos durante atracción, en negro individuos durante observación y en azul los comportamientos que describen los cuadrante.

Al interpretarse los resultados del análisis deben considerarse las limitaciones existentes en las representaciones gráficas y examinar los resultados numéricos de que muestran la información referente a los puntos de perfil por ejes y porcentaje de explicación acumulativo.

En este análisis, se representó el eje 1 y eje 2, en la tabla 3 se indica en porcentaje del total de la contribución, que explican en conjunto el 33 %, si se considera el tercer eje se explica el 45.5 % del total de la inercia que aumenta la calidad del espacio, sin embargo, cada punto que está representando a una conducta en particular, es explicado al analizar las contribuciones de cada una de las dimensiones.

Tabla 3. Eigenvalores y porcentajes de inercia.

Ejes	Eigenvalor	% del total	Acumulativo
1	0.199453	18.202	18.202
2	0.165823	15.133	33.335
3	0.133315	12.166	45.502
4	0.118307	10.797	56.298
5	0.092569	8.4479	64.746
6	0.0731206	6.673	71.419
7	0.0627348	5.7252	77.144
8	0.061266	5.5912	82.735
9	0.0546121	4.9839	87.719
10	0.0406219	3.7072	91.427
11	0.0347327	3.1697	94.596
12	0.0270216	2.466	97.062
13	0.0168433	1.5371	98.599
14	0.0153471	1.4006	100

Las repeticiones por conductas se usaron en una PERMANOVA que mostró que existen diferencias altamente significativas entre las dos poblaciones estudiadas (Tabla 4), respecto a la composición de repeticiones de conductas realizadas en los buceos de atracción y observación.

**Tabla 4. PERMANOVA de una vía, índice de similitud de Mahalanobis**

<b>Permutación N:</b>	<b>999999</b>
<b>Suma total de cuadrados:</b>	160
<b>Suma de cuadrados entre grupos:</b>	156.2
<b>F:</b>	3.874
<b>p (iguales):</b>	0.000001

### **Secuencias de comportamiento de C. leucas durante el buceo recreativo.**

A partir de la secuencia de comportamientos se obtienen una matriz con todas las transiciones de comportamiento realizadas por los tiburones (Anexo 6). Para analizar los datos, se excluyeron las repeticiones de un mismo comportamiento de manera

continua. El máximo de unidades por secuencia fue de 50 unidades (49 transiciones), y el mínimo de cuatro unidades (tres transiciones).

Dado que se analizarán las frecuencias por pares y no la secuencia una a una, se utilizaron las secuencias completas obtenidas del registro inicial, analizándolas mediante la herramienta de cadenas de Markov.

*Transiciones durante la actividad de buceo recreativo de observación sin atrayente*

A partir de las secuencias obtenidas (Anexo 6), se generaron las matrices con las frecuencias de transición de la actividad de observación y de atracción (Tabla 5 y 6). Para el caso de la actividad de buceo de observación con tiburón toro, se identificaron 16 transiciones de las 36 posibilidades dentro la matriz y 6 conductas de las 15 descritas en el catálogo descrito. Las probabilidades de transición, que se encuentran entre 0 y 1, indican la probabilidad de ocurrencia de cada par de comportamientos (Figura 37). La prueba de  $X^2=30.21$  ( $p=0.04681$ ), indica que las transiciones entre comportamientos no son aleatorias.

**Tabla 5. Matrices de transición de comportamientos de *C. leucas*, durante el buceo recreativo de observación, las filas indican el primer comportamiento y las columnas el segundo**

<b>A) Frecuencia de transición de comportamientos en la actividad de buceo de observación</b>						
	APR	CER	EB	GCF	GCCF	VIB
APR	0	44	0	6	5	0
CER	46	0	2	43	38	6
EB	0	0	0	0	1	0
GCF	3	42	0	0	1	1
GCCF	7	37	0	0	0	0
VIB	0	7	0	0	0	0

Dentro de las secuencias de mayor relevancia se encuentran en la matriz de probabilidad de transición se encuentran en orden decreciente: CER->VIB, EB->GCCF, GCF->CER, GCCF->CER, APR->CER, CER->APR, CER->GCF, CER->GCCF, GCCF->APR, APR->GCF, APR->GCF, APR->GCCF, GCF->APR, CER->VIB, GCF->GCCF, GCF->VIB y CER->EB (Figura ;claves en la figura).

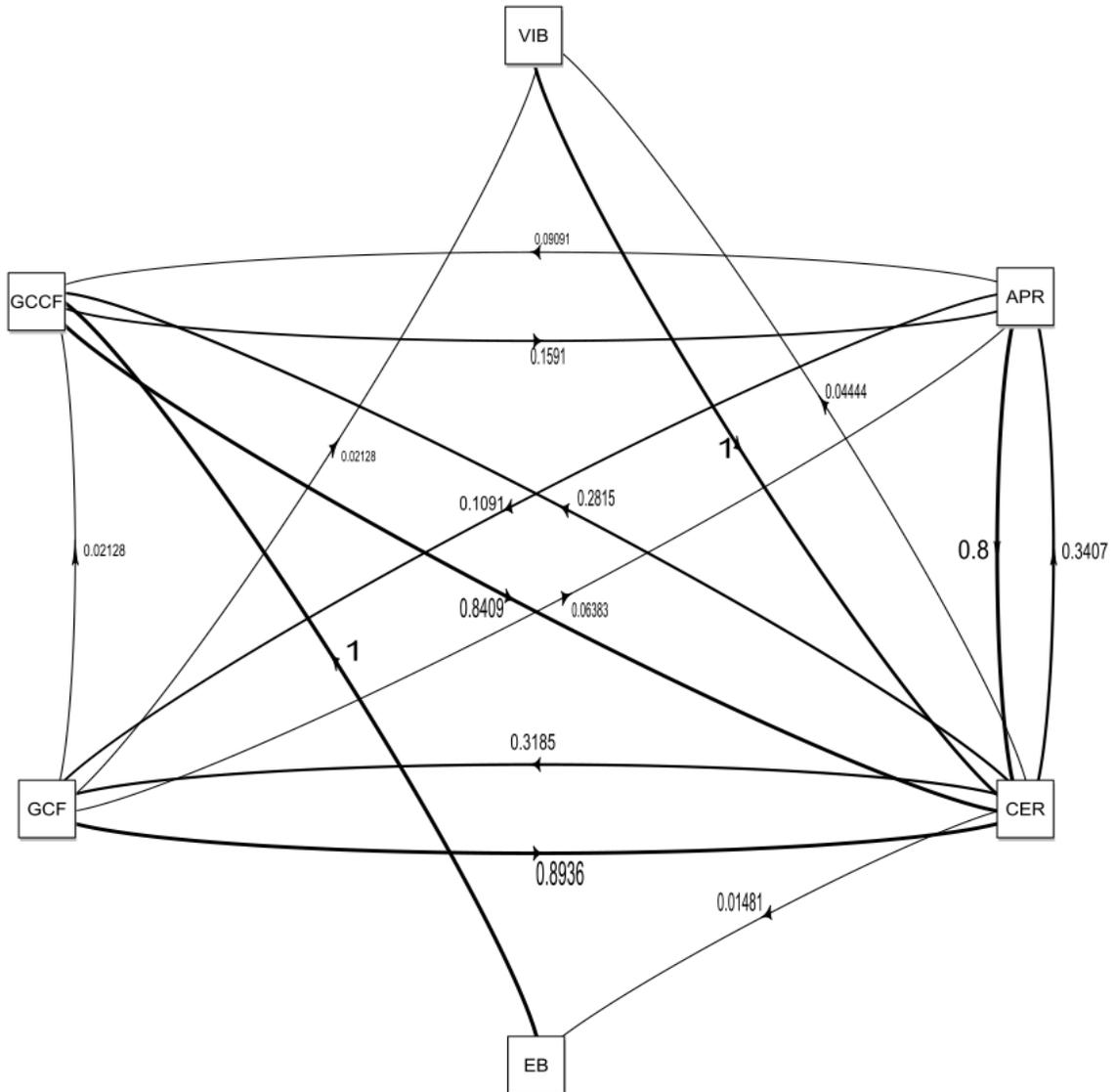


Figura 37. Diagrama cinemático de probabilidades observadas durante la actividad de buceo de observación. Claves. APR=nado lejano, CER=nado cercano, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, VIB=cambio de posición de aletas pectorales.

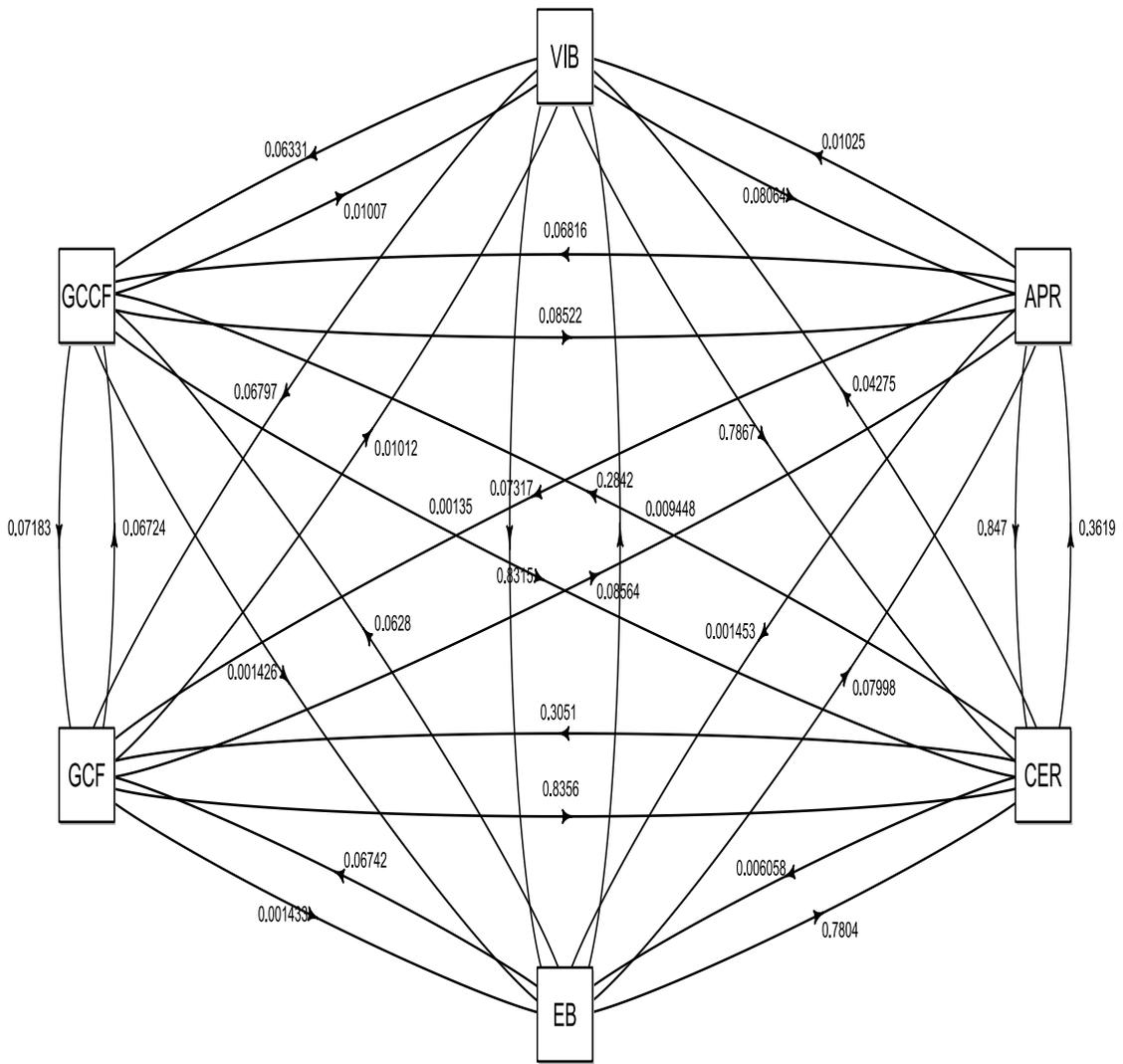


Figura 38. Diagrama cinemático de probabilidades esperadas durante la actividad de buceo de observación. Claves. APR= nado lejano, CER=nado cercano, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, VIB=cambio de posición de aletas pectorales.

Los primeros dos comportamientos con una probabilidad de transición de uno se refieren a eventos que tuvieron pocas repeticiones. Estos fueron el cambio de posición de aletas pectorales y cercanía, así como embestida con giros cercano a un buzo. Los siguientes valores se refieren a giros (hacia y en contra) de un buzo, esto determina el circuito general de avance y permanencia de los tiburones en torno a los turistas durante el buceo de observación.

Mediante la herramienta de cadenas de Markov se calcularon las probabilidades esperadas en cada transición (Figura 37). Los valores más probables correspondieron a las transiciones: APR->CER, GCF->CER, GCCF->CER, VIB->CER, EB->CER, CER->APR, CER->GCF, CER->GCCF.

En este caso las transiciones iniciales corresponden a los giros en torno a los buzos, seguidos de los comportamientos de cambio de posición de aletas pectorales y embestida (Tabla 6).

**Tabla 6. Matriz de probabilidades de transición esperada de comportamientos realizados por *C. leucas*, durante las actividades de buceo recreativo de observación, las filas indican el primer comportamiento y las columnas el segundo.**

	APR	CER	EB	GCF	GCCF	VIB
APR	0	0.3619	0.07998	0.08564	0.08522	0.08064
CER	0.847	0	0.7804	0.8356	0.8315	0.7867
EB	0.001453	0.006058	0	0.001433	0.001426	0.00135
GCF	0.07317	0.3051	0.06742	0	0.07183	0.06797
GCCF	0.06816	0.2842	0.0628	0.06724	0	0.06331
VIB	0.01025	0.04275	0.009448	0.01012	0.01007	0

*Transiciones durante la actividad de buceo recreativo de observación con atrayente alimenticio*

En cuanto a las secuencias de comportamiento obtenidas durante el buceo de atracción a partir de los 101 individuos con registro continuo de la secuencia de comportamiento, se identificaron 75 transiciones distintas de las 196 posibles, considerando a todos los individuos registrados, con un total de 1669 transiciones (Tabla 7).

**Tabla 7. Matrices de transición de conductas realizadas por de C. leucas, durante el buceo de atracción, las filas indican el primer comportamiento y las columnas el segundo.**

	APR	BOS	CER	CBD	EB	SC	AGA	TRA	ENGU	GCF	GCCF	GCT	GCCT	ARQ
APR	0	0	87	0	0	2	0	2	0	11	2	1	2	0
BOS	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
CER	122	1	0	8	10	52	1	0	0	125	62	9	11	0
CBD	0	0	22	0	1	0	0	0	0	3	3	0	0	0
EB	0	0	2	9	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0
SC	2	1	5	4	2	0	46	0	1	5	11	0	0	0
AGA	0	0	5	0	0	0	0	15	22	2	3	0	0	0
TRA	2	0	3	0	0	0	0	0	8	0	4	1	0	0
ENGU	1	0	23	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0
GCF	5	1	105	7	4	20	0	0	0	0	8	4	2	1
GCCF	4	0	86	0	1	0	0	1	0	4	0	1	0	0
GCT	0	0	14	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
GCCT	0	0	9	2	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0
ARQ	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Las probabilidades de transición indican la probabilidad de ocurrencia de cada par de comportamientos (Figura 39). La prueba de  $X^2=2552$  con  $p=0$ , que indica transiciones entre comportamientos no son aleatorias.

En la matriz de probabilidad de transición, las secuencias de mayor relevancia se encuentran relacionadas con la cercanía (ARQ, GCCF, GCT, APR, ENGU, CBD, GCF, GCCT). Continúan las transiciones entre EB->CBD, seguido de la relaciones incluidas en la alimentación, iniciando con SC->AGA en mayor medida respecto a SC->TRA, en orden decreciente se encuentran AGA->ENGU y TRA->ENGU, ambos relacionados a la alimentación, y comportamientos en secuencia después de BOS->CER, GCF, GCCF, que refieren giros en torno a los buzos después del comportamiento de bostezo (Figura 39; claves en la figura).

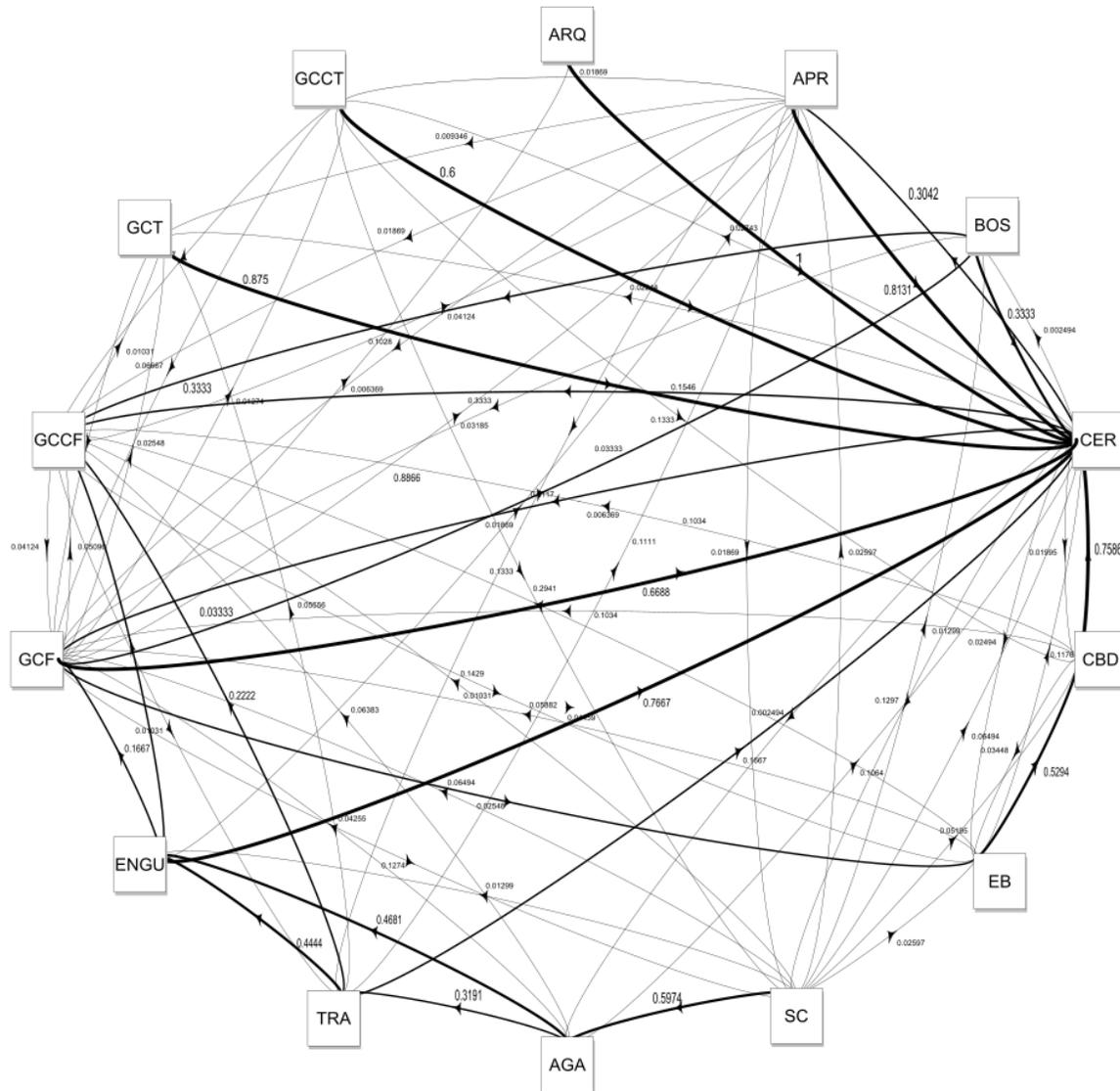
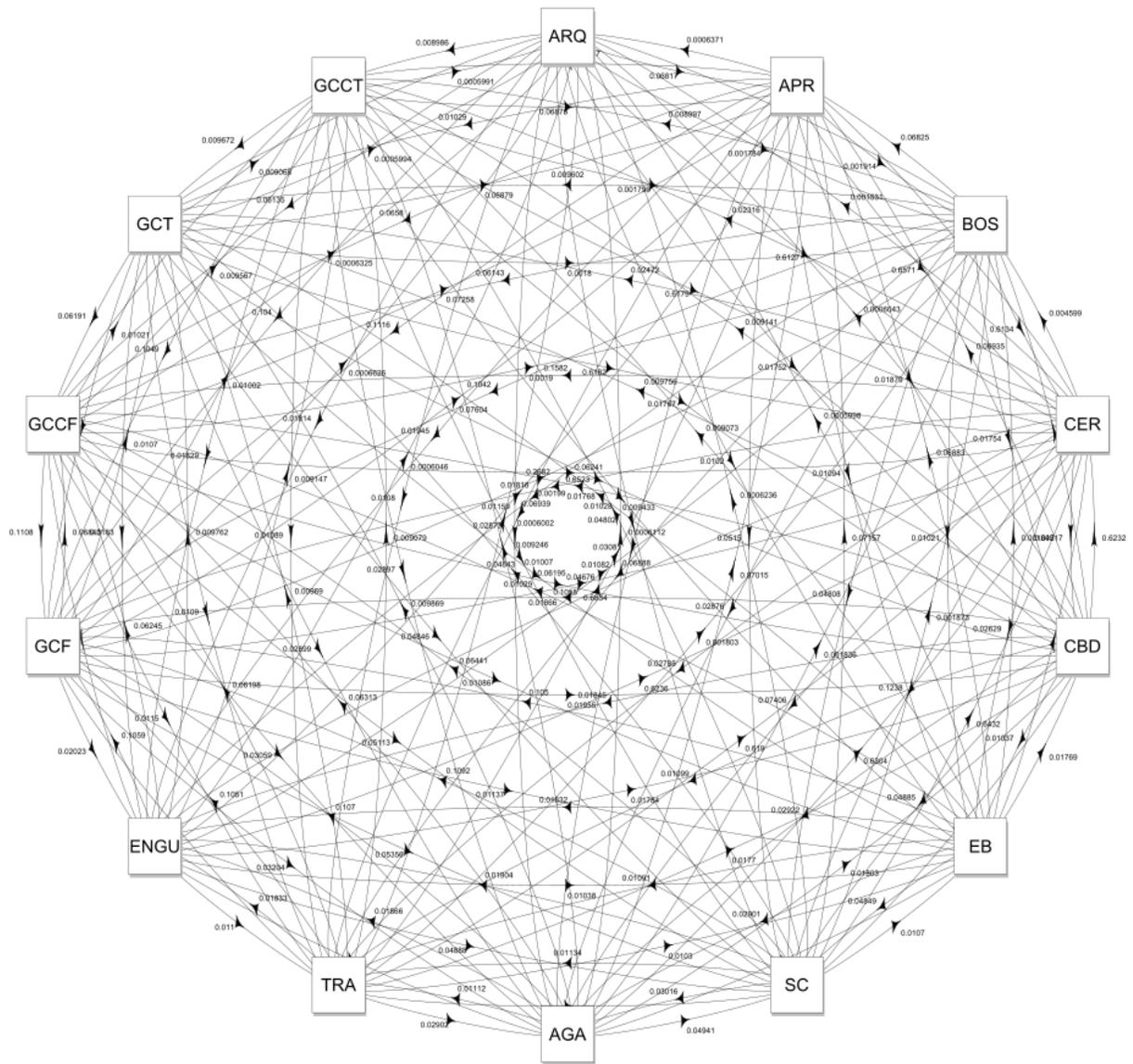


Figura 39. Diagrama cinemático de probabilidad de transición entre conductas observadas durante la actividad de buceo de atracción. Claves. APR=nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a alimentador, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ=Arqueo de lomo. Se encuentran resaltadas aquellas secuencias de mayor relevancia

Las frecuencias de las transiciones presentan mayor relevancia para los giros en cercanía al alimentador y los buzos, así como los comportamientos dentro del conjunto de alimentación (SC, AGA, ENGU y TRA). Y el bostezo (BOS) entre giros cercanos al alimentado (GCF y GCCF).



*Figura 40. Diagrama cinemático de probabilidades esperadas durante la actividad de buceo de atracción. Claves: APR=nado lejano, BOS=Bostezo, CER=nado cercano, CBD=Cambio brusco de dirección, EB=embestida, GCF=giro en sentido de un buzo, GCCF=giro en sentido contrario a buzo, SC= seguimiento de carnada, AGA=Agarre, TRA=Transporte, ENGU=Engullir, GCT=Giro cercano hacia otro tiburón GCCT=Giro cercano contrario a alimentador, VIB=Cambio de posición de aletas pectorales, ARQ =Arqueo de lomo.*

Los resultados de las transiciones esperadas mediante la herramienta de cadenas de Markov (Figura 40) indican que los valores más probables corresponden a las transiciones entre giros realizadas en cercanía a los alimentadores, seguidos de los que refieren a la alimentación, los siguientes en orden decreciente son CER->CBD, CER->BOS, CER->ARQ (Tabla 8).

**Tabla 8. Matriz de probabilidades de transición esperada de comportamientos realizados por C. leucas, durante las actividades de buceo recreativo de atracción, las filas indican el primer comportamiento y las columnas el segundo.**

	APR	BOS	CER	CBD	EB	SC	AGA	TRA	ENGU	GCF	GCCF	GCT	GCCT	ARQ
APR	0	0.00191	0.6571	0.01879	0.0109	0.0515	0.03081	0.0116	0.0194	0.1116	0.0658	0.01029	0.009637	0.0006371
BOS	0.06825	0	0.6134	0.01754	0.0102	0.0481	0.02876	0.0108	0.0182	0.1042	0.0614	0.009602	0.008997	0.0005947
CER	0.1757	0.00459	0	0.04517	0.0263	0.1238	0.07406	0.0278	0.0468	0.2682	0.1582	0.02472	0.02316	0.001531
CBD	0.06935	0.00181	0.6232	0	0.0104	0.0488	0.02922	0.0109	0.0184	0.1058	0.0624	0.009756	0.009141	0.0006043
EB	0.06883	0.00180	0.6186	0.01769	0	0.0485	0.02901	0.0109	0.0183	0.105	0.0619	0.009684	0.009073	0.0005998
SC	0.07157	0.00187	0.6432	0.0184	0.0107	0	0.03016	0.0113	0.0190	0.1092	0.0644	0.01007	0.009433	0.0006236
AGA	0.07015	0.00184	0.6304	0.01803	0.0105	0.0494	0	0.0111	0.0187	0.107	0.0631	0.009869	0.009246	0.0006112
TRA	0.06888	0.00180	0.619	0.0177	0.0103	0.0485	0.02902	0	0.0183	0.1051	0.062	0.00969	0.009079	0.0006002
ENGU	0.06939	0.00182	0.6236	0.01784	0.0104	0.0489	0.02924	0.011	0	0.1059	0.0624	0.009762	0.009147	0.0006046
GCF	0.07604	0.00199	0.6834	0.01955	0.0114	0.0536	0.03204	0.0120	0.0202	0	0.0684	0.0107	0.01002	0.0006626
GCCF	0.07258	0.0019	0.6523	0.01866	0.0109	0.0511	0.03059	0.0115	0.0193	0.1108	0	0.01021	0.009567	0.0006325
GCT	0.06879	0.0018	0.6182	0.01768	0.0103	0.0485	0.02899	0.0109	0.0183	0.105	0.0619	0	0.009068	0.0005994
GCCT	0.06875	0.00180	0.6179	0.01767	0.0103	0.0484	0.02897	0.0109	0.0183	0.1049	0.0619	0.009672	0	0.0005991
ARQ	0.06817	0.00178	0.6127	0.01752	0.0102	0.0480	0.02873	0.0108	0.0181	0.104	0.0613	0.009591	0.008986	0

Como se puede observar, en el buceo con atrayente, se tiene una tendencia de cercanía y giro hacia el alimentador, que describe el circuito realizado por el tiburón, previo a acercarse y seguir la carnada (Figura 40).

## Discusión

Esta investigación describe el comportamiento de los tiburones toro que se reúnen en la región de Playa del Carmen durante la actividad de buceo recreativo, en las modalidades de observación con atrayente alimenticio y si él. Tanto las entrevistas a expertos en el área como la observación de videos brindan información relevante a cada movimiento realizado por parte de los tiburones, proporcionando información sobre los patrones generales de comportamiento de acuerdo con el tipo de actividad. Los entrevistados reportan entre 20 y 30 individuos, lo que coincide con las guías de foto identificación realizadas por asociaciones civiles de la región, que reportan la foto identificación de 20 individuos (CONANP/PROCOCODES, 2014) y se mencionan entre

12 y 24 en el DOF (30-11-2018) para la Subzona de Uso Público Tiburón Toro. Sin embargo, hasta el momento no hay un registro sistematizado que permita tener una referencia de la abundancia de tiburones en la región o los cambios en el número de la población.

En relación con la posición de los tiburones al inicio del buceo el 82% opina que los tiburones se acercan a los guías que inicialmente descienden al punto de buceo y 88% opinaron que son indiferentes a los turistas.

Las diferencias dependen de la metodología implementada en el descenso de la actividad de alimentación y su mantenimiento en fondo con el atrayente alimenticio. Esto debido principalmente, a la curiosidad que genera el estímulo olfativo del atrayente (Sperone *et al*, 2012), correspondiendo con las posiciones en superficie registradas por Ritter *et al*. (2012), donde el mantenimiento en vertical de los buzos se relaciona con una mayor distancia con los tiburones en comparación con la posición horizontal, así que un mantenimiento inicial en dicha posición favorece la distancia inicial de los tiburones a los buzos.

Una vez en el fondo, en la actividad con uso de atrayentes, los tiburones no se acercan al alimentador de inmediato, pero al abrir el contenedor con carnada se estimula el olfato aún sin ver directamente el atrayente. El olfato es uno de los principales sentidos involucrados en la atracción de algunos tiburones, si bien la importancia relativa de cada sentido varía entre especies de tiburones, la señal olfativa es uno de los primeros en ser detectados (Collin *et al*, 2015).

En el caso de la actividad de observación todos los integrantes descienden al mismo tiempo, por lo que la cercanía es igual para todos los buzos (guías y turistas), independiente al estímulo olfativo.

Respecto a los comportamientos que los entrevistados consideran de relevancia al bucear se encuentran en los primeros dos lugares la atención a la distancia que tienen los tiburones durante el buceo, así como la rapidez de sus movimientos. De acuerdo con Curtis & Majestic (2014), el incremento de velocidad se observa durante la cacería con un nado lento sin presencia de carnada.

Para el caso del buceo de observación sin atrayente en esta área, el comportamiento de cercanía puede ser equiparable al nado lento o no reacción en otras

investigaciones de comportamiento y en el buceo con atrayentes el seguimiento de carnada y el cambio brusco de dirección, incluyen un incremento de velocidad.

Durante los buceos (con y sin atrayente alimenticio), se observan signos de habituación, debido a la cercanía constante descrito anteriormente por Lobel (2008), con influencia de los elementos tales como la alimentación y los movimientos de los buzos (Cubero Pardo *et al.*, 2011; Vianna *et al.*, 2012). También es posible que se esté observando una selección artificial, donde los individuos con una mayor tolerancia a la actividad turística se mantienen en el área, mientras que aquellos sin esta condición de tolerancia se mantienen distantes de esta zona (Bejder *et al.*, 2006). Si bien no es posible determinar a ciencia cierta un patrón de comportamiento para todos los individuos y la función de cada conducta, este análisis permite registrar las relaciones entre conductas e individuos de forma general.

Mediante las entrevistas y la observación de videos, se identificaron 15 comportamientos realizados por parte de los tiburones toro en esta área. Comparándolo con los otros autores que han realizado estudios respecto al comportamiento de la especie (Tabla 9). Se identifica que los comportamientos, corresponden a la mayor parte de los observados durante el buceo en otras zonas, exceptuando aquellos que dependían de una mayor cercanía de la cámara para observar cambio de profundidad, por el uso de video de grabación específica como contacto visual o por la prohibición de atrayentes alimenticios en el área de buceo y zonas de desahogo (Pasos-Acuña, 2018) por el tipo de método o posición de las cámaras como el salto en superficie (Curtis & Majestic, 2014).

En cuanto a los que se registran por otros autores, se encuentra, el comportamiento de bostezo que es semejante a apertura de mandíbula (Martín, 2007) y fue observado desde la superficie y que de acuerdo con el autor corresponde a comportamientos agonísticos. Pasos-Acuña (2018), ubica este comportamiento dentro del grupo de actividades de jerarquía, sin embargo, dicho comportamiento no fue observado directamente por la autora. En este estudio el comportamiento de bostezo se presenta solamente cuando la actividad incluye atrayentes alimenticios y relacionado a los giros hacia el alimentador, por lo tanto, si bien no se demuestra un ataque frontal hacia el

buzo alimentador, si se identifica un despliegue hostil o de jerarquía, sin contacto posterior o cambios bruscos de dirección respecto al buzo.

Por otra parte, el comportamiento de embestida no había sido registrado en la especie, se observa en ambos tipos de buceo, cuando se utilizan atrayentes se presenta junto con cambios bruscos de dirección y sin atrayentes se relaciona con el alejamiento del tiburón, sin incremento de velocidad. En este segundo caso, los cambios entre movimientos son más sutiles respecto a las ocasiones donde se usan atrayentes. En otras especies la embestida se identifica como “*Ramming with snout*” (Martin,2007) o “hit” (Guttridge y Myrberg, 2009) y se relaciona elemento de inspección o agresión.

**Tabla 9. Comparativa de comportamientos con otros autores sobre la especie *C. leucas***

Presentado en este texto (Observación en buceo)	Martin (2007) (Observación en superficie)	Guttridge et al. (2009) (Observación en superficie)	Curtis & Majestic (2014) (Observación en superficie)	Pasos-Acuña (2018) (Observación en buceo)
Agarre				Alimentación <sup>1</sup>
Arqueo de lomo				Agresión <sup>2</sup>
Bostezo	Apertura de mandíbula (Jaw gaping)			Jerarquía
Cambio brusco de dirección				Cambio direccional/aceleración/ Acercamiento espontáneo
Cambio de posición de las aletas dorsales	Abatimiento de aletas pectorales (pectoral fin depression)			Agresión <sup>2</sup>
Embestida				
Engullir				Alimentación <sup>1</sup>
Giro cercano contrario a otro tiburón				Evasión tiburón-tiburón
Giro cercano en sentido contrario al alimentador				Evasión tiburón -buzo
Giro cercano hacia alimentador				Alerta
Giro cercano hacia otro tiburón		Seguimiento		Imitación
Nado cercano	Nado lento			Movimiento direccional/No reacción
Nado lejano				Huida
Seguimiento de carnada				Alimentación <sup>1</sup>
Transporte				Alimentación <sup>1</sup>
				Agregación
				Cambio de profundidad
				Contacto visual
				Merodeo
				Movimiento errático
			Salto en superficie (breaching) <sup>3</sup>	
	Elevación del hocico (snout elevation) <sup>3</sup>			

<sup>1</sup>Alimentación en Pasos-Acuña, 2018: Alimentación por parte del tiburón focal

<sup>2</sup>Agresión en Pasos-Acuña, 2018: Patrón de nado violento, encorvamiento del cuerpo y aletas pectorales posicionadas hacia abajo

<sup>3</sup>Comportamientos observados en superficie

Se registraron seis comportamientos realizados en el buceo de observación y 14 realizados durante el buceo de atracción en el mismo lugar. Nuestro estudio presenta la primera comparativa de los dos tipos de buceo recreativo con esta especie.

Al presentarse los dos escenarios es posible encontrar las diferencias en el despliegue de comportamientos realizado, no sólo en consumo o seguimiento de carnada implícito en la diferencia, sino también en la presencia de comportamientos como cambio de posición de aletas que sólo fue registrado en el buceo de observación o arqueado de lomo observado en el buceo de atracción.

El arqueado de lomo es observado relacionado con los giros entre tiburones, sobre todo para evadir a otro tiburón, Pasos-Acuña (2018) integra este comportamiento dentro de la actividad de agresión y para otra especie se identifica como "*Back arching*", observado en superficie y en profundidad. Ya que se observa el arqueado de lomo junto a los cambios de dirección hacia otro tiburón y no hacia buzos, se puede inferir que tienen una connotación social, no relacionada con agresión en este escenario particular.

En previos estudios se ha descrito un despliegue menor de comportamientos cuando los buzos se encuentran en reposo (Cubero *et al.* 2011). Para el caso de esta región, el buceo de observación sin atrayente tiene poco desplazamiento por parte de los buzos, ya que permanecen en la línea designada, teniendo de esta forma una respuesta menos intensa y por lo tanto un número de comportamientos observados menor que con el uso de atrayentes. Sin embargo, de acuerdo con las entrevistas realizadas, las metodologías de manejo suelen variar entre prestadores de servicios de buceo con la especie, por lo que este análisis no es suficiente para identificar el efecto de las variantes para su acercamiento a la especie *C. leucas*.

Durante las observaciones realizadas se identificaron conductas descritas como alerta y amenaza en otra especie, tales como el caso de arqueado de lomo, cambio brusco de dirección y embestida (Baronio, 2012; Trave *et al.* 2017). No obstante, en los videos provistos para el estudio, no se observó ningún incidente con buzos turistas o guías, después de alguno de estos comportamientos.

El análisis de las secuencias refleja las relaciones entre los comportamientos, dando la idea general del patrón de comportamiento. En la actividad sin atrayente se describe el giro en torno a los buzos, permaneciendo en cercanía, con raras embestidas seguidas de alejamiento del lugar y cambios de posiciones de aletas seguidas de un mantenimiento en cercanía de los buzos, indicando que, si bien no hay evidencia de agresión o estrés en forma de eventos violentos, si existen signos identificados como parte del conjunto de comportamientos que denotan alerta en ésta y otras especies (Guttridge y Myrberg, 2009, Martin, 2007). Este ambiente de observación con el protocolo general se puede comparar con la estrategia dos descrita por Pasos Acuña (2018), donde se tienen escenarios similares en cuanto a protocolo de actuación, sin embargo, existe diferencia en la exposición al atrayente, debido a las diferentes regulaciones entre Cabo Pulmo y Playa del Carmen.

En Cabo Pulmo, no se permite la alimentación, por lo que se puede comparar un grupo de individuos no expuestos a alimentación con este grupo que, si bien no tiene el alimento disponible todo el tiempo, si lo tiene de forma intermitente.

Los movimientos reportados por Pasos Acuña (2018) para la secuencias más frecuentes fueron: simple presencia (comparable a cercanía) a merodeo, simple presencia a cambio direccional (comparable a cambio brusco de dirección) y de merodeo a acercamiento espontaneo (comparable a cambio brusco de dirección). En el caso de este trabajo los principales son los que describen el circuito de giros y cercanía a los buzos, esto indica que la exposición al atrayente alimenticio previo, puede influir en el empobrecimiento de despliegues de comportamiento. Este fenómeno puede atribuirse a que los tiburones previamente atraídos por alimento se encuentran habituados a esperar la comida sin inspeccionar o estresarse debido a los buzos, con lo que no recurren a movimientos de mayor velocidad como en el caso de Cabo Pulmo donde el acercamiento espontaneo y cambio direccional implican mayor celeridad.

Si se comparan las secuencias durante la observación con y sin atrayente, se observa que el circuito en torno a los buzos, sigue siendo la base del patrón general de comportamiento, pero a este se agregan los elementos de alimentación ya sea con el consumo de la carnada o simplemente con el transporte y finalmente destaca el

bostezo (apertura de mandíbulas), hacia los alimentadores, lo que refleja la relación de este comportamiento con la alimentación, ya que no se observó en los individuos de Cabo Pulmo de forma directa.

Los investigadores dedicados al estudio de tiburones han descrito potenciales efectos del turismo de avistamiento sobre el comportamiento y bienestar de los organismos (Gallagher *et al.*, 2005, Brunnschweiler *et al.*, 2018), para lo cual se han llevado a cabo investigaciones en torno a aspectos económicos y sociales (Clua *et al.*, 2010), perturbaciones a sus comportamiento alimenticios con presas (Martin *et al.*, 2005). Playa del Carmen no es el único sitio a nivel mundial donde se utilizan atrayentes durante el buceo, al contrario, dentro de esta actividad, es común el uso de carnada, debido a su eficiencia para atraer a los tiburones. Investigadores señalan que dado que los tiburones de la especie no se alimentan constantemente, la alimentación artificial mediante cebo podría condicionar un comportamiento por parte de los tiburones (Heupel y Simpfendorfer, 2008). De forma similar se han observado cambios en comportamiento a través de la habituación a la alimentación durante los buceos recreativos en otras especies (Clua *et al.*, 2010). En este caso la reducción de comportamientos registrado en este trabajo sustenta el cambio, respecto de la zona de observación del Tiburón Toro en Cabo Pulmo, analizada por Pasos Acuña en 2018, donde en ninguna de las estrategias de buceo realizadas se observó la alimentación de los tiburones toro, a diferencia de el objeto de estudio de este trabajo, en el cual los tiburones toro reciben carnada de forma constante.

## CONCLUSIONES

1. Se identificaron 15 comportamientos realizados por individuos de *C. leucas* durante el buceo recreativo, seis de ellos presentes en la actividad de observación sin atrayentes y catorce con su uso.
2. La diferencia entre ambos tipos de buceo no sólo radica en la presencia de los comportamientos de alimentación, sino que, se presentan algunos comportamientos exclusivos como el bostezo, arqueado de lomo y giros en entre tiburones para el caso del buceo con atrayentes o el cambio de posición de aletas observado únicamente en ausencia de carnada.
3. Los comportamiento realizados por los tiburones de esta especie, pueden organizarse en grupos de alimentación, alerta y sociales.
4. Durante el ofrecimiento del atrayente alimenticio, es mas común ver un transporte de carnada que su consumo.
5. Durante el buceo de observación con atrayentes se presenta una mayor actividad y número de comportamientos respecto de buceo sin atrayentes.
6. Se presentan perfiles similares de los individuos durante cada uno de los tipos de buceo, sin embargo, algunos individuos durante la actividad de observación presentan comportamientos de alerta como arqueado de lomo y embestida, siendo estos eventos más frecuentes durante el buceo con carnada.
7. Al comparar los comportamientos de los buceos de observación sin atrayente entre los tiburones de Cabo Pulmo y Playa del Carmen, se observa una disminución en el despliegue de comportamientos para los individuos que son alimentados de forma intermitente, respecto a los que no han sido expuestos a carnada.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio dirigido a largo plazo considerando los escenarios de buceo de observación con atrayente, sin atrayente y sin buzos, para monitorear los comportamientos realizados por parte de los tiburones toro y los buzos.
2. Iniciar el monitoreo de registro de comportamientos desde el inicio de la temporada, durante y hasta el final, tomando en cuenta los parámetros medio ambientales (temperatura, salinidad, corrientes) y el número de tiburones y de buzos, manteniendo una misma área para el buceo con esta especie.
3. Estandarización de los protocolos de buceo, siendo necesaria una regulación obligatoria, para tener mayor control de las variables que influyen en el comportamiento de la especie durante el buceo recreativo.
4. Elaborar y difundir un análisis de la capacidad de carga de la zona de buceo y el análisis de la factibilidad de zonas de descarga.
5. Es necesario contar con la gestión adecuada en cuanto al manejo de horarios de encuentro con tiburón toro, para cumplir con la demanda en el área para realizar el buceo equilibrándola a el bienestar de la especie.
6. Es de vital importancia la unificación de sectores en favor del bienestar de los tiburones y de la seguridad de los participantes. Esto debe incluir la participación de los buzos, el gobierno local y la comunidad científica para unificar información y contribuir a la mejora de la actividad de buceo con tiburones.

## LITERATURA CITADA

- Anislado-Tolentino, V., Gabriela, G.M., Samuel, R.C., 2008. Evaluación respecto a los ataques de tiburones acontecidos en zonas aledañas a Zihuatanejo, Guerrero, durante Abril y Mayo de 2008., UMAR-H. Ayuntamiento de Zihuatanejo de Azueta, Guerrero, México, p. 46.
- Ballantyne , J. Packer , K. Hughes y L. Dierking .2007. Conservation learning in wildlife tourism settings: lessons from research in zoos and aquariums, *Environmental Education Research*, 13(3):367-383.
- Barlow, 1968. Ethological units of behavior. *The Central Nervous System and Fish Behavior*, 217–232.
- Baronio, M 2012, 'The use of a micro remotely operated vehicle as a tool for studies of shark behaviour and diver impact', PhD thesis, Southern Cross University, Lismore, NSW
- Branstetter, S., Stiles, R., 1987. Age and growth estimates of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, from the northern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes* 20, 169-181.
- Brunnschweiler JM, Barnett A (2013) Opportunistic Visitors: Long-Term Behavioural Response of Bull Sharks to Food Provisioning in Fiji. *PLoS ONE* 8(3) : e58522. doi:10.1371/journal.pone.0058522
- Brunnschweiler, J.M., Payne, N.L., Barnett, A., 2018. Hand feeding can periodically fuel a major portion of bull shark energy requirements at a provisioning site in Fiji. *Animal Conservation* 21, 31-35.
- Castro, J.I., 1983. *The Sharks of North American Waters*. Texas A & M University Press, College Station.
- Castro, J.I., 2011. *The Sharks of North America* Oxford University Press, New York.
- Cisneros-Montemayor, A.M., Barnes-Mauthe, M., Al-Abdulrazzak, D., Navarro-Holm, E., Sumaila, U.R., 2013. Global economic value of shark ecotourism: implications for conservation. *Oryx* 47, 381-388.
- Clua, E., Buray, N., Legendre, P., Mourier, J., Planes, S., 2010. Behavioural response of sicklefin lemon sharks *Negaprion acutidens* to underwater feeding for ecotourism purposes.

- Clark, E. 1963. The maintenance of sharks in captivity, with a report on their instrumental conditioning. 115-49. En: P. Gilbert (ed.) *Sharks and Survival*, D. C. Heath and Co., Boston.
- Compagno, L., Dando, M., Fowler, S., 2006. *Guía de campo de los tiburones del mundo*. Omega.
- Compagno, L.J.V., 1984. *Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 1. Hexanchiformes to Lamniformes*. FAO Fisheries Synopsis 4, 249.
- CONANP/PROCOCODES, 2014. *Manual de Buenas Prácticas para el buceo con Tiburón Toro (Carcharhinus leucas) en Playa del Carmen*, CONANP/PROCOCODES/3051/2014, México, p. 20.
- Colwell, R.K., C.X. Mao & J. Chang. 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology* 85:2717-2727.
- Cruz-Martínez, A., Chiappa-Carrara, X., Arenas-Fuentes, V., 2004. Age and Growth of the Bull Shark, *Carcharhinus leucas*, from Southern Gulf of Mexico. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 35, 367-374.
- Cubero Pardo, P., Herrón, P., González-Pérez, F. 2011. Shark reactions to scuba divers in two marine protected areas of the Eastern Tropical Pacific. *Aquat. Conserv.* 21(3), 239-246.
- Curtin, S., y Kragh, G. 2014. *Wildlife Tourism: Reconnecting People with Nature*. *Human Dimensions of Wildlife*, 19(6):545–554.
- Dias P.A.D, Rangel-Negrín A, Coyohua-Fuentes A, Canales-Espinosa D. 2009. Behaviour accumulation curves: a method to study the completeness of behavioural repertoires. *Animal Behaviour* 77:1551–1553
- Devore, Jay L. 2008. *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. Séptima edición. ISBN-13: 978-607-481-338-8.
- Eschmeyer, W.N.a.R.F., and R. van der Laan (eds), 2018. *Catalog of Fishes: Genera, species*. *Zootaxa Monograph* 3882 (1), 1-230
- Ezcurra J, Lowe C, Mollet H, Ferry L, O'Sullivan J. 2012. Captive feeding and growth of young-of-the-year white sharks, *Carcharodon carcharias*, at the Monterey Bay Aquarium. En: Domeier ML, (ed). *Global perspectives on the biology and life history of the white shark*. Boca Raton: CRC Press, 3–16.
- Fischer, W., F, K., W, S., C, S., K.E, C., V.H, N., 1995. *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca, Pacífico centro-oriental*. FAO, Roma.

- Gajá, F.S., 2007. Características y Modelación numérica del oleaje en Dos regiones Costeras del Caribe Mexicano: Playa del Carmen y Akumal., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, p. 100.
- Gallagher, A.J., Hammerschlag, N., 2011. Global shark currency: the distribution, frequency, and economic value of shark ecotourism. *Current Issues in Tourism* 14, 797-812.
- Gallagher, A. J., & Huveneers, C. P. M. 2018. Emerging challenges to shark-diving tourism. *Marine Policy*, 96:9–12
- Gallagher, A.J., Vianna, G.M.S., Papastamatiou, Y.P., Macdonald, C., Guttridge, T.L., Hammerschlag, N., 2015. Biological effects, conservation potential, and research priorities of shark diving tourism. *Biological Conservation* 184, 365-379.
- Guttridge TL, Myrberg AA, Porcher IF, Sims DW, Krause J. 2009. The role of learning in shark behaviour. *Fish and Fisheries* 10:450–469.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.
- Heupel, M.R., Simpfendorfer, C.A., 2008. Movement and distribution of young bull sharks *Carcharhinus leucas* in a variable estuarine environment. *Aquatic Biology* 1, 277-289.
- Klimley, A.P., Pyle, P., Anderson, S.D., 1996. The Behavior of White Sharks and Their Pinniped Prey during Predatory Attacks, in: Klimley, A., Ainley, D. (Eds.), *Great White Sharks San Diego* : Academic press, Inverness, California, pp. 176-191.
- Laroche, R.K., A, K.A., M, D.L., Herman, O.W., 2007. Effects of provisioning ecotourism activity on the behaviour of white sharks *Carcharodon carcharias*. *Marine Ecology Progress Series*, 199.
- Lehner, P.N., 1998. *Handbook of Ethological Methods*. Cambridge University Press.
- N Loiseau, JJ Kiszka, T Bouveroux, MR Heithaus, M Soria & P Chabanet, 2016. Using an unbaited stationary video system to investigate the behaviour and interactions of bull sharks *Carcharhinus leucas* under an aquaculture farm, *African Journal of Marine Science* 38(1),73-79
- Marín-Osorno, R., 1992. Aspectos biológicos de los tiburones capturados en las costas de Tamaulipas y Veracruz, Universidad Veracruzana, México, p. 147.
- Marshall, A.D., Pierce, S.J., 2012. The use and abuse of photographic identification in sharks and rays. *J Fish Biol* 80, 1361-1379.

- Martin, P. y Bateson, P. (1986). La medición del comportamiento. Madrid: Alianza Universidad, 1991).
- Martin, R.A., Hammerschlag, N., 2012. Marine predator–prey contests: Ambush and speed versus vigilance and agility. *Marine Biology Research* 8, 90-94.
- Martin, R.A., Hammerschlag, N., Collier, R.S., Fallows, C., 2005. Predatory behaviour of white sharks (*carcharodon carcharias*) at Seal Island, South Africa. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 85, 1121-1135.
- Meekan, M., Bradshaw, C., Press, M., McLean, C., Richards, A., Quasnicka, S., Taylor, G., 2006. Population size and structure of whale sharks *Rhincodon typus* at Ningaloo Reef, Western Australia.
- Merino-Ibarra, M., Otero, D.L., 1999. Atlas ambiental costero Puerto Morelos-Quintana Roo. Chetumal : Centro de Investigaciones de Quintana Roo, Quintana Roo.
- Núñez-Vivas, 2015. La conservación de megafauna marina frente al desarrollo del turismo en el Caribe mexicano, ECOSUR-Université de Sherbrooke, México, p. 67.
- Salomón-Aguilar, C.A., C., V.-G., H, R.-B., 2009. Shark breeding grounds and seasons in the Gulf of California: Fishery management and conservation strategy. *Ciencias Marinas* 35, 369-388.
- Simpfendorfer, C.B., G.H., 2009. *Carcharhinus leucas*. The IUCN Red List of Threatened Species 2009: e.T39372A10187195.
- Slater, P. J. B. (1973). Describing Sequences of Behavior. *Perspectives in Ethology*, 131–153. doi:10.1007/978-1-4615-7569-6\_5
- Snelson, F., J. Mulligan, T., E. Williams, S., 1984. Food Habits, Occurrence, and Population Structure of the Bull Shark, *Carcharhinus Leucas*, in Florida Coastal Lagoons. *Bulletin of Marine Science* 34, 71-80.
- Sosa Nishizaki, O., Taniuchi, T., Ishihara, H., Shimizu, M., 1998. El tiburón chato, *cudzarhinus feucas* (valenciennes, 1841), del río Usumacinta, Tabasco, México, con notas sobre la composición de su suero sanguíneo y osmolaridad. *Ciencias Marinas* 24, 183-192.
- Sperone, E., Micarelli, P., Andreotti, S., Brandmayr, P., Bernabò, I., Brunelli, E., Tripepi, S., 2012. Surface behaviour of bait-attracted white sharks at Dyer Island (South Africa). *Marine Biology Research* 8, 982-991.
- Skomal GB, Bernal D. Physiological responses to stress in sharks. In: Carrier JC, Musick JA, Heithaus MR, editors. *Sharks and their relatives: biodiversity, adaptive physiology and conservation*. Boca Raton: CRC Press; 2010. p. 459–90.

- Tillett B.J., M.G. Meekan, I.C. Field, D.C. Thorburn, J.R. Ovenden., 2012 Evidence for reproductive philopatry in the bull shark *Carcharhinus leucas* J. Fish. Biol., 80, 2140-2158
- Uribe Martínez, J., 1993. Distribucion, abundancia, estructura y biometria de especies de tiburones capturados en la sonda de Campeche, Mexico, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias, p. 158.
- Villagómez Vélez, S.I., 2016. Comportamiento alimentario de tiburón ballena (*rhincodon typus*) ante la presencia de turistas en el norte del caribe mexicano, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 43.
- Whittaker; R., Knight L. 1998. Understanding Wildlife Responses to Humans. *Wildlife Society Bulletin*, 26(2):312-317.
- Zemah Shamir, Z., Zemah Shamir, S., Becker, N., Scheinin, A., & Tchernov, D., 2019. Evidence of the impacts of emerging shark tourism in the Mediterranean. *Ocean & Coastal Management*. 178, 104847.

## ANEXOS

### Anexo 1: Formato de registro para buzos guía y fotógrafos

---

#### ENCUESTA DIRIGIDA A PROFESIONALES DEDICADOS AL BUCEO CON TIBURÓN TORO

La información que nos proporcionas nos ayudará a conocer un poco más sobre el tiburón toro durante los buceos recreativos. Con esta información se recaban datos útiles para un estudio que busca describir el comportamiento del tiburón toro en Playa del Carmen, Quintana Roo.

De antemano te agradezco tu tiempo

Fecha: _____ Lugar de trabajo: _____ Ocupación: _____	Años de experiencia en el buceo con tiburón toro: _____ Atrayente: carnada / sin carnada / ambas
---	---

¿Cuántos tiburones toro se observan normalmente durante un buceo con turistas?

Al inicio de su descenso la mayoría de los tiburones toro:

Se acercan       Se alejan       Son indiferentes

Al inicio del descenso de los turistas la mayoría de los tiburones toro:

Se acercan       Se alejan       Son indiferentes

La cantidad de tiburones que se observan normalmente es:

¿Algún movimiento del tiburón le indica que debe tener precaución?

\_\_\_\_\_

Durante el buceo, ¿Qué movimientos ha identificado que realiza el tiburón toro y le son de utilidad para su labor? Si requiere un dibujo de los movimientos, pídale a la persona encargada de esta encuesta.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Si deseas dejar algún comentario adicional:



### Anexo 3: Script para análisis en R, heatmap y dendograma

```
carnada<-read.table("Tabla de presencia ausencia",header = T,row.names = 1,sep = ",")
corcarnada<-cor(carnada)
write.table(x=corcarnada,file="corcarnada.txt",sep=",")
library(corrplot)
corrplot.mixed(corcarnada,upper = "number",lower = "color",order="hclust")
->grafico_correlacion
corcarnadaPositivo<-read.table("corcarnada positivos.csv",header = T,row.names = 1
,sep = ",")
distCorcarnadapositivo<-1/corcarnadaPositivo
distanciaCORCARNADA<-as.dist(distCorcarnadapositivo,diag = T)
dendrogramaCORCARNADA<-hclust(distanciaCORCARNADA,method = "single")
pdf("dendogramaDi.pdf")
par(pty="s")
plot(dendrogramaCORCARNADA)
dev.off()
```

## Anexo 4: Valores para la curva de acumulación.

Valores obtenidos en la construcción de la curva de acumulación durante el buceo de observación.			
Número de individuo	Valor acumulativo	Error estándar de la media (1s)	Error estándar de la media (2s)
1	3.3833	0.89797	1.7959
2	4.0638	0.93647	1.8729
3	4.346	0.90996	1.8199
4	4.5092	0.86452	1.729
5	4.6297	0.81673	1.6335
6	4.7313	0.77179	1.5436
7	4.8219	0.73082	1.4616
8	4.9043	0.69365	1.3873
9	4.9799	0.65978	1.3196
10	5.0493	0.62867	1.2573
11	5.1132	0.59986	1.1997
12	5.1721	0.57292	1.1458
13	5.2264	0.54752	1.095
14	5.2767	0.52339	1.0468
15	5.3232	0.5003	1.0006
16	5.3663	0.47809	0.95618
17	5.4064	0.45663	0.91325
18	5.4437	0.43581	0.87161
19	5.4785	0.41556	0.83112
20	5.511	0.39583	0.79166
21	5.5415	0.37659	0.75317
22	5.5701	0.3578	0.7156
23	5.5971	0.33946	0.67892
24	5.6225	0.32156	0.64311
25	5.6464	0.30409	0.60818
26	5.6691	0.28706	0.57412
27	5.6906	0.27048	0.54095
28	5.7111	0.25434	0.50868
29	5.7305	0.23866	0.47731
30	5.749	0.22344	0.44687
31	5.7666	0.20869	0.41737
32	5.7834	0.19441	0.38882
33	5.7994	0.18062	0.36124
34	5.8147	0.16731	0.33463
35	5.8293	0.1545	0.309
36	5.8432	0.14218	0.28437
37	5.8564	0.13037	0.26074
38	5.869	0.11906	0.23811

39	5.8811	0.10825	0.2165
40	5.8925	0.097955	0.19591
41	5.9033	0.088169	0.17634
42	5.9135	0.078894	0.15779
43	5.9231	0.070132	0.14026
44	5.9322	0.061884	0.12377
45	5.9407	0.05415	0.1083
46	5.9486	0.046931	0.093863
47	5.9559	0.040227	0.080455
48	5.9627	0.034039	0.068078
49	5.9689	0.028366	0.056732
50	5.9746	0.023209	0.046417
51	5.9797	0.018567	0.037134
52	5.9842	0.014441	0.028882
53	5.9881	0.010831	0.021661
54	5.9915	0.007736	0.015472
55	5.9944	0.005158	0.010315
56	5.9966	0.003095	0.006189
57	5.9983	0.001547	0.003095
58	5.9994	0.000516	0.001032
59	6	0	0
60	6	0	0

**Valores obtenidos en la construcción de la curva de acumulación durante el buceo de atracción.**

Número de individuo	Valor acumulativo	Error estándar de la media (1s)	Error estándar de la media (2s)
1	5.4257	1.0991	2.1983
2	7.3984	1.1422	2.2844
3	8.5397	1.0909	2.1818
4	9.3124	1.0239	2.0479
5	9.8805	0.95936	1.9187
6	10.319	0.90133	1.8027
7	10.668	0.85017	1.7003
8	10.951	0.8051	1.6102
9	11.185	0.76516	1.5303
10	11.38	0.72941	1.4588
11	11.545	0.69709	1.3942
12	11.686	0.66756	1.3351
13	11.806	0.64031	1.2806
14	11.911	0.61494	1.2299
15	12.002	0.59113	1.1823
16	12.081	0.56862	1.1372
17	12.151	0.5472	1.0944

18	12.213	0.52674	1.0535
19	12.268	0.50709	1.0142
20	12.317	0.48816	0.97632
21	12.362	0.46988	0.93976
22	12.402	0.45218	0.90437
23	12.439	0.43503	0.87005
24	12.472	0.41837	0.83674
25	12.502	0.40219	0.80438
26	12.531	0.38645	0.77291
27	12.557	0.37115	0.7423
28	12.581	0.35626	0.71253
29	12.603	0.34178	0.68356
30	12.624	0.32769	0.65538
31	12.644	0.31399	0.62798
32	12.662	0.30067	0.60133
33	12.68	0.28772	0.57543
34	12.696	0.27513	0.55026
35	12.712	0.26291	0.52582
36	12.726	0.25105	0.5021
37	12.74	0.23954	0.47908
38	12.754	0.22838	0.45676
39	12.766	0.21757	0.43513
40	12.778	0.20709	0.41418
41	12.79	0.19695	0.3939
42	12.801	0.18714	0.37428
43	12.812	0.17766	0.35532
44	12.822	0.1685	0.33699
45	12.832	0.15965	0.31931
46	12.841	0.15112	0.30224
47	12.85	0.14289	0.28579
48	12.858	0.13497	0.26994
49	12.866	0.12734	0.25468
50	12.874	0.12	0.24001
51	12.882	0.11295	0.2259
52	12.889	0.10618	0.21236
53	12.896	0.099686	0.19937
54	12.902	0.09346	0.18692
55	12.909	0.087498	0.175
56	12.915	0.081794	0.16359
57	12.92	0.076343	0.15269
58	12.926	0.07114	0.14228
59	12.931	0.066178	0.13236
60	12.936	0.061452	0.1229

61	12.941	0.056956	0.11391
62	12.945	0.052685	0.10537
63	12.949	0.048633	0.097266
64	12.953	0.044794	0.089588
65	12.957	0.041162	0.082325
66	12.961	0.037732	0.075465
67	12.964	0.034498	0.068997
68	12.967	0.031454	0.062909
69	12.97	0.028595	0.05719
70	12.973	0.025914	0.051829
71	12.976	0.023407	0.046813
72	12.978	0.021066	0.042132
73	12.98	0.018887	0.037773
74	12.982	0.016863	0.033726
75	12.984	0.014989	0.029979
76	12.986	0.01326	0.02652
77	12.988	0.011669	0.023337
78	12.989	0.01021	0.02042
79	12.991	0.0088784	0.017757
80	12.992	0.0076677	0.015335
81	12.993	0.0065723	0.013145
82	12.994	0.0055865	0.011173
83	12.995	0.0047044	0.0094088
84	12.996	0.0039203	0.0078407
85	12.997	0.0032285	0.006457
86	12.997	0.0026232	0.0052463
87	12.998	0.0020985	0.0041971
88	12.998	0.0016488	0.0032977
89	12.999	0.0012683	0.0025367
90	12.999	0.00095126	0.0019025
91	12.999	0.00069182	0.0013836
92	12.999	0.00048428	0.00096855
93	13	0.00032285	0.0006457
94	13	0.00020178	0.00040356
95	13	0.0001153	0.00023061
96	13	5.77E-05	0.0001153
97	13	2.31E-05	4.61E-05
98	13	5.77E-06	1.15E-05
99	13	0	0
100	13	0	0
101	13	0	0

### Anexo 5a: Matriz de presencia/ausencia en el buceo de atracción

	APR	BOS	CER	CBD	EB	SC	AGA	TRA	ENGU	GCF	GCCF	GCT	GCCT	ARQ
1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
3	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
6	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
7	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
8	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
9	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
10	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
12	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
13	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
14	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
15	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0
16	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
17	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
18	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
19	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
20	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
22	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
23	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
24	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
25	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
27	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
28	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
29	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
30	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
31	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
32	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
33	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
34	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
35	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
36	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
37	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0
38	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
39	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
40	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
41	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
42	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
43	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
44	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
45	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
46	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
47	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
48	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
49	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0

50	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
51	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
52	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
53	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
54	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
55	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
56	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
57	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1
58	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0
59	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0
60	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
61	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
62	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
63	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
64	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0
65	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
66	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0
67	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
68	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
69	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
70	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
72	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
73	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
74	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
75	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0
76	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
77	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
78	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
79	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
80	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
81	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
82	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
83	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
84	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
85	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
86	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
87	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0
88	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
89	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
90	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
91	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
92	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
93	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
94	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
95	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0
96	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
97	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
98	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
99	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0
100	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0
101	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0

## Anexo 5b: Matriz de presencia/ausencia en el buceo observación

	APR	EB	GCF	GCCF	VIB	CER	
1	1	0	1	1	0	1	1
2	1	0	1	0	0	0	1
3	1	0	1	1	0	0	1
4	1	0	0	1	0	0	1
5	1	0	0	1	0	0	1
6	1	0	0	1	0	0	1
7	1	0	0	1	0	0	1
8	1	0	1	1	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	1
10	1	0	0	1	0	0	1
11	1	0	1	1	0	0	1
12	1	0	1	0	0	0	1
13	0	0	1	0	1	0	1
14	1	0	1	0	0	0	1
15	1	0	1	1	0	0	1
16	1	0	1	1	0	0	1
17	1	0	1	1	0	0	1
18	1	0	1	1	0	0	1
19	0	0	1	0	0	0	1
20	1	0	1	1	0	0	1
21	1	0	1	0	0	0	1
22	1	0	1	0	0	0	1
23	1	0	0	1	0	0	1
24	1	0	1	0	0	0	1
25	1	0	1	0	0	0	1
26	1	0	1	0	0	0	1
27	1	0	0	1	0	0	1
28	1	0	1	1	0	0	1
29	1	0	0	1	1	0	1
30	1	0	1	1	0	0	1
31	1	0	1	1	0	0	1
32	1	0	1	0	0	0	1
33	1	0	1	1	1	0	1
34	1	0	0	1	0	0	1
35	1	0	1	1	1	0	1

---

<b>36</b>	1	0	0	1	0	1
<b>37</b>	0	0	1	1	0	1
<b>38</b>	1	0	1	0	0	1
<b>39</b>	1	0	1	0	0	1
<b>40</b>	1	0	0	1	1	1
<b>41</b>	1	0	1	0	0	1
<b>42</b>	1	0	1	0	0	1
<b>43</b>	1	0	1	0	0	1
<b>44</b>	0	1	1	1	0	1
<b>45</b>	1	0	0	1	0	1
<b>46</b>	1	0	0	1	0	1
<b>47</b>	0	0	1	1	0	1
<b>48</b>	1	0	1	1	0	1
<b>49</b>	1	0	1	0	0	1
<b>50</b>	1	0	0	1	0	1
<b>51</b>	1	0	1	1	0	1
<b>52</b>	1	0	1	0	0	1
<b>53</b>	1	0	0	1	0	1
<b>54</b>	1	0	0	1	0	1
<b>55</b>	1	0	1	1	0	1
<b>56</b>	0	0	1	1	0	1
<b>57</b>	1	0	0	1	1	1
<b>58</b>	1	0	0	1	0	1
<b>59</b>	1	0	0	1	0	1
<b>60</b>	1	0	0	0	1	1

---

## Anexo 6a: Secuencias de comportamiento durante la actividad de observación

1	APR	GCCF	APR	CER	APR	GCF	APR	CER		
2	APR	GCF	CER	APR						
3	APR	GCF	GCCF	APR	CER	APR	CER	GCCF	APR	
4	CER	GCCF	APR	CER	EB					
5	CER	GCCF	CER	GCCF	APR	CER				
6	APR	GCCF	CER	APR	CER					
7	APR	CER	GCCF	CER	APR					
8	CER	GCF	CER	GCCF	CER	APR				
9	APR	CER	GCCF	CER						
10	APR	GCCF	CER	APR	CER					
11	APR	GCCF	CER	APR	CER	GCF				
12	CER	GCF	CER	APR						
13	CER	GCF	CER	VIB	CER					
14	CER	GCF	CER	APR	CER	GCF				
15	CER	GCCF	CER	GCF	CER	GCF	CER	APR		
16	CER	GCCF	CER	APR	CER	GCF	CER			
17	CER	GCF	CER	GCF	CER	GCF	CER	GCCF	CER	APR
18	CER	GCCF	CER	GCF	CER	GCF	APR	CER		
19	CER	GCF	CER	GCF	CER					
20	APR	CER	GCCF	CER	APR	CER	GCF	CER	GCF	CER
21	APR	GCF	CER	APR	CER	GCF	CER	APR		
22	CER	GCF	CER	GCF	CER	APR				
23	CER	GCCF	CER	APR	CER					
24	CER	GCF	CER	APR	CER					
25	APR	CER	GCF	CER						
26	CER	GCF	CER	APR	CER	GCF	CER	APR	CER	
27	APR	GCCF	CER	GCCF	CER	APR	CER			
28	CER	APR	GCF	APR	CER	GCCF				
29	CER	GCCF	CER	VIB	CER	APR	CER	APR		
30	CER	GCCF	APR	GCF	CER					
31	CER	GCCF	CER	GCF	CER	APR				
32	APR	CER	GCF	CER	APR	CER				
33	CER	GCF	CER	VIB	CER	GCCF	CER	APR		
34	CER	GCCF	CER	APR						
35	APR	CER	GCF	VIB	CER	GCCF	CER			
36	CER	GCCF	CER	APR	CER	APR				
37	CER	GCCF	CER	GCF	CER					
38	APR	CER	GCF	CER	APR					
39	APR	CER	GCF	CER						
40	APR	CER	GCCF	CER	VIB	CER	APR			
41	APR	CER	GCF	CER	APR	CER				
42	APR	CER	GCF	CER	APR					
43	CER	GCF	CER	APR	CER					
44	CER	GCF	CER	GCCF	CER	EB	GCCF	CER		
45	CER	GCCF	CER	APR						
46	CER	GCCF	CER	APR	CER					
47	CER	GCCF	CER	GCF	CER					
48	APR	CER	GCCF	CER	GCF	CER				
49	APR	CER	GCF	CER	APR					
50	APR	CER	GCCF	CER						
51	APR	CER	GCF	CER	GCCF	CER	APR			
52	APR	CER	GCF	CER						
53	CER	GCCF	CER	APR						
54	CER	GCCF	CER	APR	CER					
55	CER	GCF	CER	GCCF	APR					
56	CER	GCF	CER	GCCF	CER					
57	CER	VIB	CER	GCCF	CER	APR				
58	CER	GCCF	CER	APR						
59	CER	GCCF	CER	APR						
60	APR	CER	VIB	CER	APR					

## Anexo 6b: Secuencias de comportamiento durante la actividad de atracción

1	C E R	G C F	S C C	G C F	C E R	A P R	G C F	C E R	G C F	G C F	C E R	G C F	S C A	A G C					
2	C E R	G C F	C C F	G C F	C E R	S C F	G C F	C E R	A P R										
3	C E R	S C A	A G A	T R A	G C F	C E R	A P R												
4	A P R	C E R	G C F	C E R															
5	A P R	C E R	G C F	C C D	C E R	G C F	S C A	T R A	G C F	G C F	C E R	S C A	G C P	C E R	S C A	E N G	C E R	C D F	G C F
6	C E R	S C F	G C D	C B D	E B F	G C F	C E R	G C F	A P R										
7	C E R	G C F	C C F	G C F	C E R	G C F	E B F	G C F	C E R	B C S	G C F	C E R	A P R						
8	A P R	C E R	G C F	C C F	G C F	C E R	S C A	T R A	C E R	G C F	C E R	A P R	C E R						
9	C E R	C B D	C E R	G C F	C E R	G C F	S C A	E N G	C E R	C E R	A P R								
10	C E R	E B D	C B D	C E R	G C F	A P R													
11	C E R	S C F	G C C	C E R	S C A	E N G	C E R	G C F	C E R	G C F	S C A	E N G	C E R	A P R	C E R				
12	A P R	C E R	G C F	C C F	G C F	C E R	G C F	C E R	C E R	G C F	C E R	S C A	E N G	C E R					
13	C E R	G C F	C C F	G C F	C E R	S C A	C E R	A P R											
14	C E R	G C F	C C F	G C F	G C F	C E R	A P R												
15	C E R	S C F	C C D	G C F	C E R	A P R	C E R	S C A	T R A	G C F	C E R	A P R	C E R	G C F	C E R				
16	A P R	G C C	A P R	G C F	C E R	G C F	C E R	C E R	C E R	A P R	C E R	G C F	C E R						
17	C E R	G C F	G C F	C C F	A P R	C E R	C E R	A P R	C E R	S C A	E N G	C E R	G C F						

18	C E R F	G C R	S C	A G A	C E R R	A P R	C E R	G C F	C E R	A P R	C E R	G C T	G C F			
19	A P R F	G C R	A P R	C E R	C E R	G C F	C E R									
20	C E R	S C B	E B D	C C R	C E R											
21	C E R	A P R	C E R	G C F	C E R	G C F	C E R									
22	C E R	G C R	G C F	C E R	C E R	E B R	C E R	A P R	G C F	C E R	G C F	C E R				
23	C E R F	G C R	E B D	C E R	C E R	A P R	C E R	G C F	G C R	C E R	C E R	A P R	G C F	C E R	G C F	C E R
24	C E R F	G C R	G C F	C E R	C E R	E B										
25	C E R	G C R	A P R	C E R	G C F	C E R										
26	C E R	G C R	G C F	C E R	C E R	G C F	C E R									
27	C E R F	G C R	G C F	S C A	A E A	E N G	A P R									
28	C E R	E B D	C B F	G C R	C E R	A P R	C E R	G C F	C E R	A P R	G C F	C E R	S C A	T G R	C E R	
29	C E R F	G C B	E C F	C E R	C E R	G C F	C E R									
30	A P R	G C R	A P R													
31	C E R	G C R	G C F	C E R	C E R	A P R										
32	C E R	G C R	G C F	A P R												
33	C E R	G C R	A P R	C E R	S C A	T E G	C E R									
34	A P R	G C R	C E R	A P R	C E R	G C F	C E R	A P R								
35	C E R	G C R	G C F	S C A	A G C	G C F	A P R	C E R	C C D	A B E R	P R					
36	C E R	G C R	G C F	C E R	A P R	C E R	G C F	C E R								







9	C	S	A	T	G	A	C	G	S	G	C	S	G
5	E	C	G	R	C	P	E	C	C	C	E	C	C
	R		A	A	C	R	R	F		F	R		F
					F								
9	C	S	G	C									
6	E	C	C	E									
	R		C	R									
			F										
9	C	A	C	S	A	T	E						
7	E	P	E	C	G	R	N						
	R	R	R	A	A	A	G						
9	C	G	C	A	C	S	A	T	G	C	A		
9	E	C	E	P	E	C	G	R	C	E	P		
	R	F	R	R	R		A	A	T	R	R		
1	C	G	C	S	A	E	C	G	C	A	C	A	
0	E	C	E	C	G	N	E	C	E	P	E	P	
0	R	F	R		A	G	R	T	R	R	R	R	
1	S	G	G	C	A	C	G						
0	C	C	C	E	P	E	C						
1	C	T	R	R	R	F							