



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales



Lic. en Medicina Veterinaria y Zootecnia

Soto Rodríguez Karla Fernanda

Expediente: 212952

EFECTO DE LA ACUMULACIÓN DE SARGAZO EN
ANIDACIÓN, ECLOSIÓN Y SOBREVIVENCIA DE
TORTUGAS MARINAS DE QUINTANA ROO.

Directora:

Dra. Andrea Margarita Olvera Ramírez

Codirectora:

Dra. Itzel Zamora Vilchis



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia

Efecto de la acumulación de sargazo en anidación, eclosión y sobrevivencia de tortugas marinas de Quintana Roo.

Como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciada en Medicina Veterinaria y Zootecnia

Presenta:

Karla Fernanda Soto Rodríguez

Dirigido por:

Dra. Andrea Margarita Olvera Ramírez

SINODALES

Dra. Andrea Margarita Olvera Ramírez
Presidente

Firma

Dra. Itzel Zamora Vilchis
Secretario

Firma

Dra. Marina Duran Aguilar
Vocal

Firma

Dr. Nicolas Ramos Lara
Suplente

Firma

Dr. Héctor Raymundo Vera Ávila
Suplente

Firma

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Enero de 2020
México

EFECTO DE LA ACUMULACIÓN DE SARGAZO EN ANIDACIÓN, ECLOSIÓN Y SOBREVIVENCIA DE TORTUGAS MARINAS DE QUINTANA ROO.

RESUMEN

En 2018, una proliferación en cantidades sin precedentes de sargazo se presentó desde las costas de América del Sur hasta Florida. Las corrientes oceánicas provocaron la llegada masiva de estas algas a las playas del Caribe, principalmente en Quintana Roo, México, las cuales se consideran hábitats importantes para las tortugas marinas de la región. Sin embargo, se desconoce si la acumulación de sargazo puede afectar el proceso de anidación de las tortugas marinas y si tiene consecuencias a corto y largo plazo. En este estudio se evaluó el efecto de acumulación de sargazo sobre la capacidad reproductiva en las tortugas marinas verdes (*Chelonia mydas*) y caguama (*Caretta caretta*) en las playas de anidación de Quintana Roo, México, durante el 2018, mediante dos métodos: 1) un estudio de percepción y 2) un estudio retrospectivo. Para el estudio de percepción, se utilizó una metodología cualitativa transversal, por medio de encuestas que fueron realizadas a expertos en el monitoreo de tortugas marinas que trabajan en todo el estado. Se recopilaron los datos y opiniones de cada uno de ellos para analizarlos de manera general y más específicamente por municipio. Los resultados de las encuestas fueron compilados en bases de datos y analizados mediante estadística descriptiva. Para el estudio retrospectivo, se comparó el número total de nidos entre 2016 (sin arribo masivo de sargazo) y 2018 para las dos especies de tortugas marinas utilizando datos de 12 playas de anidación en Quintana Roo. Los resultados mostraron que los encuestados percibieron un efecto negativo del sargazo en la eclosión. Según ellos, hubo aproximadamente 40% menos crías en 2018. Además, más del 60% de los encuestados notaron que la acumulación de sargazo puede obstruir el tránsito de las crías hacia el mar. Se informó que, en promedio, el 30% de las crías no pudieron llegar al mar. Con respecto a las medidas implementadas por el gobierno, los expertos percibieron que la limpieza de playas con maquinaria puede compactar la arena, lo que puede dificultar el proceso de anidación de las tortugas marinas. Además, creen que la red anti-sargazo puede tener un efecto negativo en las crías, obstruyendo su camino libre hacia el mar. Se percibió que, en promedio, el 75% del área de anidación fue invadida por el sargazo, y de acuerdo con los resultados, esto puede cambiar la distribución de los nidos. Además, los expertos creen que en algunas playas la acumulación de sargazo causó una disminución en el número de nidos y redujo el área de anidación. Esta última percepción fue corroborada con el estudio retrospectivo, en el cual se encontró una disminución en el número de nidos de *C. caretta* y *C. mydas* de aproximadamente 40% ($P = 0.06$) y 30% ($P = 0.01$) respectivamente, durante 2018. En conclusión, se percibió que la llegada masiva de sargazo en 2018 tuvo efectos negativos en la anidación y eclosión de las tortugas marinas en Quintana Roo. Los efectos negativos del sargazo, sumados a otros impactos naturales y humanos, pueden conducir a un mayor riesgo de extinción para las ya amenazadas tortugas marinas de la región. Los resultados de este estudio proporcionarán datos importantes para el manejo de las tortugas marinas en Quintana Roo, México.

Palabras clave: *Sargassum*, tortugas marinas, *Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, proceso de anidación.

ABSTRACT

In 2018, a proliferation in unprecedented amounts of sargassum occurred from the coasts of South America to Florida. Ocean currents caused the massive arrival of this seaweed to the beaches of the Caribbean, particularly those located in Quintana Roo, Mexico, which are considered important habitats for sea turtles of the region. However, it is unknown if the accumulation of sargassum can affect the nesting process of sea turtles and whether this could have short- and long-term consequences. In this study we evaluated the sargassum accumulation effect in reproductive capacity on green (*Chelonia mydas*) and loggerhead (*Caretta caretta*) sea turtles on the nesting beaches of Quintana Roo, Mexico during 2018, using two approaches: 1) a perception study and 2) a retrospective study. For the perception study, a cross-sectional methodology was used, through surveys that were conducted to experts in the monitoring of sea turtles that work throughout the state. The data and opinions of each of them were collected to analyze them in a general way and more specifically by municipality. The results of the surveys were compiled in databases and analyzed using descriptive statistics. For the retrospective study, the total number of nests between 2016 (without massive sargassum arrival) and 2018 were compared for the two sea turtle species using data from 12 nesting beaches in Quintana Roo. The results showed that respondents perceived a negative effect of the sargassum on hatching. According to them, there were approximately 40% less hatchlings in 2018. In addition, more than 60% of respondents noted that sargassum accumulation can obstruct the free transit of hatchlings to the sea. It was reported that on average, 30% of the offspring failed to reach the sea. Regarding the measures implemented by the government, experts perceived that beach cleaning using equipment can compact the sand, which can hinder the nesting process of sea turtles. Also, they believed that the anti-sargassum net can have a negative effect on hatchlings, obstructing their free way to the sea. It was perceived that, on average, 75% of the nesting area was invaded by sargassum, and according to the results, this can change the distribution of nests. Furthermore, experts believed that in some beaches sargassum accumulation has caused a decrease in the number of nests and reduced the nesting area. This last perception was corroborated with the retrospective study, which found a decrease in the number of nests of *C. caretta* and *C. mydas* of approximately 40% ($P = 0.06$) and 30% ($P = 0.01$) respectively, during 2018. In conclusion, the massive arrival of sargassum in 2018 was perceived to have negative effects on the nesting and hatching of sea turtles in Quintana Roo. The negative effects of sargassum, added to other natural and human impacts, can lead to an increased risk of extinction for the already threatened sea turtles of the region. The results of this study will provide important data for the management of sea turtles in Quintana Roo, Mexico.

Key words: *Sargassum*, sea turtles, *Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, nesting process.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Flora, Fauna y Cultura de México, A.C. y al Programa de Conservación de Tortugas Marinas Riviera Maya-Tulum por brindarme la estancia y el aprendizaje en el campamento tortuguero del Santuario de la Tortuga Marina X'cacel-X'cacelito. Agradezco a Roberto Herrera Pavón por brindar su apoyo en la recopilación de información y su conocimiento en tortugas marinas.

A la Doctora Andrea Margarita Olvera Ramírez y a la Doctora Itzel Zamora Vilchis por permitirme ser parte del Programa de Monitoreo de Megafauna Acuática del Caribe (PROMMAC) y por dirigirme para lograr desarrollar y concluir este estudio.

A mis amigos y familia por el constante apoyo, gracias por acompañarme a lo largo de mi formación para alcanzar mis metas y propósitos.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. ANTECEDENTES	11
2.1 TORTUGAS MARINAS	11
2.1. GENERALIDADES E IMPORTANCIA ECOLÓGICA DE LAS TORTUGAS MARINAS	11
2.1.1. TAXONOMÍA	12
2.1.2. CICLO DE VIDA	13
2.1.3.1. INCUBACIÓN	13
2.1.3.2. ECLOSIÓN Y EMERGENCIA DE CRÍAS	14
2.1.3.3. DISPERSIÓN DE CRÍAS Y FASE OCEÁNICA	15
2.1.3.4. CAMBIO DE COMPORTAMIENTO Y TRASLADO HACIA HÁBITATS NERÍTICOS...	16
2.1.3.5. MADURACIÓN SEXUAL	16
2.1.3.6. MIGRACIONES REPRODUCTIVAS	17
2.1.3.7. CÓPULA	17
2.1.3.8. PERIODO INTER-ANIDATORIO	18
2.1.3.9. ANIDACIÓN	18
2.1.4. ESPECIES ANIDANTES EN QUINTANA ROO	19
2.1.5. DISTRIBUCIÓN PARA LA ANIDACIÓN DE TORTUGAS MARINAS EN QUINTANA ROO	20
2.2. FACTORES QUE PONEN EN RIESGO A LAS TORTUGAS MARINAS	21
2.2.1. AMENAZAS AMBIENTALES	21
2.2.1.1. DEPREDACIÓN	22
2.2.1.2. AFECTACIONES CLIMATOLÓGICAS	22
2.2.1.3. ENFERMEDADES	23
2.2.1.3.1. HIPOTERMIA	23
2.2.1.3.2. ENFERMEDADES DEL TRACTO GASTROINTESTINAL	23
2.2.1.3.3. TRASTORNOS DE FLOTABILIDAD	23

2.2.1.3.4. FIBROPAPILOMATOSIS	23
2.2.1.3.5. INFECCIONES SECUNDARIAS	24
2.2.2. AMENAZAS ANTROPOGÉNICAS	24
2.3. SARGAZO	25
2.3.1. GENERALIDADES	25
2.3.2. TAXONOMÍA	26
2.3.3. DESCRIPCIÓN DEL SARGAZO	28
2.3.4. EL MAR DE LOS SARGAZOS	30
2.3.5. CORRIENTES DE SARGAZO	31
2.3.5.1. NUEVAS CORRIENTES DE SARGAZO	32
2.3.6. NUTRIENTES PARA EL ÓPTIMO CRECIMIENTO DE SARGAZO	33
2.4. EL SARGAZO COMO UN POSIBLE FACTOR DE AMENAZA PARA LAS ESPECIES DE TORTUGAS MARINAS	35
2.4.1. EN EL PROCESO DE ANIDACIÓN	36
2.4.2. EN LOS NIDOS	36
2.4.3. EN LA SOBREVIVENCIA DE CRÍAS	37
3. JUSTIFICACIÓN	37
4. HIPÓTESIS	38
5. OBJETIVOS	38
5.1. OBJETIVO GENERAL	38
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
6. METODOLOGÍA	38
6.1. ENCUESTAS	39
6.2. RECOPIACIÓN DE DATOS POR CAMPAMENTOS Y PLAYAS	39
6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	43
6.4. PRUEBA DE SIGNIFICANCIA DE X ² Y PRUEBA U DE MANN-WHITNEY	43
6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO GENERAL	44
6.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR MUNICIPIOS	44
6.7. ANÁLISIS RETROSPECTIVO DE ANIDACIONES TOTALES DE <i>CARETTA CARETTA</i> Y <i>CHELONIA MYDAS</i> ENTRE LOS AÑOS 2016 Y 2018	44
7. RESULTADOS	45
7.1. GENERACIÓN DE HIPÓTESIS SOBRE EL EFECTO DEL SARGAZO EN LA REPRODUCCIÓN DE TORTUGAS MARINAS	45

7.2. ANÁLISIS DE ENCUESTAS A EXPERTOS EN MONITOREO DE TORTUGAS MARINAS DE LA REGIÓN	47
7.2.1. ACUMULACIÓN A LO LARGO DE LAS PLAYAS.....	49
7.2.2. PROPORCIÓN DEL ÁREA DE ANIDACIÓN INVADIDA.....	50
7.2.3. EFECTOS DE LA UNIFORMIDAD EN LA ACUMULACIÓN DEL SARGAZO SOBRE EL ARRIBO Y ANIDACIÓN DE TORTUGAS MARINAS.....	52
7.2.4. EFECTOS DEL SARGAZO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ANIDACIÓN Y DESOVES DE TORTUGAS MARINAS	55
7.2.5. EFECTO DEL SARGAZO SOBRE EL NÚMERO DE ECLOSIONES.....	58
7.2.6. EFECTO SOBRE LAS CRÍAS QUE LLEGARON AL MAR.....	61
7.2.7. EFECTO DE LA LIMPIEZA DEL SARGAZO SOBRE LAS TORTUGAS MARINAS.....	64
7.2.8. RED ANTI-SARGAZO	67
7.3. ANÁLISIS DE ANIDACIONES TOTALES EN 2016 Y 2018	69
8. DISCUSIÓN.....	72
9. CONCLUSIONES	77
10. REFERENCIAS	78
11. APÉNDICE	87
APÉNDICE I. ENCUESTA.....	87
APÉNDICE II. ENCUESTA EN FORMULARIO DE GOOGLE.....	89
APÉNDICE III. REGISTRO HISTÓRICO DE ANIDACIONES DE TORTUGA MARINA. TOMADA DE FLORA, FAUNA Y CULTURA DE MÉXICO, (2018).....	95
APÉNDICE IV. UNA TORTUGA BEBÉ LUCHANDO EN LA ESTERA DE SARGAZO. FOTO TOMADA DE GAVIO <i>ET AL.</i>, (2018).....	95
APÉNDICE V. TORTUGAS ATRAPADAS EN RED ANTI-SARGAZO. AUTOR DESCONOCIDO.	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida generalizado (Tomada de Lanyon et al., 1989)	19
Figura 2. Características de las tres formas de sargazo pelágico en el Caribe. Imagen tomada de Schell et al., 2015.	29
Figura 3. corrientes que rodean el Mar de los Sargazos y la distribución de la maleza de sargazo. Tomada de Hatcher et al., 2013.	32
Figura 4. Localización geográfica del Mar de los Sargazos y de la Región Norte-ecuatorial de Recirculación (NERR). Tomada de DEAL, 2015.	33

Figura 5. Percepción de invasión con sargazo a lo largo en playas de Quintana Roo.....	49
Figura 6. Percepción del área invadida con sargazo a lo largo de la playa en los municipios de Quintana Roo.	50
Figura 7. Percepción de invasión con sargazo sobre el área de anidación en playas de Quintana Roo	51
Figura 8. Percepción de invasión con sargazo sobre el área de anidación en los municipios de Quintana Roo.	51
Figura 9. Percepción de la uniformidad en la acumulación de sargazo, y la respectiva afectación en el arribo de hembras en las playas de anidación.....	52
Figura 10. Percepción de la uniformidad de la acumulación de sargazo, por municipio.....	53
Figura 11. Percepción de la afectación de sargazo sobre el número de arribos de tortugas marinas, por municipio.....	54
Figura 12. Opiniones sobre la afectación de sargazo en el proceso de anidación.....	54
Figura 13. Percepción sobre el efecto de sargazo sobre la distribución de la anidación de tortugas.....	55
Figura 14. Percepción del efecto de la acumulación de sargazo sobre el número de nidos.	55
Figura 15. Percepción de la afectación en el número de nidos de tortugas marinas, por municipio.....	56
Figura 16. Proporción percibida en la disminución del número de nidos de tortugas marinas, por municipio.....	57
Figura 17. Opiniones sobre la afectación de sargazo en la distribución de la anidación de tortugas marinas.....	57
Figura 18. Percepción del efecto de la acumulación de sargazo sobre el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas.....	58
Figura 19. Percepción del efecto de la acumulación de sargazo sobre el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas por municipio.	59
Figura 20. Percepción de la proporción de disminución de número de eclosiones de huevos de tortugas marinas, por municipio.	60
Figura 21. Opinión sobre la afectación de sargazo en el número de eclosiones.....	60
Figura 22. Percepción del efecto de la acumulación de sargazo en playas sobre el número de crías que lograron su llegada al mar y su disminución.	61
Figura 23. Percepción del efecto del sargazo sobre la llegada al mar de crías de tortugas marinas.	62

Figura 24. Percepción de la proporción de la disminución del número de crías de tortugas marinas en su llegada al mar por municipio.	63
Figura 25. Percepción del hallazgo de mortandad de crías de tortugas marinas, por municipio.	63
Figura 26. Limpieza de sargazo y percepción de afectación por la limpieza en las playas de anidación.	64
Figura 27. Limpieza de sargazo en las playas, por municipio.	65
Figura 28. Percepción del posible efecto de la limpieza en las playas de Quintana Roo.....	65
Figura 29. Opiniones sobre las posibles formas de afectación por la limpieza de sargazo. .	66
Figura 30. Familiarización de los tortugeros con la red anti-sargazo.	67
Figura 31. Opinión del posible impacto de la red anti-sargazo en las tortugas marinas.	68
Figura 32. Comentarios libres sobre el sargazo y las tortugas marinas en Quintana Roo.	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hipótesis sobre efectos del sargazo en la conducta durante el proceso de anidación de tortugas marinas.....	45
Tabla 2. Campamentos, playas de monitoreo y municipios correspondientes.	47
Tabla 3. Comparación entre respuestas de monitores con 1 año de experiencia y monitores con 3 o más años de experiencia. Se muestran valores de χ^2 y p respecto a las variables de mayor importancia en el estudio.	48
Tabla 4. Comparación del total de anidaciones entre las temporadas del 2016 y 2018 de <i>Caretta caretta</i>	70
Tabla 5. Comparación del total de anidaciones entre las temporadas del 2016 y 2018 de <i>Chelonia mydas</i>	71

1. INTRODUCCIÓN

El sargazo pelágico, un alga café del género *Sargassum* sustenta un ecosistema diverso en el océano abierto, en el que habitan especies como tortugas marinas, peces, invertebrados y aves, también funciona como sitios de reproducción y crianza para muchos organismos, algunos de importancia comercial (Pendleton *et al.*, 2014). Sin embargo, su varamiento masivo en zonas de anidación podría no ser benéfico para muchos organismos, entre ellos las tortugas marinas.

Las playas del estado de Quintana Roo son importantes hábitats para la anidación de las tortugas marinas, muchas de estas playas se han visto afectadas con la llegada de sargazo fresco a la costa, por lo que su acumulación y descomposición podría ser un obstáculo para las tortugas anidantes en su arribo y desove, en la arena alterando los parámetros fisicoquímicos durante la incubación, y posteriormente podría ser un obstáculo dentro del mar para las crías que emergen de los nidos, poniendo en riesgo las poblaciones de tortugas marinas.

Este estudio tuvo la finalidad de evaluar la percepción de monitores y coordinadores de campamentos tortugueros en Quintana Roo, para estimar el efecto del sargazo sobre las distintas etapas en el proceso de anidación de las tortugas caguama (*Caretta caretta*) y blanca (*Chelonia mydas*), desde su arribo y desove hasta la emergencia y llegada de crías al mar. Así como un estudio retrospectivo con el fin de analizar la problemática actual de la presencia de sargazo en Quintana Roo respecto a la anidación de tortugas marinas, para tener bases para futuras investigaciones del efecto de acumulación de sargazo en el Caribe mexicano y encontrar soluciones para minorizar los efectos adversos, manteniendo así la conservación de las tortugas marinas.

2. ANTECEDENTES

2.1 TORTUGAS MARINAS

2.1. Generalidades e importancia ecológica de las tortugas marinas

Las tortugas marinas habitan la Tierra desde hace más de 100 millones de años y evolucionaron a partir de tortugas de agua dulce. Sin embargo, se distinguen de ellas por contar con aletas que unen sus dedos en vez de patas, para su adaptación a una vida principalmente en el mar; además, las tortugas marinas también perdieron la capacidad de retraer las extremidades (cabeza, aletas y cola) dentro de la concha (Secretaría CIT, 2004).

2.1.1. Taxonomía

NOMBRE COMÚN: Tortuga marina

REINO: Animalia

FILO: Chordata

CLASE: Reptilia

ORDEN: Testudines

FAMILIA:

Cheloniidae

Caretta caretta (Caguama, boba, cabezona)

Chelonia mydas (Blanca, verde)

Eretmochelys imbricata (Carey)

Lepidochelys kempii (Lora, cotorra, bastarda)

Lepidochelys olivácea (Golfina)

Natator depressus (Tortuga plana)

Dermochelyidae

Dermochelys coriácea (Laúd, tinglar, baula)

2.1.2. Ciclo de vida

Las tortugas marinas tienen un ciclo de vida que se caracteriza por ser largo y difícil desde el momento en que las crías abandonan el nido pues cada etapa está llena de retos lo cual complica su sobrevivencia. Su ciclo tiene diferencias entre especies, pero todas constan de una maduración tardía, desplazamientos entre distintos hábitats, los cuales son fundamentales para su desarrollo tanto terrestres, mar abierto, costas y arrecifes (Secretaría CIT, 2006; Abreu, 2016).

Por lo que realizan extensos recorridos siendo acarreadas por las corrientes oceánicas.

Su ciclo de vida consta de nueve etapas y cada etapa se describe a continuación (Abreu, 2016):

2.1.3.1. Incubación

El inicio de la vida independiente de las tortugas marinas comienza cuando las hembras nadan hasta las playas de anidación, se arrastran y suben a la playa para desovar. Las hembras cavan un nido de aproximadamente un metro de profundidad, y ponen los huevos dentro de nidos construidos en la arena, arriba de la línea de marea alta (Chaudhari *et al.*, 2009).

La producción de huevos representa un gran gasto energético de la madre con diferencias entre el número de huevos desovados de acuerdo con la condición nutricional de las distintas hembras, incluso de una misma colonia anidadora, ocasionando variaciones en la cantidad de huevos y en el contenido energético del vitelo (saco endodérmico que provee alimento al embrión en desarrollo). La hembra, según su especie selecciona un sitio para la puesta, ya que algunas especies prefieren anidar en la duna y otras más cercanas a la berma (Abreu, 2016).

Dependiendo de la especie, en una sola nidada, pueden depositarse de 50-140 huevos. Las especies más pequeñas (*Lepidochelys olivacea*) tienden a poner el menor número de huevos (70-100); en cambio, la tortuga Carey es la especie que pone un mayor número de huevos, hasta 200 huevos, aunque típicamente alrededor de 140 (Hirth, 1997). La madre abandona la playa una vez depositados los huevos y habiendo tapado el nido, el cual queda sin vigilancia siendo el camuflaje la única protección que la madre logra cubriéndolo de arena. Las condiciones ambientales dentro del nido determinan la duración de la incubación y si es o no exitosa (Ackerman, 1997).

La incubación de los huevos es viable sólo si hay suficiente humedad y la temperatura se encuentra entre los 24-25°C y 34-35°C (Abreu, 2016), Cuando la arena está fresca (25°C) y el nido está en la sombra o existen periodos prolongados de lluvias, la incubación puede tomar desde 65 a 70 días; de lo contrario si el nido está en una parte soleada de la playa y la lluvia es mínima, la temperatura de los huevos puede elevarse hasta 35°C, eclosionando en tan solo 45 días (Spotila, 2004).

Dependiendo de la especie y de la temperatura del nido, la incubación tiene un período de 45-60 días hasta su eclosión. En las tortugas marinas el sexo es definido por la temperatura de incubación, en donde el segundo tercio es llamado “período termosensible” (PTS), pues determina el sexo de los embriones. De acuerdo con Mrosovsky (1994) y Ackerman (1997) cuando se obtiene una proporción del 50% de cada sexo, se le conoce como “temperatura pivote” o de “umbral”, generalmente fluctúa alrededor de 29°C. Si los valores del PTS están por arriba de este umbral generarán una proporción cada vez mayor de hembras y machos si está por debajo (Abreu, 2016).

2.1.3.2. Eclosión y emergencia de crías

Al concluir el periodo de desarrollo, los embriones eclosionan usando un dentículo o “carúncula” que tienen en la punta del pico, y existe un tipo de señal que tiende a sincronizar este evento entre los huevos del nido (Abreu, 2016). Las crías resultantes comienzan a hacer trabajo en equipo para lograr subir a la superficie tomándoles unos días para llegar, una vez que un gran grupo de crías ha emergido de sus huevos, el grupo comienza lo que se llama “frenesí de crías”, deslizándose, trepando y chocando entre sí (Spotila, 2004). Esto les permite evadir predadores diurnos, evitar las máximas temperaturas del día que provocan insolación, deshidratación y muerte. Inmediatamente se dirigen hacia el mar orientadas por diferentes señales como el sonido de las olas, la pendiente de la playa y el brillo sobre el mar (Abreu, 2016; Spotila, 2004). El éxito de la eclosión siempre varía entre nidadas y entre playas por varios factores externos (la temperatura de incubación, la intensidad y periodicidad de lluvias, ocasionales marejadas, etc.), factores intrínsecos (condición de la madre, herencia parental, calidad del vitelo, etc.), e intervención humana (dejar las anidaciones en su sitio natural, transferir a sitios para incubación protegida o incluso bajo condiciones de manejo artificial de temperaturas) (Abreu, 2016). Se cree que, en el transcurso de la emergencia del nido y su desplazamiento hacia el mar, las crías procesan un conjunto de observaciones que se imprimen en su memoria (“impronta”), esto les permite construir un mapa magnético innato con el cual recordarán su sitio de nacimiento, información sobre las características fisicoquímicas para guiarse de regreso una vez alcanzada la edad de primera reproducción. Los procesos y variables ambientales que influyen este proceso aún no están completamente descritos, pero implican una capacidad para identificar información geomagnética (Brothers *et al.*, 2015).

2.1.3.3. Dispersión de crías y fase oceánica

Las crías nadan en contra del oleaje, debido a que pueden detectar los movimientos ondulatorios de las olas para orientarse tanto en la superficie como bajo el agua y alejarse de la playa aún durante la noche. Posteriormente continúan nadando durante varios días, al menos hasta agotar su vitelo, con una orientación que eligen cuando dejan el nido, pero también en el mar siguen la luz, ondas del mar y el campo magnético de la Tierra (Lohmann *et al.*, 2013). Al llegar a zonas de convergencia oceánica, se vuelven parte de la comunidad pelágica del mar profundo durante varios años y son dispersadas ampliamente por las corrientes oceánicas. Al alcanzar la zona oceánica se inicia la fase juvenil en el ciclo de vida que puede dividirse en dos partes: oceánica y costera, utilizando dos tipos de hábitat. En la primera se consideran “hábitats de crianza” y en la segunda “hábitats de desarrollo” (Abreu, 2016).

En la fase de crianza los individuos son dispersados en los giros oceánicos del mar profundo que ocurre en zonas muy remotas, por esto es la menos conocida y es llamada “el año perdido”, esta fase dura hasta 10 o más años, dependiendo de la especie y las regiones donde se desplazan las poblaciones (Musick *et al.*, 1997). Dentro de los giros, tienen la capacidad de orientarse usando dos componentes del campo magnético de la Tierra: la inclinación y la intensidad del campo, lo que les permite aproximar su ubicación global (Lohmann *et al.*, 2013). Putman *et al.* (2015) demostraron que, a pesar de tener limitaciones al nadar contra las corrientes, los individuos no son completamente acarreados; ya que tienen la capacidad de moverse dentro de las corrientes hacia zonas con ventajas de temperatura o resguardo que favorecen su crecimiento, alimentación y supervivencia. Las mismas corrientes facilitan su arribo en zonas de afloramiento y fuentes oceánicas de convergencia con altas tasas de productividad aprovechando las masas flotantes en el mar como el sargazo, y las comunidades tróficas asociadas que sirven como refugio y fuente de alimentos (Musick *et al.*, 1997). El tipo de alimento en los ecosistemas flotantes es amplio y diverso, aunque también ingieren algunas plantas, los juveniles pelágicos son esencialmente carnívoros (Bjorndal, 1997). Los juveniles son trasladados decenas de miles de kilómetros, incluso atravesando aguas territoriales de varios países. Poco se conoce sobre la supervivencia en esta fase, pero debe ser relativamente baja según los modelos desarrollados de Heppell *et al.* (1998).

2.1.3.4. Cambio de comportamiento y traslado hacia hábitats neríticos

En algunas especies (como la golfinia y la laúd) los individuos se mantienen en zonas oceánicas durante su desarrollo (excepto cuando las hembras anidan), mientras que en otras (como la tortuga carey, lora, verde y caguama) ocurren cambios en sus requerimientos alimenticios que las impulsa a cambiar de hábitat (cambios “ontogenéticos”) y trasladarse, recorriendo largas distancias de cientos a miles de kilómetros en la dirección general de sus sitios de origen, buscando zonas costeras (neríticas), aptas para la fase de crecimiento en la cual se alimentan generalmente en el fondo.

Los tamaños de los individuos (longitud del carapacho) se usan como una aproximación relativa para determinar la edad en las tortugas marinas. Los factores ambientales pueden influir en el tamaño de los individuos durante la transición ontogénica, la cual varía entre especies y poblaciones, por ejemplo, el tamaño de los juveniles de caguama cuando ingresan en ambientes costeros en el Atlántico occidental es de 25-30 cm. mientras que en Australia tienen un tamaño de 70 cm. En especies como la carey y lora la transición ocurre con tallas más pequeñas (Abreu, 2016).

Cada especie tiene diferentes requerimientos alimenticios por lo que hay una variación de hábitats entre especies, por ejemplo, la tortuga verde aprovecha algas y pastos marinos por lo que prefiere aguas tranquilas y con abundancia de vegetación de fondo, en cambio la caguama es omnívora pero principalmente consume moluscos, crustáceos y otros invertebrados, así como peces y plantas en el fondo (Hopkins-Murphy *et al.*, 2003).

Las tortugas en esta fase establecen áreas de residencia conocidas como “home ranges”, las cuales están asociadas a las características estructurales de los ambientes como corales que les ofrecen resguardo de sus depredadores. Algunos individuos presentan permanencia de varios años dentro de perímetros de unos pocos kilómetros, mientras transcurre su proceso de maduración. La mayoría de las especies en su traslado hacia una vida nerítica, utilizan una serie de ambientes diferentes o “hábitats de desarrollo”, cambiándose secuencialmente entre ellos hasta alcanzar la adultez (Musick y Limpus, 1997).

2.1.3.5. Maduración sexual

El desarrollo desde cría hasta la madurez sexual tarda varias décadas (20-40 años) por lo que todas las especies de tortugas marinas manifiestan una “maduración tardía”. En esta fase, se trasladan a través de varios hábitats intermedios de desarrollo, y en las especies que utilizan hábitats neríticos para su alimentación, probablemente se improntan sobre el último sitio de desarrollo al cual

regresarán en subsecuentes migraciones reproductivas (Broderick *et al.*, 2007), esto aplica tanto a las hembras como a los machos (Schofield *et al.*, 2010).

2.1.3.6. Migraciones reproductivas

Los adultos inician ciclos de migraciones entre sus sitios de alimentación y los de reproducción con distancias de hasta miles de kilómetros entre uno y otro. Comúnmente las áreas de reproducción se localizan cerca del sitio de nacimiento de los adultos o en zonas vecinas. El fenómeno de regresar a reproducirse en la región de donde se originó el individuo es conocido como “filopatría” (Huntington, 1951). De acuerdo con los estudios de genética de FitzSimmons *et al.* (1997) demostraron que no solo las hembras son filopátricas sino también los machos, de esta manera ambos sexos durante épocas previas a la temporada de anidación convergen para copular en zonas cercanas a las playas de anidación. La periodicidad de las migraciones para fines reproductivos varía entre los sexos. Las hembras tienen que cubrir un gasto energético, el cual incluye el complemento de óvulos y el gasto de su migración, la frecuencia de las migraciones en hembras es de 1 a 5 años dependiendo de la especie, edad promedio de los individuos y la calidad y cantidad de alimento disponible. En cambio, los machos pueden participar periódicamente en la reproducción o incluso permanecer cerca de los sitios de cópula sin migrar como las hembras (Shaver *et al.*, 2005), así perdura su ciclo de vida durante la etapa reproductiva.

2.1.3.7. Cópula

Las parejas partícipes pertenecen al mismo stock en los sitios de cópula, para mantener la identidad genética de la población siguiendo su instinto filopátrico (Dodd, 1988). En algunas poblaciones los machos arriban primero. En muchas poblaciones las hembras copulan con más de un macho (Spotila, 2004), logrando que para una porción de los nidos haya distintos padres de las crías producidas en cada uno (“paternidad múltiple”) (Abreu, 2016).

A pesar de que los machos también son filopátricos (Dizon *et al.*, 1982; Limpus, 1993), en ocasiones machos de *stocks* ajenos copulan con hembras en rutas migratorias comunes, y contribuyen de esta manera a un ocasional intercambio genético entre *stocks* (Karl *et al.*, 1992). Al terminar la época de cópula, las hembras continúan el proceso reproductivo mientras que los machos regresan a sus sitios de alimentación o permanecen en las cercanías (Abreu, 2016).

2.1.3.8. Periodo inter-anidatorio

Las hembras realizan una o más anidaciones para depositar la cantidad de huevos fertilizados característicos de cada especie (Hirth, 1980; Van Buskirk *et al.*, 1994). Las tortugas regresan a zonas de resguardo y reposo, sin alimentarse, pueden repetir este proceso entre 1 y 5 veces durante una misma temporada de anidación, en la misma playa (Abreu, 2016). El periodo inter-anidatorio varía entre especies, para *C. mydas* son desde 10 a 14 días (Carr, 1957; Pritchard, 1969) y para *C. caretta* desde 12 a 16 días (Hughes, 1967; Caldwell, 1962).

2.1.3.9. Anidación

Debido a vestigios de los orígenes ancestrales en el medio terrestre de estas especies, las hembras deben salir del mar para depositar e incubar sus huevos (Kenneth, 1993) en nidos que excavan en playas arenosas de litorales tropicales y sub-tropicales. Los meses del año con la mayor abundancia de eventos de anidación varían según la especie, la mayoría sucede en los meses de verano (Abreu, 2016).

Aunque aún se desconoce la razón de anidar en ciertas zonas que ellas seleccionan, su comportamiento indica que se guían por lo arenosa que pueda ser la zona, la temperatura y quizá alguna percepción de sustancias químicas (olores) del sitio escogido (Hendrickson, 1982; Mortimer, 1982). La anidación se lleva mayormente durante la noche, existen raros casos en donde se les ha encontrado anidando durante el amanecer (Spotila *et al.*, 1985).

Para la construcción del nido, las tortugas cavan un agujero de profundidad definida por la dimensión de las aletas traseras que usan para la excavación, la sequedad de la arena superficial, y el tamaño de la tortuga, las especies de gran tamaño cavan agujeros más profundos que aquellas especies de talla pequeña (Miller, 1997) la ubicación del nido a lo ancho de la playa difiere entre especies, algunas especies prefieren la zona de berma y otras hacen recorridos más largos como la tortuga verde que incluso hace más de un intento de cavar los nidos en lugares libres de vegetación (Abreu, 2016).

Zona(s) costera(s) de alimentación bentónica de aguas poco profundas

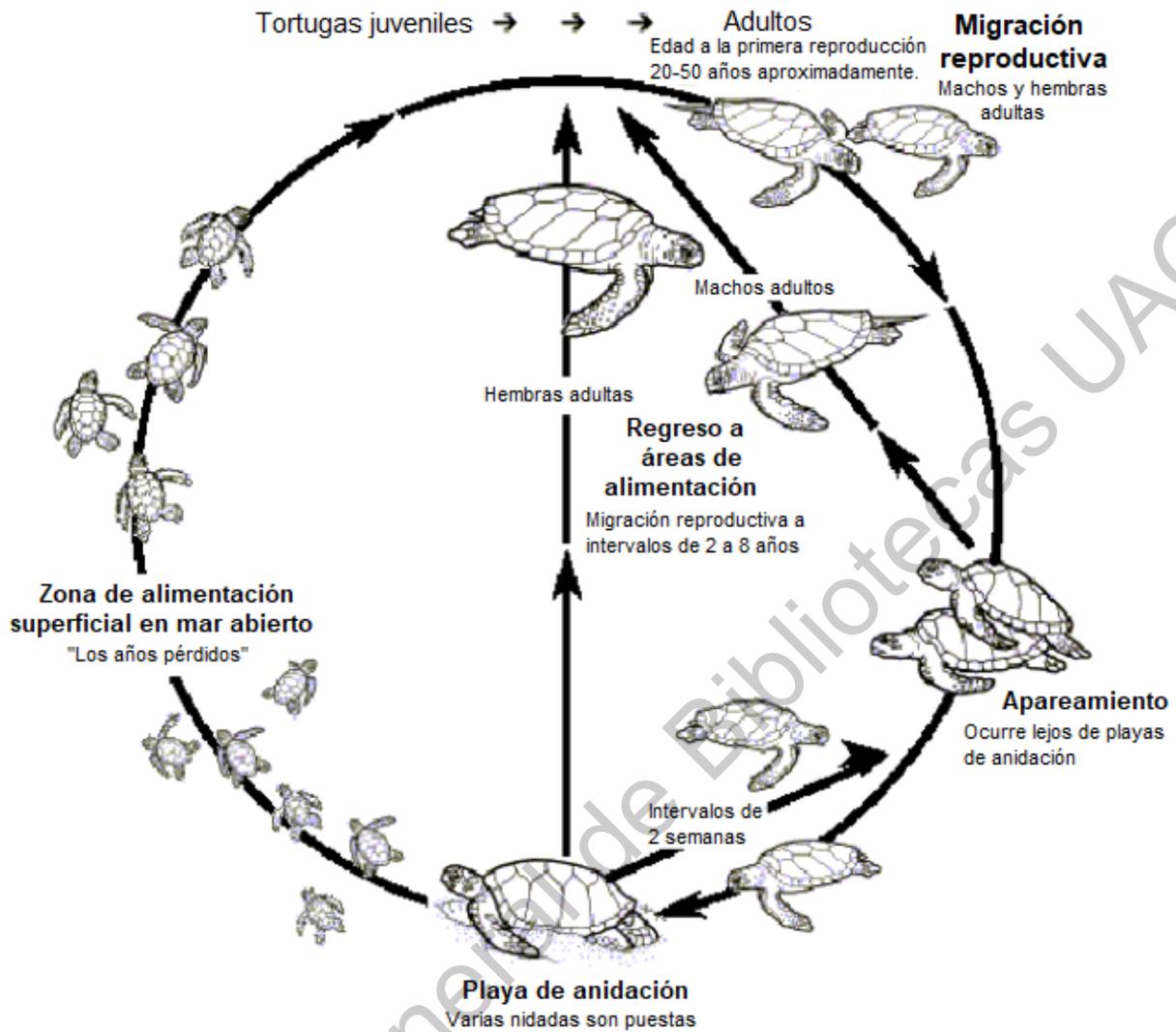


Figura 1. Ciclo de vida generalizado (Tomada de Lanyon *et al.*, 1989)

2.1.4. Especies anidantes en Quintana Roo

Los datos de distribución y rango indican que de las seis especies de tortugas marinas que habitan en el mundo, las cuales son: *Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Dermochelys coriácea*, *Eretmochelys imbricata*, *Lepidochelys kempii*, y *Lepidochelys olivácea*. México alberga a cinco (*C. caretta*, *C. mydas*, *D. coriácea*, *E. imbricata*, *L. kempii*), de las cuales cuatro anidan en Quintana Roo (*C. caretta*, *C. mydas*, *D. coriácea*, *E. imbricata*) ya que buscan playas arenosas para anidar y requieren arrecifes de coral saludables, pastos marinos y hábitats de fondo duro para alimentarse y refugiarse (Dow *et al.*, 2011).

2.1.5. Distribución para la anidación de tortugas marinas en Quintana Roo
Cada etapa implica un hábitat distinto en el ciclo de vida de las tortugas, es importante cada uno de estos hábitats, su ciclo de vida depende de la preservación de estos ambientes. Las hembras utilizan mayormente playas arenosas de zonas tropicales y subtropicales para anidar (Márquez, 1996; Pritchard *et al.*, 1999).

El éxito de anidación de las tortugas está definido por las características morfológicas y oceanográficas de las playas. Las playas abiertas, continentales, aisladas, con poca pendiente, de mediana energía y generalmente limitadas en el flanco terrestre por esteros o marismas, atraen en su mayoría a tortugas *Lepidochelys*. En el extremo opuesto, playas abiertas, generalmente continentales de alta energía, con pendientes pronunciadas y libres de barreras en su porción marítima, son las más visitadas por *Dermochelys*, (Abreu, 2016). De este modo si una playa de anidación es destruida o queda obstaculizada por infraestructura en el frente de playa, las hembras se ven obligadas a buscar sitios alternos en las cercanías que seguramente serán de menor calidad lo que podría alterar las condiciones para la incubación de los huevos, disminuyendo el número de eclosiones, y a su vez sin completar con éxito el ciclo reproductivo. Si existen construcciones permanentes, las playas quedarán inhabilitadas para la anidación. Por esta razón, para garantizar la permanencia de playas de anidación, la infraestructura de asentamientos en la franja costera debe respetar un espacio suficiente (varias decenas de metros) desde la línea de marea alta para que la playa se desplace de manera natural en un contexto de cambio global (Abreu, 2016).

Un claro ejemplo es la tortuga verde, ya que es una especie con presencia en un gran número de países. Quintana Roo tiene 200 km de playas de las cuales en el 65% se protege la anidación de la especie (Delgado, 2016). Estas playas de anidación mantienen las condiciones ideales para realizar parte importante de su ciclo de vida, ya sea en playas de anidación o bien en zonas cercanas a la costa donde encuentra refugio y alimento.

También la tortuga caguama es una de las especies de mayor importancia en el Atlántico Occidental (Koch *et al.*, 2016), y la mayor abundancia se encuentra en el Estado de Quintana Roo. De los 900 kilómetros de costa que tiene este estado, aproximadamente 200 km son playas de anidación en donde se registran en promedio 1,300 nidos por temporada, con una media de 41.18 nidos por playa y densidad de 20 nidos por kilómetro. Las playas de mayor actividad de anidación para esta especie en el estado son: Xcacel, Aventuras DIF, Chemuyil, Xel-Há, Kanzul e Isla Cozumel (Zurita, 2009).

2.2. Factores que ponen en riesgo a las tortugas marinas

Las poblaciones de las distintas especies de tortugas marinas se han visto reducidas drásticamente con el paso de los años, poniéndolas en peligro de extinción. Esto es debido a amenazas ambientales, y principalmente por amenazas antropogénicas (Secretaría CIT, 2006).

Estos son los estados de conservación de las especies de tortugas marinas de acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2019):

Caretta caretta- Vulnerable.

Chelonia mydas- En peligro de extinción.

Eretmochelys imbricata- En peligro crítico de extinción.

Lepidochelys kempii- En peligro crítico de extinción.

Lepidochelys olivácea- Vulnerable.

Natator depressus- No hay datos suficientes.

Dermochelys coriácea- En peligro crítico de extinción.

2.2.1. Amenazas ambientales

Las tortugas marinas han tenido que adaptarse a cambios en el medio, muchos de estos no han sido favorables para su supervivencia, y aunque son cambios ambientales, se sabe que la mayoría de ellos se deben a las acciones antropogénicas (CIT Secretaría, 2006).

Una de esas adaptaciones de las tortugas marinas es la estrategia reproductiva llamada iteroparidad (múltiples ciclos reproductivos), ante la ocurrencia esporádica de las típicas tormentas tropicales que destruyen las anidaciones de playas completas, que les permite asegurar la supervivencia de por lo menos algunas de sus puestas (Abreu, 2016).

Las tortugas verdes que anidan en el Golfo de México y Caribe Mexicano se enfrentan a las amenazas comunes que presentan las tortugas marinas de forma natural como la depredación por animales silvestres, afectaciones climatológicas y enfermedades.

2.2.1.1. Depredación

Dentro del nido, los huevos y las crías enfrentan muchos depredadores desde hormigas, cangrejos, mapaches y jaguares, estos últimos representan también una amenaza de depredación hacia las hembras anidando. Después de salir del nido, las crías se enfrentan a la depredación de cangrejos, pájaros y dentro del mar tiburones (CIT Secretaría, 2006). En Quintana Roo, algunas zonas como Isla Holbox, la depredación de nidadas y crías por poblaciones silvestres como los mapaches se han convertido en nocivas. Lo cual es de gran preocupación por el impacto que puede tener sobre el nivel de reclutamiento de individuos en la población de esta especie (Cuevas, 2016).

2.2.1.2. Afectaciones climatológicas

Uno de los problemas más desafiantes que enfrenta el manejo de la conservación de las tortugas marinas es el efecto a largo plazo del aumento del nivel del mar como parte del efecto invernadero (Miller, 1997). Dadas las características reproductivas de las tortugas marinas (particularmente en la fidelidad a las playas natales para la anidación, la determinación del sexo dependiente de la temperatura, que les toma décadas para alcanzar la madurez sexual, y su larga vida reproductiva) se ha especulado sobre el impacto del calentamiento global en las tortugas marinas (Mrosovsky *et al.*, 1984; Davenport, 1989). El aumento previsto de las temperaturas atmosféricas dará como resultado un aumento de la temperatura de la arena, lo que a su vez afectará la proporción de sexos de las crías y se producirán más hembras (Miller, 1997). Junto con el aumento del nivel del mar, un aumento de las tormentas (frecuencia e intensidad) que reducirán el tamaño de las islas, alterarán la forma de las playas y las partículas de la arena (Milton *et al.*, 1994) que afecta el ambiente físico de los nidos, cambiando la difusión de gas y las condiciones hídricas (Packard *et al.*, 1988). El aumento de la temperatura también puede alterar las corrientes oceánicas (IPCC, 2007), si esto sucede en una corriente que favorece la dispersión de las crías desde el sitio de anidación, la sobrevivencia de crías podría disminuir (Miller, 1997).

Dada la importancia que tiene la oscilación del sur (Australia), un patrón de fluctuaciones de la presión atmosférica, temperatura y precipitación que impactan en la variabilidad del clima del Pacífico tropical, sobre la fluctuación reproductiva de la tortuga verde que ocurre dos años después de las fluctuaciones importantes en la Oscilación del Sur; el impacto de ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) sobre el número de tortugas verdes anidantes (Limpus *et al.*, 1988) podría disminuir la frecuencia de su anidación (Miller, 1997).

La necesidad de áreas de alimentación no contaminadas para reunir la energía necesaria para su crecimiento y reproducción debe respetarse. Debe garantizarse su necesidad de áreas de anidación sin gravámenes, en las que puedan poner sus huevos (Miller, 1997).

2.2.1.3. Enfermedades

Las tortugas marinas son afectadas por varias enfermedades, algunos de estos problemas de salud son procesos naturales y se observan tanto en tortugas de vida libre como en cautiverio. Debido a condiciones secundarias, ciertas deficiencias nutricionales, son esencialmente el resultado de un cautiverio prolongado en los centros de rehabilitación de vida silvestre (George, 1997). Entre las afectaciones más importantes se encuentran las siguientes:

2.2.1.3.1. Hipotermia

La hipotermia en las tortugas marinas ocurre cuando la temperatura del agua baja repentinamente por debajo de los 10°C. Las tortugas pierden su capacidad de nadar y bucear, a menudo flotan hacia la superficie. Las complicaciones secundarias son comunes, pero pueden no ser evidentes durante varias semanas (Norton, 2005).

2.2.1.3.2. Enfermedades del tracto gastrointestinal.

La estasis gastrointestinal es un hallazgo común en las tortugas marinas enfermas. El íleo se precipita por deshidratación, cuerpos extraños, enfermedades sistémicas, gastroenterocolitis y desnutrición (Norton, 2011).

2.2.1.3.3. Trastornos de flotabilidad

Cualquier condición que conduzca a la acumulación de gas o aire en el tracto intestinal, la cavidad celómica o la enfermedad pulmonar puede causar una flotabilidad anormal (Norton, 2011).

2.2.1.3.4. Fibropapilomatosis

La fibropapilomatosis (FP), causada por un herpesvirus, es la enfermedad infecciosa más importante que afecta a las poblaciones de tortugas marinas en todo el mundo (Norton, 2011, Balazs 1991, Jacobson, 1991, Adnyana, *et al.*, 1997). La prevalencia reportada de fibropapilomatosis en las poblaciones de tortugas marinas en Hawai es de 92% (Balazs, 1991).

2.2.1.3.5. Infecciones secundarias

Los casos de varamientos de tortugas reportadas han sido ocasionados principalmente por lesiones cutáneas ulcerativas de la piel asociadas con infecciones por *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio alginolyticus* y *Staphylococcus spp.* Las cuales causan muerte por septicemia (Orós *et al.*, 2005).

Es común encontrar mortandad por problemas respiratorios con edema pulmonar, neumonía granulomatosa y bronconeumonía exudativa, asociados a *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus spp.*, *Burkholderia cepacia*, *Citrobacter sp.*, *Pasteurella spp.*, *Proteus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Streptococcus spp.*, y *Vibrio alginolyticus* (Orós *et al.*, 2005).

2.2.2. Amenazas antropogénicas

La razón y amenaza principal para las poblaciones de todas las especies de tortugas marinas, sin duda alguna es a causa del humano, ya sea de forma directa o indirecta por los daños que ha generado a su paso. Algunas de las causas directas son la captura de tortugas y el saqueo de sus huevos con fines comerciales y de subsistencia en algunas zonas costeras. Según la CIT Secretaría (2006) hace algunos años la carne de la tortuga verde, los escudos de la tortuga carey y el cuero de la lora, entre otros, representaban rubros de exportación para muchas naciones. A pesar de que el comercio de estas especies está prohibido pues las tortugas marinas se incluyen en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES), a nivel local se sigue reportando la venta ilegal y el saqueo de los nidos, debido a que se fabrican artículos de sus caparazones incluyendo anteojos, peines, y artículos de bisutería, entre otros. Muchos de estos individuos cazados son juveniles sin haber llegado a la etapa reproductiva aún. Esta comercialización de artículos parece estar presente en muchos países y son vendidos en su mayoría a turistas (Secretaría CIT, 2006).

Una de las causas indirectas es la alteración y pérdida del hábitat. La infraestructura desarrollada en zonas costeras utilizadas por las tortugas marinas para su desove prácticamente es incompatible con esta crucial etapa de su ciclo de vida. Construcciones y estructuras en las playas o en las cercanías, como rompeolas, relleno o extracción de arena y la eliminación de la vegetación natural de las dunas, promueve significativamente la erosión y afecta directamente las condiciones del hábitat necesario para las tortugas marinas (CIT Secretaría, 2006; Taylor, 2010). En algunos casos, las construcciones altas o la destrucción de la vegetación litoral producen una variación en la temperatura de la arena, causando un sesgo en el sexo de las crías o una disminución en la eclosión de huevos (Milton, *et al.*, 1994; Miller, 1997).

Un problema muy importante es la iluminación artificial utilizada en los desarrollos urbanos, las hembras tendrán dificultades para desovar, aunque probablemente regresarán al mar para intentar desovar más tarde o en los días siguientes, no son las condiciones ideales para anidar (CIT Secretaría, 2006). Las crías desorientadas por la luz se agotan y se convierten en presas fáciles de depredadores silvestres y animales domésticos (Salmon, 2003). Otra causa importante directa e indirecta al mismo tiempo es el turismo, la simple presencia de los humanos en las playas de anidación puede ser un factor de estrés para las tortugas impidiéndoles anidar y obligándolas a regresar al mar (Landry *et al.*, 2010).

En cuanto a contaminación y desechos se trata, el manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas ocasiona escorrentía de productos químicos y fertilizantes, vertidos domésticos e industriales que impactan negativamente a las poblaciones de tortugas marinas.

Por otro lado el cambio climático puede afectar a las tortugas marinas, ya que, puede ocasionar cambios en la temperatura de la arena, perturbación en el número de nidadas por un aumento en la tasa de erosión de las playas, incremento del nivel medio del mar, mortandad de nidadas por incremento de la temperatura ambiental, cambios de regímenes reproductivos y en tendencias anidatorias en las hembras, entre otros (CIT Secretaría, 2006; Del Monte *et al.*, 2012; Fuentes *et al.*, 2013); los pastos marinos y los arrecifes coralinos que se encuentran en aguas someras de la plataforma continental, están expuestos a los sedimentos y los contaminantes, los cuales se posan sobre ellos ahogándoles y creando barreras para la penetración de la luz. Esto ocasiona la destrucción de los arrecifes de coral y los pastos marinos, que son hábitats importantes de alimentación (CIT Secretaría, 2006; Abreu, 2016). En algunos mamíferos marinos se ha observado que la bio-acumulación de metales pesados o plaguicidas está vinculada con la supresión inmunológica, exponiéndoles a enfermedades (Lutcavage, 1997). La misma preocupación es válida para el caso de las tortugas marinas. Estudios recientes indican que la fibropapilomatosis, puede estar ligada a la contaminación de las aguas costeras o incluso del mar abierto, áreas de alta densidad humana, desechos agrícolas y / o algas productoras de biotoxinas (Norton, 2005).

2.3. SARGAZO

2.3.1. Generalidades

El sargazo es un alga café dentro del género *Sargassum*, uno de los 7 géneros más complejos de algas marrones de la familia *Sargassaceae*, del orden *Fucales* y clase *Phaeophyceae*, representando el género más rico en especies de macrófitas marinas (Mattio and Payri 2011).

El género *Sargassum* tiene actualmente 577 especies distribuidas a través de las zonas cálidas-templadas y zonas tropicales del mundo. Sin embargo, las principales especies son: *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans*, que son consideradas completamente pelágicos (flotantes-libres).

2.3.2. Taxonomía

NOMBRE COMÚN: Sargazo

REINO: Chromista

FILO: Heterokontophyta

CLASE: Phaeophyceae

ORDEN: Fucales

FAMILIA: Sargassaceae

GÉNERO: *Sargassum*

Sargassum agardhianum

Sargassum albemarlense

Sargassum albermarlense

Sargassum bermudense

Sargassum biserrula

Sargassum brandegeei

Sargassum confusum

Sargassum cristaefolium

Sargassum cymosum

Sargassum echinocarpum

Sargassum elegans

Sargassum filicinum

Sargassum filipendula

Sargassum flavifolium

Sargazo Flotante III *Sargassum fluitans*

Sargassum fusiforme

Sargassum galapagense

Sargassum hemiphyllum

Sargazo Asiático *Sargassum horneri*

Sargassum howellii

Sargassum hystrix

Sargassum ilicifolium

Sargassum incisifolium

Sargassum johnsonii

Sargassum lacerifolium

Sargassum lendigerum

Sargassum liebmannii

Sargassum linearifolium

Sargazo Japonés *Sargassum muticum*

Sargazo Nadador I *Sargassum natans*

Sargassum obtusifolium

Sargassum odontocarpum

Sargassum oligocystum

Sargassum pacificum

Sargassum palmeri

Sargassum peronii

Sargassum piluliferum

Sargassum platycarpum

Sargassum polyceratium

Sargassum polycystum

Sargassum polyphyllum

Sargassum ringgoldianum

Sargassum scabridum

Sargassum setifolium

Sargazo de Nueva Zelanda *Sargassum sinclairii*

Sargassum sinicola

Sargassum templetonii

Sargassum thunbergii

Sargassum vulgare

Sargassum zacaе

2.3.3. Descripción del sargazo

El sargazo está formado por un disco basal, un eje principal y ramas bilaterales, el tallo está muy ramificado. Sus ramas laterales son largas, cilíndricas y enredadas, con hojas tipo espada, de ahí nacen los filoides o cuchillas y son grandes con márgenes dentados o serrados; tienen flotadores con numerosas vejigas de aire que permiten que los tallos floten. Hay pocos o ningún criptostoma en sus superficies (Taylor, 1960; Schneider *et al.*, 1991; Dawes *et al.*, 2008). Hay más *S. natans* que *S. fluitans* pero ambos son comunes (Hatcher *et al.*, 2013); su crecimiento ocurre en las puntas de las ramas, siendo más rápido en la primavera y el verano, (Hatcher *et al.*, 2013).

Ambas especies sólo crecen por medios vegetativos, que presumiblemente han evolucionado a partir de especies bentónicas (que habitan en el fondo del mar) con la consiguiente pérdida del medio de unión, de retención y reproducción sexual.



Características de las tres formas de sargazo pelágico en el Caribe (de izquierda a derecha: *S. natans* I Parr, *S. fluitans* III Parr, y *S. natans* VIII Parr) colectados en el evento de inundación del Caribe 2014/2015. (a) Frondas que muestran la disposición de tallo, cuchillas y vejigas. (b) Sección del tallo destacando la presencia / ausencia de espinas. Extracción de vejigas y cuchillas. (c) Vejigas que destacan la presencia / ausencia de espinas. El tallo de la vejiga se dirige hacia abajo en cada foto. (d) Error medio y estándar para longitud (mm), ancho (mm) y relación longitud / anchura de las cuchillas.

Figura 2. Características de las tres formas de sargazo pelágico en el Caribe. Imagen tomada de Schell *et al.*, 2015.

2.3.4. El Mar de los Sargazos

El sargazo pelágico es conocido por centrarse en el Mar de los Sargazos, limitado por un gigantesco sistema de corrientes oceánicas conocido como el Giro Subtropical del Atlántico Norte (Gower *et al.*, 2013; Hatcher *et al.*, 2013). En donde las corrientes predominantes de este giro crean un vórtice que acumula grandes cantidades de sargazo (Maurer *et al.*, 2015).

El sargazo se encuentra en grupos de menos de un metro de ancho, estos grupos pueden formar líneas paralelas alineadas en la dirección del viento, lo que genera remolinos que giran en sentido contrario y empujan la maleza hacia "hileras". Donde se encuentran cuerpos de agua de diferentes temperaturas y además se generan corrientes descendentes, el sargazo puede formar "balsas" de hasta 50 m de ancho, dando la apariencia de solidez y extensión (Hatcher *et al.*, 2013).

Aunque es difícil obtener datos precisos, se estima que hay entre 4 y 11 millones de toneladas de sargazo en el Mar de los Sargazos; a pesar de esto, es un ecosistema relativamente improductivo en general, los anillos de núcleo frío proporcionan un medio importante para llevar nutrientes al sistema. La baja productividad de sargazo, en comparación con la de las algas marinas unidas en la zona litoral, refleja el estado de escasez de nutrientes de las aguas superficiales en el Mar de los Sargazos (Siegel *et al.*, 1990; Michaels *et al.*, 1996; Lipschultz, 2001; Steinberg *et al.*, 2001, Hatcher *et al.*, 2013).

En el agua azul y excepcionalmente clara del Mar de los Sargazos, se puede detectar la luz en altas profundidades, junto con la alta intensidad de luz y la temperatura en la superficie, ofrecen un entorno ideal para una fotosíntesis rápida, si no fuera así habría una extrema limitación de nutrientes disponibles (Hatcher *et al.*, 2013).

Hay muchos habitantes en el mar de los Sargazos, desde invertebrados y peces endémicos, hasta especies migratorias como las tortugas marinas, la barracuda y el atún, de los cuales algunas especies de tortugas marinas visitan las hierbas de sargazo durante su fase pelágica que dura varios años antes de regresar a las playas de anidación. (Hatcher *et al.*, 2013; Freestone *et al.*, 2016).

En esta enorme masa de sargazo las principales fuentes de alimentos son el plancton, el sargazo y las epífitas que crecen en él (cianobacterias, algas rojas, diatomeas) y los detritos de la comunidad, que incluyen agregados orgánicos (proteínas y carbohidratos) cuya precipitación es ayudada por compuestos fenólicos exudados por el sargazo (Lomas *et al.*, 2011; Hatcher *et al.*, 2013).

2.3.5. Corrientes de sargazo

Debido a la naturaleza de la maleza flotante, el Mar de los Sargazos es una región cambiante, una mejor manera de definirlo es por las corrientes que lo unen y crean su entorno único. Estas corrientes son la corriente del golfo en el oeste, la deriva del Atlántico norte hacia el norte, las corrientes canarias hacia el este y la deriva ecuatorial del norte hacia el sur. Juntos conforman el giro subtropical del Atlántico norte, un enorme movimiento de agua oceánica que circula en el sentido de las agujas del reloj que encierra un área de aproximadamente 4,4 millones de kilómetros cuadrados. Este giro se produce por la acción de los movimientos del viento en combinación con la Tierra en rotación (Hatcher *et al.*, 2013). El poder de la corriente del golfo es importante en la biología del Mar de los Sargazos, ya que crea remolinos locales (conocidos como anillos de núcleo frío) que giran hacia el mar y conducen a mezclarse a medida que aguas frescas y ricas en nutrientes son extraídas desde la profundidad. Esto es significativo debido a que las fuerzas físicas a gran escala que operan en el Mar de los Sargazos significan que, en general, las aguas superficiales son cálidas, altamente salinas y oligotróficas (pobres en nutrientes) (Hatcher *et al.*, 2013).

Ocasionalmente, las masas de sargazo flotan a través de los pasos que hay al norte del Caribe y migran hacia el oeste (Frazier *et al.*, 2013), y algunas algas, en cantidad menor, llegan a las islas localizadas al este y oeste del Caribe y a la parte este de la península de Yucatán (Van Tussenbroek *et al.*, 2016).

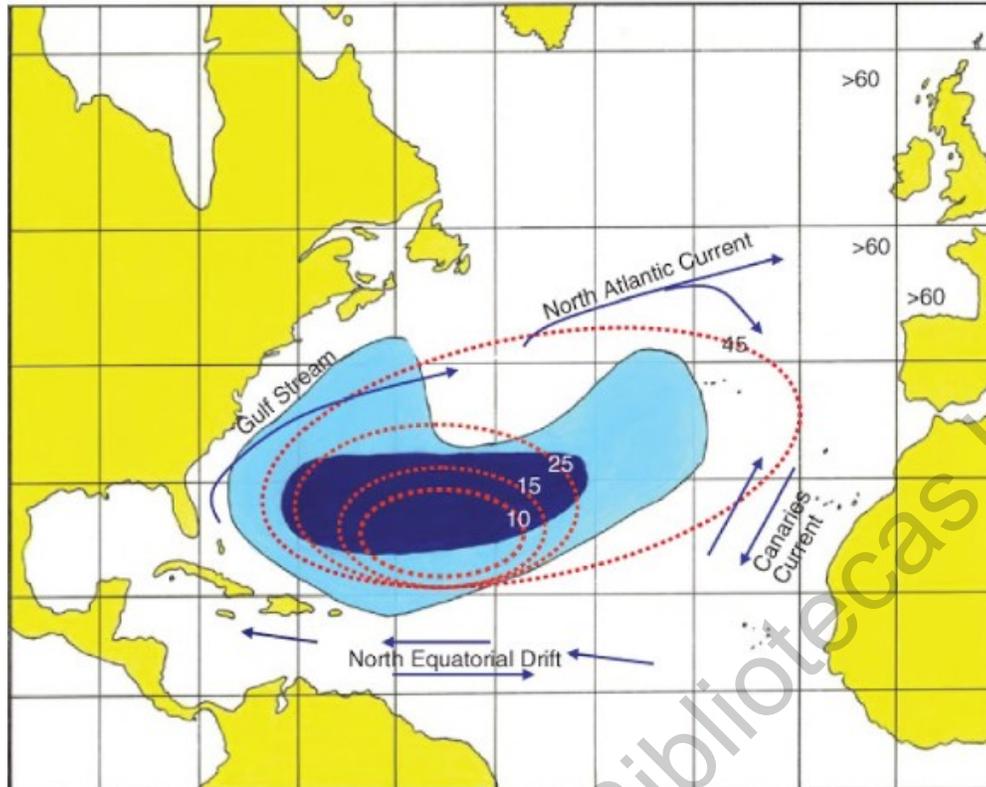


Figura 3. corrientes que rodean el Mar de los Sargazos y la distribución de la maleza de sargazo. Tomada de Hatcher *et al.*, 2013.

2.3.5.1. Nuevas corrientes de sargazo

La llegada imprevista de sargazo a las islas del Caribe oriental afectó a la industria pesquera y turística, pero también llegó en grandes cantidades a las costas de África occidental (Sierra Leona y Benin) y fueron localizadas grandes manchas por aviones frente al norte de Brasil (Széchy *et al.*, 2012). Las especies de sargazo encontradas fueron *S. fluitans* y *S. natans* pero según los resultados del estudio satelital de Johnson *et al.* (2013) no lograron conectar la invasión del Caribe con el Atlántico norte central y el mar de los Sargazos. Sin embargo, llevaron un seguimiento desde donde se reportó la llegada de sargazo y sugirió que el sargazo pudo haber florecido en la región de recirculación ecuatorial del norte (NERR) donde las condiciones en la primavera y verano de 2010 fueron propicias para el crecimiento y consolidación. La región NERR se extiende desde el ecuador hasta la contracorriente ecuatorial del norte y desde Brasil hasta África (Philander 2001).

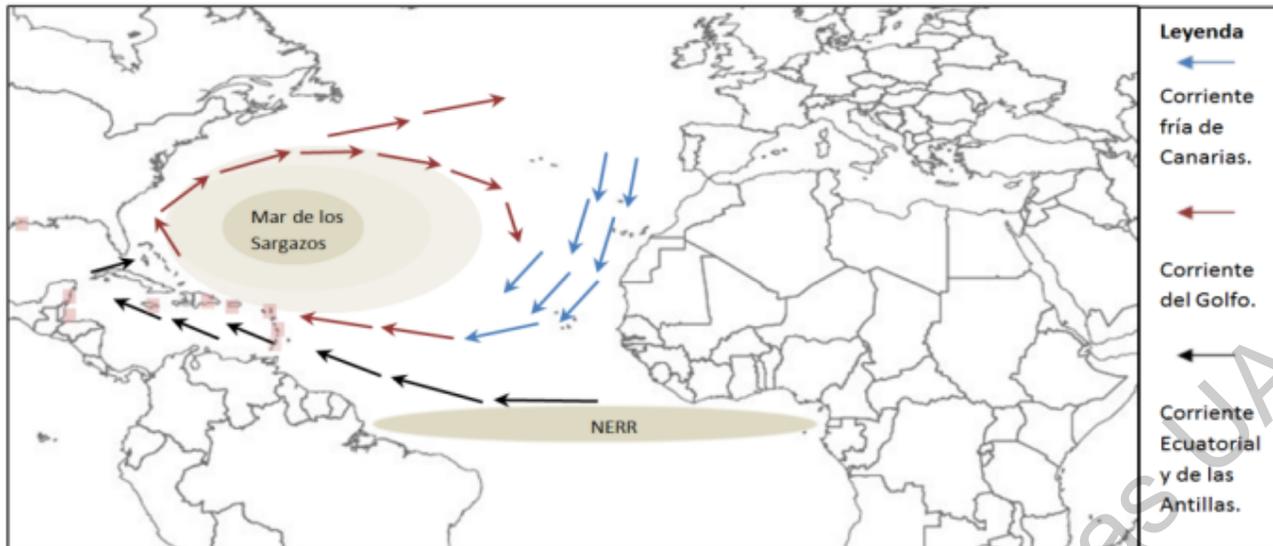


Figura 4. Localización geográfica del Mar de los Sargazos y de la Región Norte-ecuatorial de Recirculación (NERR). Tomada de DEAL, 2015.

Un análisis retrospectivo posterior de la NERR indicó que el agua ecuatorial que transportaba el sargazo provenía del Atlántico sur, donde no se ha verificado la presencia de estas especies. Esto sugiere que el sargazo floreció en la NERR, en donde floreció a altas temperaturas oceánicas y altas aportaciones de nutrientes, y se introdujo en las aguas del Atlántico sur (Johnson *et al.*, 2013). Existe la posibilidad de que el sargazo haya recirculado por un tiempo prolongado en la NERR antes de ser liberado en la Corriente del Norte de Brasil, la cual fluye hacia el Caribe oriental o se desvía hacia la costa de África occidental (Johnson *et al.*, 2013; Fonseca *et al.*, 2004).

La dinámica oceánica en la NERR se ve fuertemente afectada por la ubicación e intensidad de la Zona de Convergencia Intertropical atmosférica, modulada por las oscilaciones climáticas a escala global (Johnson *et al.*, 2013). La naturaleza inusual de este evento sugiere que se puede acoplar a cambios más grandes en la dinámica de los ecosistemas regionales debido a los aumentos globales de la temperatura (Fonseca *et al.*, 2004; Johnson *et al.*, 2013).

2.3.6. Nutrientes para el óptimo crecimiento de sargazo

La causa del florecimiento masivo de sargazo se desconoce, por lo que es importante conocer los nutrientes en el mar, ya que es la razón de la aparente baja productividad de sargazo pelágico (Mann *et al.*, 1980) en el Mar de los Sargazos. Carpenter *et al.* (1974) encontraron que la evolución de O₂ de sargazo fue consistentemente más alta al norte en comparación con las latitudes más al sur, probablemente debido a un mayor grado de mezcla por el invierno y el reabastecimiento de

nutrientes a las aguas superficiales en el norte del Mar de los Sargazos en comparación con el sur del Mar de los Sargazos.

Aunque generalmente se piensa que el nitrógeno y el fósforo son nutrientes limitantes primarios en las aguas superficiales del giro del Océano Atlántico Norte (Parsons *et al.*, 1977), la importancia relativa de estos elementos para limitar la producción orgánica en los océanos es aún poco conocida (Lapointe, 1986).

Los datos de Lapointe (1995) sugieren que *S. natans* y *S. fluitans* podrían duplicar su biomasa en tan solo 11 días en aguas neríticas, en comparación con 50 días o más en el Mar de los Sargazos. La mayor tasa de crecimiento y la productividad de sargazo a partir de la circulación continua a largo plazo a través del mar del Caribe, el Golfo de México, los estrechos de Florida y la Corriente del Golfo, proporcionan enriquecimiento de nutrientes y nueva producción de estos a través de la advección de áreas neríticas.

El concepto de la nueva producción de nutrientes fue desarrollado originalmente por Dugdale *et al.* (1967), quienes distinguieron entre los nuevos aportes de nitrógeno, como el nitrato de la mezcla vertical, y las fuentes regeneradas, como el amonio y el fósforo reactivo soluble de peces o excreciones de zooplancton. Adicionalmente Lapointe (1995) extiende el concepto para distinguir entre los nutrientes mezclados verticalmente dentro del Mar de los Sargazos de aquellos tales como las excreciones de abundantes bancos de peces, las descargas de ríos y la deposición atmosférica que podría dar lugar a sargazo enriquecido con nutrientes en la plataforma continental o en las aguas de laderas en regiones neríticas, especialmente a lo largo de las zonas frontales (Franks, 1992). El agua del Amazonas entra en el Atlántico tropical occidental cerca del ecuador y se transporta hacia el noroeste a lo largo de la plataforma brasileña por la corriente del norte de Brasil (NBC) (Muller-Karger *et al.*, 1988, 1995), parte del agua de la Amazonia continúa hacia el noroeste en la Corriente de Guyana (Hellweger and Gordon, 2002). Junto con el agua dulce, el Amazonas proporciona el mayor flujo fluvial de materia suspendida y disuelta (DOM) (Meybeck *et al.*, 1997). Estos flujos pueden tener un efecto dramático en la ecología regional, ya que representan posibles subsidios del carbono orgánico, los nutrientes y la atenuación de la luz en un entorno por lo demás oligotrófico (Muller-Karger *et al.*, 1995).

La tendencia creciente del nivel global del mar muestra una caída distinta centrada a principios de 2011, que Boening *et al.* (2012) atribuyen a la lluvia anómala asociada con La Niña, transfiriendo el agua fuera de los océanos al norte. De acuerdo con los estudios de Gower *et al.* (2013), Australia y

la costa norte de América del Sur se muestran como las dos áreas donde más agua se había acumulado en la primavera (marzo-mayo) de 2011. Si el derrame de agua por encima de lo normal hubiera comenzado antes podría haber sido una fuente importante de nutrientes para el Atlántico ecuatorial. Aunque se reportaron inundaciones en el área del Amazonas en 2011 y 2012, Lapointe (1995) llegó a observar una posible conexión entre *S. natans* y los aportes de nutrientes de la tierra con el río Amazonas, el vínculo real sigue siendo desconocido.

2.4. El sargazo como un posible factor de amenaza para las especies de tortugas marinas

La llegada inusual de sargazo pelágico a la costa sur de Cuba se reportó en 2012, sin embargo, los organismos que arribaron presentaban una apariencia fresca, vigorosa y saludable midiendo hasta 1 m de longitud y no se observaron epibiontes (Moreira *et al.*, 2013). A mediados de 2014, muchas otras islas y países del Caribe comenzaron a ser afectados (Gavio *et al.*, 2015).

En el caso del Caribe Mexicano, la afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa inició a principios del verano de 2014 y terminó en diciembre de 2015 (Van Tussenbroek, 2016), lo cual representa un posible problema pues la llegada de las tortugas marinas a las playas de anidación comienza en mayo (ocasionalmente en abril) a septiembre, aunque su mayor frecuencia es en junio y julio, en el caso de la tortuga caguama (Zurita *et al.*, 1993). No obstante, en un 90% de las playas de Quintana Roo donde no se removió el sargazo acumulado, con la llegada de sargazo fresco a la línea de costa a mediados de 2015, la acumulación provocó que el agua de mar cercana a las costas se tornara de color café. En algunas zonas, se observaron animales muertos entremezclados con el sargazo en descomposición, incluyendo peces, tortugas, pepinos de mar, poliquetos y langostas, los cuales se considera murieron por anoxia (Van Tussenbroek *et al.*, 2016).

La acumulación de sargazo tanto en Quintana Roo como en el Caribe desde el 2015 ha representado un efecto perjudicial para el turismo en la costa dejando problemas económicos. Sin embargo, se debe analizar su efecto ecológico sobre las playas de anidación de tortugas marinas ya que en el mes pico de acumulación, la costa recibió en promedio 2,360 m³ de sargazo por km de playa (Van Tussenbroek *et al.*, 2016). Las algas pardas (*Phaeophyceae*) tienen una elevada capacidad biosortiva para los metales como Pb, Cu, Cd, Ni, Mn, Co, Cr y Zn (Agusto *et al.*, 2001, Davis *et al.*, 2000, Davis *et al.*, 2003, Volesky *et al.*, 1995, Diniz *et al.*, 2005). La biomasa seca de especies de los géneros *Ascophyllum* y *Sargassum* puede concentrar Pb y Cd de soluciones muy diluidas, pudiendo acumular más del 30% de su peso seco en metales (Volesky *et al.*, 1995), estas características pueden alterar las condiciones de las playas de anidación, además la acumulación

bloqueó muchos kilómetros de zonas de crecimiento de pastos marinos, hábitat importante para la alimentación de las tortugas.

2.4.1. En el proceso de anidación

Las playas con mayor acumulación de arena son un lugar ideal para la alta densidad de anidación y, cada sección del área disponible de anidación es valiosa (Abreu, 2016; Dow *et al.*, 2011; Márquez, 1996; Pritchard *et al.*, 1999), por ejemplo, la principal playa de anidación Pasture Bay en Long Island en donde cerca de 90 tortugas Carey pusieron huevos en 310 nidos en 2014. La mayoría de los huevos fueron depositados a lo largo de los 650 m de la playa, pero al mismo tiempo la geografía y las corrientes predominantes típicas también significan que es una trampa perfecta de sargazo. En México especies como la tortuga caguama tienen la mayor abundancia en el Estado de Quintana Roo; de los 900 km de costa que tiene este estado, aproximadamente 200 km son playas de anidación en donde se registran en promedio 1,300 nidos por temporada, con una media de 41.18 nidos por playa y densidad de 20 nidos por kilómetro (Zurita, 2009). Basados en estudios recientes en Long Island, Antigua, Maurer *et al.* (2015) sospecharon que el sargazo puede ser una amenaza emergente en algunas playas de anidación, en donde puede actuar como una barrera pues durante el 2015 en donde se acumularon montañas de sargazo, no hubo actividad de anidación. Además, se reportó menos actividad en secciones con mayor presencia de sargazo (10-15%). Estos hallazgos sugirieron que el sargazo puede obstaculizar o impedir por completo el acceso a las ubicaciones de anidación preferidas, reduciendo efectivamente la playa de anidación hasta en un 25%. Las playas de anidación sanas son componentes críticos de los esfuerzos de recuperación de la población y especialmente considerando que las tortugas regresan a los mismos sitios de anidación en cada temporada (1-6 veces por temporada) (Zurita *et al.*, 1993) y que sólo 1 de cada 1000 huevos de tortuga marina eclosiona y sobrevive la década (Frazer, 1986).

2.4.2. En los nidos

Cuando el sargazo no es removido a tiempo, las algas pueden volverse un pantano fétido debido a que puede producir ácido sulfhídrico (H₂S). Maurer *et al.* (2015) plantean que las algas marinas son desplazadas por las olas sobre nidos en incubación en playas particularmente angostas (como Pasture Bay del norte), pueden crear un ambiente de incubación anóxico y contaminado cuando se descompone, alterando las condiciones térmicas. Lo cual puede afectar la temperatura de incubación, teniendo un efecto directo sobre la proporción de sexo en la progenie; ya que a

temperaturas más bajas se desarrollan machos, mientras que a temperaturas altas (por encima de los 30°C) los animales resultantes son hembras (Morreale *et al.*, 1982; Mrosovsky *et al.*, 1980).

2.4.3. En la sobrevivencia de crías

Las crías de tortugas marinas tienen hábitos pelágicos hasta alcanzar mínimo los 25cm aproximadamente (SEMARNAT, 2012). Las crías que emergen exitosamente de los nidos a lo largo de las costas afectadas por sargazo enfrentarán más obstrucciones tanto en tierra como en el mar. Tal es el caso de las crías de *Caretta caretta*, las cuales miden unos 4 cm de largo (Viveros, 1991), por lo que su uso de la dirección de las olas para navegar durante la migración inicial en alta mar (Salmon *et al.*, 1989) puede verse comprometido. Estos factores, a su vez, pueden aumentar la mortalidad a través de la hipertermia, el agotamiento, el ahogamiento y la vulnerabilidad a la depredación (Maurer *et al.*, 2015).

3. JUSTIFICACIÓN

La acumulación de sargazo en las playas del Caribe podría estar alterando los procesos naturales como la anidación, la incubación, eclosión y arribo de las crías al mar. No obstante, no existen estudios en Quintana Roo que describan el efecto del sargazo en las tortugas marinas, ni los factores que puedan estar relacionados. Los posibles efectos negativos del sargazo sumado a otros impactos naturales y humanos, podrían conducir a un mayor riesgo de extinción para las ya amenazadas tortugas marinas de la región, por lo que es importante realizar un estudio que pueda ayudar a determinar si existe algún efecto por la acumulación de sargazo sobre la anidación, eclosión y sobrevivencia de las tortugas, para poder sentar las primeras bases para estudios a futuro y así, ayudar a disminuir los efectos negativos del sargazo en las tortugas marinas, contribuyendo de esta forma a su conservación.

4. HIPÓTESIS

La acumulación de sargazo varado podría estar causando un declive en el número de anidaciones, eclosiones y la sobrevivencia de crías de tortugas marinas sobre las playas de Quintana Roo. Debido a causas medioambientales, hubo una reproducción masiva de sargazo que las corrientes oceánicas trajeron a las playas de Quintana Roo. El estancamiento de algas podría estar obstaculizando el arribo de hembras anidantes. Su descomposición sobre los nidos podría alterar los parámetros de incubación, como la temperatura y oxigenación. Podría afectar el paso de las crías, alterando su dirección al mar o dejándolas atrapadas entre las masas de sargazo que se encuentran acumuladas en la arena hasta mar adentro. Además, las medidas que están tomando las autoridades gubernamentales tanto para la limpieza, así como para evitar la llegada de sargazo, podrían impedir la anidación y afectar el paso de las crías.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Investigar el efecto de la acumulación de sargazo en la zona costera sobre la anidación, incubación y eclosión de huevos de tortuga blanca y caguama.

5.2. Objetivos específicos

1. Generar hipótesis sobre los posibles efectos del sargazo en la anidación, incubación, eclosión y llegada de las crías al mar, en las tortugas marinas.
2. Analizar la percepción de expertos sobre los efectos del sargazo en la anidación, incubación y eclosión de huevos de tortuga blanca y caguama.
3. Evaluar el efecto de la acumulación de sargazo sobre la anidación de hembras de tortuga blanca y caguama en las playas de Quintana Roo durante el 2018, por comparación con las condiciones de 2016 sin acumulación de sargazo.

6. METODOLOGÍA

En esta investigación se llevó a cabo un estudio de percepción y un estudio retrospectivo. Para el estudio de percepción se utilizó una metodología cualitativa transversal donde se realizaron encuestas a expertos en el monitoreo de tortugas marinas. Se consultaron monitores coordinadores de campamentos tortugueros, investigadores y miembros de ONG's en Quintana Roo. Las encuestas realizadas fueron enfocadas a evaluar el efecto de la acumulación de sargazo sobre las tortugas marinas en las costas del Caribe Mexicano. El estudio retrospectivo se llevó a cabo

analizando la recopilación de datos con la finalidad de identificar si la acumulación de sargazo afectó alguna etapa reproductiva de las tortugas marinas en el 2018.

6.1. Encuestas

La metodología cualitativa transversal fue utilizada por ser un caso de estudio. Por lo que se elaboró una encuesta enviada por correo electrónico o llamada telefónica en primer instancia (Ver Apéndice I), después se configuró la encuesta en un formulario de manera que fuese más sencillo generar y enviar las respuestas (Ver Apéndice II) para los coordinadores y monitores de los campamentos tortugeros y hoteles que cumplen con una normativa de conservación para las tortugas marinas. En cualquiera de los casos en donde algunas de las actividades de rutina del subprograma de conservación es mantener el monitoreo de los porcentajes de sobrevivencia de crías, diferenciar por técnica de manejo las nidadas de tortugas en Quintana Roo, monitorear las condiciones ambientales en playas índice en el Caribe, y monitorear varamientos de las especies en las costas mexicanas, documentando las causas de muerte (CONANP, 2011). El instrumento es de tipo descriptivo analítico con el objetivo de investigar la percepción de los coordinadores de campamentos tortugeros en Quintana Roo sobre el efecto del aumento en la acumulación de sargazo en la zona costera sobre la anidación, eclosión de huevos y sobrevivencia de crías en tortuga blanca y caguama con respuestas abiertas y cerradas.

Los resultados se compilaron en bases de datos, a fin de analizar la problemática actual de la presencia de sargazo en Quintana Roo, y tener las bases para futuras investigaciones del efecto de su acumulación en el Caribe mexicano y las implicaciones que tiene en el proceso de anidación de las tortugas marinas.

6.2. Recopilación de datos por campamentos y playas.

Las bases de datos se agruparon de acuerdo con la playa u hotel del que se obtuvo la información

A continuación, se hace una breve descripción de los campamentos, programas, instituciones y hoteles encuestados.

1. Flora, Fauna y Cultura de México.

En febrero de 1998 aparece en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Quintana Roo el decreto por el que se declara Área Natural Protegida con la categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica “Santuario de la Tortuga Marina Xcacel-Xcacelito”, perteneciente al Programa de Conservación de Tortugas Marinas en la Riviera Maya, dirigido por Flora, Fauna

y Cultura de México A.C., organización de la sociedad civil sin fines de lucro. Este programa fue creado con el fin de proteger, monitorear, investigar y conservar las poblaciones de las tortugas marinas que llegan a desovar a las principales playas de anidación del Litoral Central de Quintana Roo. El Programa abarca 13 playas de anidación: Punta Venado, Paamul, Aventuras DIF, Chemuyil, Xcacel, Xel-Ha, Punta Cadena, Tankah, Tulum, Kanzul, Cahpechen, Lirios-Balandrin, Yu-yum, y San Juan, que suman 34 Km. de playa en una extensión total de 120 km. de litoral. Estas playas son operadas a través de cinco campamentos tortugueros: Aventuras- DIF, Xcacel, Xel-Há, Kanzul y Arco Maya.

Xcacel: 20°20'18.60" Norte y 87°20'53.86" Oeste

Xel há: 20°19'5" Norte y 87°21'29" Oeste.

Kanzul: 20° 9'38.67" Norte y 87°27'2.45" Oeste

Arco Maya: 19°05'13", 20°07'41" Norte y 87°22'27", 88°02'29" Oeste

Aventuras- DIF: 20° 9'38.67" Norte, 87°27'2.45" Oeste

2. Centro Ecológico Akumal

Este centro se formó en 1993 para brindar iniciativas ambientales para la protección de los ecosistemas y la biodiversidad costeros y marinos de Akumal. Desde entonces, han concentrado sus esfuerzos en tres áreas principales: investigación, educación y divulgación a través de diversos programas y proyectos. La propiedad se entregó al centro ecológico como una forma de generar fondos y proporcionar infraestructura para iniciativas ambientales para proteger los ecosistemas costeros y marinos de Akumal y la biodiversidad.

CEA: 20° 23' 38.5" Norte, 87° 18' 57.0" Oeste.

3. IBEROSTAR

El complejo hotelero IBEROSTAR participa en el programa "Conservación y protección de la tortuga marina", en donde se instaló un campamento Tortugero en Playa Paraíso, este mismo programa de monitoreo está en Playa Maroma y Zona Centro de Playa del Carmen. Desde el 2011 hasta la fecha, la cadena ha llevado este programa de divulgación y conservación sobre las medidas de protección de las especies de tortugas que anidan en las playas de los hoteles. Tanto huéspedes como el personal de IBEROSTAR forman parte de una jornada de cuidado y protección en donde son instruidos para evitar ruidos excesivos, apagar las luces de la playa por las noches, y hacer recorridos de protección y cuidado de nidos. La campaña dura seis meses (mayo-octubre), temporada de anidación de las tortugas en Quintana Roo.

IBEROSTAR Playa Paraíso: 86° 57' 47.3" Norte, 86° 57' 47.3" Oeste.

Playa Maroma: 20° 43' 47.7" Norte, 86° 57' 47.3" Oeste.

Zona Centro Playa Del Carmen: 20°36' 16.30" Norte, 87°05' 38.67" Oeste.

4. Hotel Grand Sirenis "Aak Sun Nem"

Es otro de los hoteles que se une al programa de Conservación y protección de la tortuga marina, ofreciendo a los turistas un área de recreación tipo senderismo cerca de la playa de anidación en Playa Tortugas.

Grand Sirenis (Playa Tortugas): 20° 25' 41.77", Norte, 87° 17' 43.56" Oeste.

5. Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos

El 2 de febrero de 1998 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto en el que se declara área natural protegida con el carácter de Parque Nacional, la región denominada Arrecife de Puerto Morelos (PNAPM), en el estado de Quintana Roo, con una superficie total de 9,066-63-11 hectáreas. La región conocida como Arrecife de Puerto Morelos forma parte de la barrera arrecifal denominada "Gran Cinturón de Arrecifes del Atlántico Occidental", considerada como la segunda barrera arrecifal más grande del mundo. La comunidad de Puerto Morelos está integrada por pescadores, prestadores de servicios, investigadores y sociedad civil, los cuales consideraron imprescindible, para el sano y equilibrado desarrollo de la sociedad local y regional, la conservación del sistema arrecifal para salvaguardar el patrimonio natural que representan los arrecifes que se ubican a lo largo de la costa frente a esta comunidad. En 1978, la Secretaría Federal de Pesca creó en Puerto Morelos un Centro de Investigaciones en Acuicultura, cuyo personal también provino de diversos estados de la República, e inició investigaciones sobre el caracol, la tortuga marina, y las actividades pesqueras de la región costera norte de Quintana Roo. Actualmente es el Centro Regional de Investigaciones Pesqueras del Instituto Nacional de la Pesca (Carabias *et al.*, 2000).

PNAPM: 20° 54' 16" Norte, 86° 49' 30" Oeste

Punta Brava: 20° 48' 45.73" Norte, 86° 54' 17.11" Oeste.

6. Programa Nacional de Conservación de Tortugas Marinas (PNCTM)

Es un programa que mediante la instalación de campamentos tortugueros, realiza acciones de conservación de tortugas marinas en 32 playas de anidación en 15 estados de la República y en más de 50 Municipios; 10 playas corresponden a la categoría de Santuario como Área Natural Protegida (ANP) por su importancia para las tortugas marinas, 16 campamentos tortugueros están vinculados con otra categoría de ANP como Parque Nacional, Área de Protección de Flora y Fauna y/o Reserva de la Biosfera. El 65% de las playas están identificadas como playas índices porque: a) tienen una trayectoria de más de

10 años continuos de trabajo de monitoreo de la zona, y b) usan metodologías establecidas tanto en la colecta de datos como en la evaluación de la información. Además de las actividades en playa, en años recientes, el programa tiene presencia en 10 áreas marinas en donde se realizan actividades de monitoreo en zonas de forrajeo y crecimiento (Gaona *et al.*, 2016). Algunas de las playas estuvieron involucradas dentro de las encuestas: Chac chi, Media Luna, Poder Judicial, Bachilleres, Chiapanecos, Acapulquito, Piedra rota, Barrancos, Rastro, Punta Sur.

Chac Chi: 21° 15'16.77" Norte, 86° 44'42.12" Oeste.

Media Luna: 21°15'38.03" Norte, 86°44'48.92" Oeste.

Poder Judicial: 21° 15'03.22" Norte, 86° 44'31.58" Oeste.

Bachilleres: 21°14'29.59" Norte, 86°44'8.96" Oeste.

Punta Sur: 21° 12'05.90" Norte, 86° 42'38.93" Oeste.

7. Parque Nacional Isla Contoy

Ubicado en Isla Contoy, llamada también Isla Pájaros, tiene una superficie de 238.18 ha., incluyendo sus lagunas interiores. Se localiza en el estado de Quintana Roo, a 30 km al norte de Isla Mujeres, a 32.3 km de Cabo Catoche (distancia entre faros), y a una distancia de 12.8 km de la costa noreste de la península de Yucatán. Esta isla, junto con Isla Mujeres, Cayo Sucio, Isla Blanca y el Banco Arrowsmith pertenecen al conjunto de islas, bancos y arrecifes de la plataforma continental del Caribe mexicano. Sus coordenadas geográficas son: 21°27'40" y 21°32'10" de latitud norte y 86°46'40" y 86°47'50" de longitud oeste. Las investigaciones sobre tortugas en Isla Contoy fueron iniciadas en 1974, cuando la Delegación de Pesca en Isla Mujeres instaló un primer campamento tortuguero y se reportó la presencia de cuatro especies de tortuga marina, considerándola como una zona importante de anidación (Ramos, 1974), decretándola en 1986 como Zona de Parque Natural para la Protección de las Tortugas Marinas (Márquez, 1976). PNIC monitorea las playas de anidación: Faro, Dunas, Cruces, Tortugas, Camping, Ixmapoit, Garzas, Ostreros, Punta sur A, Punta sur B, Campamento Pescadores.

8. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)

Es un centro de investigaciones ecológicas del sureste, para el desarrollo de la investigación básica y aplicada, y la formación de recursos humanos a nivel posgrado dentro de las ciencias naturales y sociales, dentro del departamento de Conservación de la Biodiversidad cuyo fin es generar conocimiento sobre la diversidad biológica con énfasis en el sureste de México. Sus investigaciones buscan comprender los patrones y procesos ecológicos, evolutivos y

sociales que ocurren en los ecosistemas, generando alternativas para su conservación y manejo sustentable. Con ayuda de los académicos se recaudó información de otras playas de anidación para las tortugas marinas en donde no hay un programa o instalación de campamento tortuguero, tal es el caso de playa El Placer ubicada en Othon P. Blanco.

Playa El Placer: 18° 54' 03.33" Norte, 87°37'59.00" Oeste.

9. Parque Ecológico Punta Sur

El parque es una reserva estatal cuya extensión supera las mil hectáreas, en las que predominan sistemas lagunares que constituyen un mosaico de gran riqueza y diversidad de flora y fauna. Gracias a las extensas playas que tiene Punta Sur, es lugar de anidación de la Tortuga Marina, especie bandera que cuenta con un programa de protección y conservación en el Faro Celarain.

Parque Ecológico Punta Sur (Celarain): 20° 16' 43.032" Norte, 86° 58' 51.941" Oeste.

10. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP)

Integra brigadas a través del Programa de Recuperación y Repoblación de Especies en Riesgo (Procer), con la finalidad de realizar el monitoreo y vigilancia de nidos en el campamento tortuguero "Ixpalbarco", este campamento se encuentra en la zona oriente y abarca las playas Mezcalitos, Dos Cocos, Ixpalbarco, Hanán y Castillo Real, las cuales son zonas de anidación de las tortugas marinas Verde (*Chelonia mydas*) y Caguama (*Caretta caretta*). Esta zona de playas tiene una extensión de 17.5 kilómetros, la cual se ubica en la costa noreste de la isla, dentro del polígono que abarca el Área de Protección de Flora y Fauna Isla de Cozumel.

Ixpalbarco: 20° 27' 07.41" Norte, 86° 48' 38.34" Oeste.

11. Andaz Mayakoba

El resort es uno de los hoteles más preocupados por el medio ambiente y el hábitat de las tortugas marinas, la cadena inició su campamento Tortuguero en 2017.

Andaz Mayakoba: 20° 41' 12.85" Norte, 87° 01' 03.58" Oeste.

6.3. Análisis estadístico

6.4. Prueba de significancia de χ^2 y prueba U de Mann-Whitney

Para analizar a) la afectación de la acumulación de sargazo sobre el área de anidación se utilizó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney de dos muestras independientes.

Adicionalmente, se hizo una prueba de significancia de χ^2 para probar la hipótesis nula de que el tiempo de experiencia es independiente de las respuestas dadas por los encuestados que tenían sólo un año de experiencia y los restantes que tenían 3 o más años de experiencia para las variables de mayor importancia: b) uniformidad de la acumulación de sargazo en la playa, c) afectación de la acumulación de sargazo sobre el número de nidos, d) afectación de la acumulación de sargazo sobre la distribución de la anidación, e) afectación de la acumulación de sargazo sobre el número de eclosiones y f) efecto de la acumulación de sargazo sobre el número de crías que lograron llegar al mar.

6.5. Análisis estadístico general

Cada respuesta porcentual por cada pregunta hecha fue sumada, y al final promediada. Para las preguntas de respuestas cerradas se sumó y agrupó el número de respuestas escogidas con la finalidad de obtener un porcentaje representativo para cada respuesta.

Las preguntas de respuesta abierta fueron agrupadas en categorías para ser sistematizadas en un análisis estadístico general y puntual, obteniendo el porcentaje de las respuestas.

6.6. Análisis estadístico por municipios

Para el análisis por municipios se analizaron las 25 encuestas, que comprendían el análisis de las 40 playas por municipio. Cada respuesta por cada pregunta hecha se sumó y agrupó por municipio, el total se representó en gráficas de columnas en porcentajes. Los totales porcentuales de preguntas cerradas fueron sumados, promediados y representados en gráficas de barras con el porcentaje de efectos percibidos por municipio.

6.7. Análisis retrospectivo de anidaciones totales de *Caretta caretta* y *Chelonia mydas* entre los años 2016 y 2018

Para el estudio retrospectivo, primero se calculó la capacidad de carga de las playas del campamento Flora, Fauna y Cultura de México, en los años 2016 y 2018; esto con la finalidad de analizar y comparar el total de anidaciones. Estos dos años fueron analizados debido a la bianualidad que presentan las especies *Caretta caretta* y *Chelonia mydas*, en donde el número de anidaciones de *C. caretta* será mayor en relación con el total de nidos de *C. mydas* cuyas temporadas de mayor anidación se presentan en los años bisiestos. Y como el sargazo no llegó en abundancia a las costas del Caribe en el 2016, pero sí se presentó el arribo masivo en el 2018, se podrá obtener una comparación de los dos años de ambas especies.

Para esto se dividió el total de nidos entre los kilómetros de longitud de cada una de las 12 playas, en ambos años respectivamente para obtener la carga de nidos por metro lineal. Posteriormente se restaron ambos valores, y el resultado mostró la diferencia porcentual entre las anidaciones de *Caretta caretta* y *Chelonia mydas* entre el año 2016 y 2018.

Posteriormente, se hizo la prueba de t para muestras independientes para conocer el grado de significancia (p) en los resultados del número de anidaciones entre ambos años, para cada especie.

7. Resultados

7.1. Generación de hipótesis sobre el efecto del sargazo en la reproducción de tortugas marinas

Para determinar los posibles efectos en la anidación, incubación, eclosión y llegada de las crías al mar de las tortugas marinas se realizó una consulta bibliográfica, para así generar hipótesis al respecto (Tabla 1).

Tabla 1. Hipótesis sobre efectos del sargazo en la conducta durante el proceso de anidación de tortugas marinas.

Etapas del proceso de anidación- eclosión en tortugas marinas que pudieran ser afectadas por acumulación de Sargazo		
ETAPA	POIBLES EFECTOS	HIPÓTESIS
Anidación: Proceso en el que las hembras deben salir del mar para depositar sus huevos en nidos que excavan en playas arenosas de litorales tropicales y sub-tropicales (Abreu, 2016).	1. Obstrucción del arribo de hembras: El sargazo depositado en las playas puede estar obstruyendo el arribo de las hembras a estas zonas. Se ha observado en otros estudios que si las hembras no encuentran condiciones favorables para la anidación éstas pueden desovar en el mar (Herrera, com. pers.)	Podría haber un declive en el número de anidaciones de tortugas marinas al no permitirles arribar a la playa.
	2. Aumento en el número de arribos e intentos de desoves: Las hembras podrían estar arribando a las playas, decidir no anidar debido a la obstrucción del sargazo y optar por anidar en otra playa aumentando así el número de arribos.	Las tortugas marinas prefieren playas arenosas que les facilite remover la arena para hacer un nido, la acumulación de sargazo podría reducir estas zonas de anidación, obligándolas a hacer varios arribos e intentos de nidos.

	<p>3. Alteración de la distribución de nidos: Se ha encontrado que las tortugas tienen una preferencia de anidación en zonas de dunas o berma dependiendo de la especie, lo cual es importante para la cohabitación de las especies en la playa (Abreu, 2016).</p>	<p>Si las zonas libres de sargazo son áreas reducidas podría causar un confinamiento de nidos y alterar su distribución natural.</p>
	<p>4. Destrucción de nidos</p>	<p>El confinamiento de nidos debido a la alteración en la distribución de las anidaciones podría ocasionar que otros nidos sean destruidos por las tortugas.</p>
<p>Incubación: Proceso en el que inicia el desarrollo embrionario una vez que la madre ha depositado los huevos en el nido, dependiendo de la especie, pueden depositarse de 50-140 huevos por nido. La incubación es viable sólo si hay suficiente humedad y la temperatura permanece dentro del rango entre 24-25°C y 34-35°C (Ackerman, 1997).</p>	<p>1. Cambio de los parámetros fisicoquímicos del nido: Si el sargazo no es removido a tiempo, puede producir ácido sulfhídrico (H₂S), crear un ambiente de incubación anóxico y contaminado al descomponerse alterando las condiciones fisicoquímicas del nido (Maurer <i>et al.</i>, 2015).</p>	<p>Los cambios en los parámetros fisicoquímicos podrían causar un mal desarrollo embrionario viéndose reflejado en el genotipo y fenotipo de las crías, y en una disminución del número de embriones formados.</p>
	<p>2. Incremento en la temperatura del nido: La acumulación de sargazo en las playas puede alterar la temperatura de la arena al funcionar como una capa aislante (Maurer <i>et al.</i>, 2015).</p>	<p>Al aumentar la temperatura de incubación (>30°) se podría afectar el periodo termosensible generando más hembras que machos y lo contrario pasaría al disminuir la temperatura, es decir habría mayor número de machos.</p>
<p>Eclosión: Al concluir el periodo de desarrollo, los embriones rompen el cascarón usando un dentículo o “carúncula” que tienen en la punta del pico, comienzan a hacer trabajo en equipo para lograr subir a la superficie tomándoles unos días para llegar. Descansan debajo de la superficie hasta que baje la temperatura (tarde-noche) (Abreu, 2016)</p>	<p>1. Obstáculo al emerger de los nidos: El sargazo sobre los nidos puede obstaculizar el paso de las crías al exterior.</p>	<p>Es posible que el sargazo al obstruir el paso de las crías al exterior de los nidos disminuya el éxito de supervivencia de estas.</p>
<p>Llegada de crías al mar: Inmediatamente después de eclosionar del nido se dirigen hacia el mar orientadas por diferentes señales como el sonido de las olas, la</p>	<p>1. Obstáculo para llegar al mar: El éxito de supervivencia de las crías al eclosionar puede verse afectado debido al sargazo</p>	<p>La acumulación de sargazo podría incrementar el tiempo que tardan en arribar al mar y propiciar mayor depredación, causando un declive en la sobrevivencia de tortugas marinas.</p>

pendiente de la playa y el brillo sobre el mar (Abreu, 2016).	2. Disminución del éxito de sobrevivencia: Las crías de tortugas marinas tienen hábitos pelágicos hasta alcanzar mínimo los 25 cm, el sargazo acumulado dentro del mar podría ser una trampa, esto puede aumentar la mortalidad a través de la hipertermia, el agotamiento, el ahogamiento y la vulnerabilidad a la depredación.	
---	---	--

7.2. Análisis de encuestas a expertos en monitoreo de tortugas marinas de la región

Se obtuvieron 25 encuestas contestadas, de un total de 40 playas pertenecientes a 17 campamentos, instituciones, ONG, etc. (Tabla 2), las cuales llevan un monitoreo y registro de nidadas durante la temporada de anidación. El estado de Quintana Roo se encuentra dividido en 11 municipios, y en 7 de ellos se encuentran las principales playas de anidación para las tortugas marinas (Tabla 2).

Tabla 2. Campamentos, playas de monitoreo y municipios correspondientes.

Campamento	Playa	Municipio
Xcachel	Xcachel	Tulum
	Xcachelito	
	Chemuyil	
	Aventuras DIF	
	Tankah	
Kanzul	Kanzul	
Arco Maya de Sian Kaan	Cahpechen	
C.E.A.	Akumal	Solidaridad
Prog. P y CTM	Maroma	
	Playa Paraíso	
	ZC Playa del C.	
Único 20°87°	Kantenah	
Campamento Mayakoba	Mayakoba	
Hotel Grand Sirenis "Aak Sun Nem"	Playa Tortugas	Benito Juárez
Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos	Punta Brava	
CONANP	Chac chi	Isla Mujeres

Isla Mujeres	Media Luna, Poder Judicial, Bachilleres, Chiapanecos, Acapulquito, Piedra rota, Barrancos, Rastro, Punta Sur	
Parque Nacional Isla Contoy	Faro, Dunas, Cruces, Tortugas, Camping, Ixmapoit, Garzas, Ostreros, Punta sur A, Punta sur B, Campamento Pescadores	
Mayan Beach Garden Hotel	Placer	Othon P. Blanco
El Colegio de la Frontera Sur		
Campamento Tortuguero Punta Sur	Celarain	Cozumel
Campamento Tortuguero Ixpalbarco	Dos cocos	
Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos	PNAPM	Puerto Morelos

En cuanto a las respuestas a la encuesta, se encontró una diferencia significativa entre el grupo de encuestados que tenían un año de experiencia comparado con los que tenían tres o más, en todas las áreas exploradas excepto la correspondiente al efecto de la acumulación de sargazo sobre el número de eclosiones (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación entre respuestas de monitores con 1 año de experiencia y monitores con 3 o más años de experiencia. Se muestran valores de χ^2 y p respecto a las variables de mayor importancia en el estudio.

Variable	χ^2	p
a) Área de anidación invadida con sargazo	37.28	0.09
b) Uniformidad de la acumulación de sargazo en la playa	29.78	<u>0.00001</u>
c) Afectación de la acumulación de sargazo sobre el número de nidos	6.49	<u>0.01</u>
d) Afectación de la acumulación sobre la distribución de anidación	4.00	<u>0.04</u>
e) Afectación de la acumulación sobre el número de eclosiones	.98	0.32
f) Afectación de la acumulación sobre el número de crías	25.43	<u>0.00001</u>

*Los resultados del municipio Othon P. Blanco no fueron analizados con el resto de las encuestas ya que sólo se evaluó una playa lo que no se considera representativo para el municipio.

7.2.1. Acumulación a lo largo de las playas.

La acumulación de sargazo se presentó en promedio en el 88% del largo de las playas evaluadas, y sólo un 12% de éstas estaba libre de sargazo de acuerdo con la apreciación de los encuestados (Figura 5).

Los resultados por municipio muestran a 3 con 100% de la playa invadida de sargazo: Benito Juárez, Cozumel y Puerto Morelos, seguidos de Solidaridad con 86.7% de invasión, Tulum 70% de invasión y por último Isla Mujeres con la menor invasión de 56.7% (Figura 6).

Porcentaje del área invadida con sargazo en playas del estado de Quintana Roo.

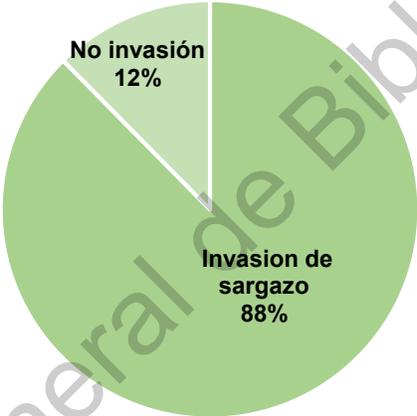


Figura 5. Percepción de invasión con sargazo a lo largo en playas de Quintana Roo.

Invasión de sargazo a lo largo de la playa por municipio

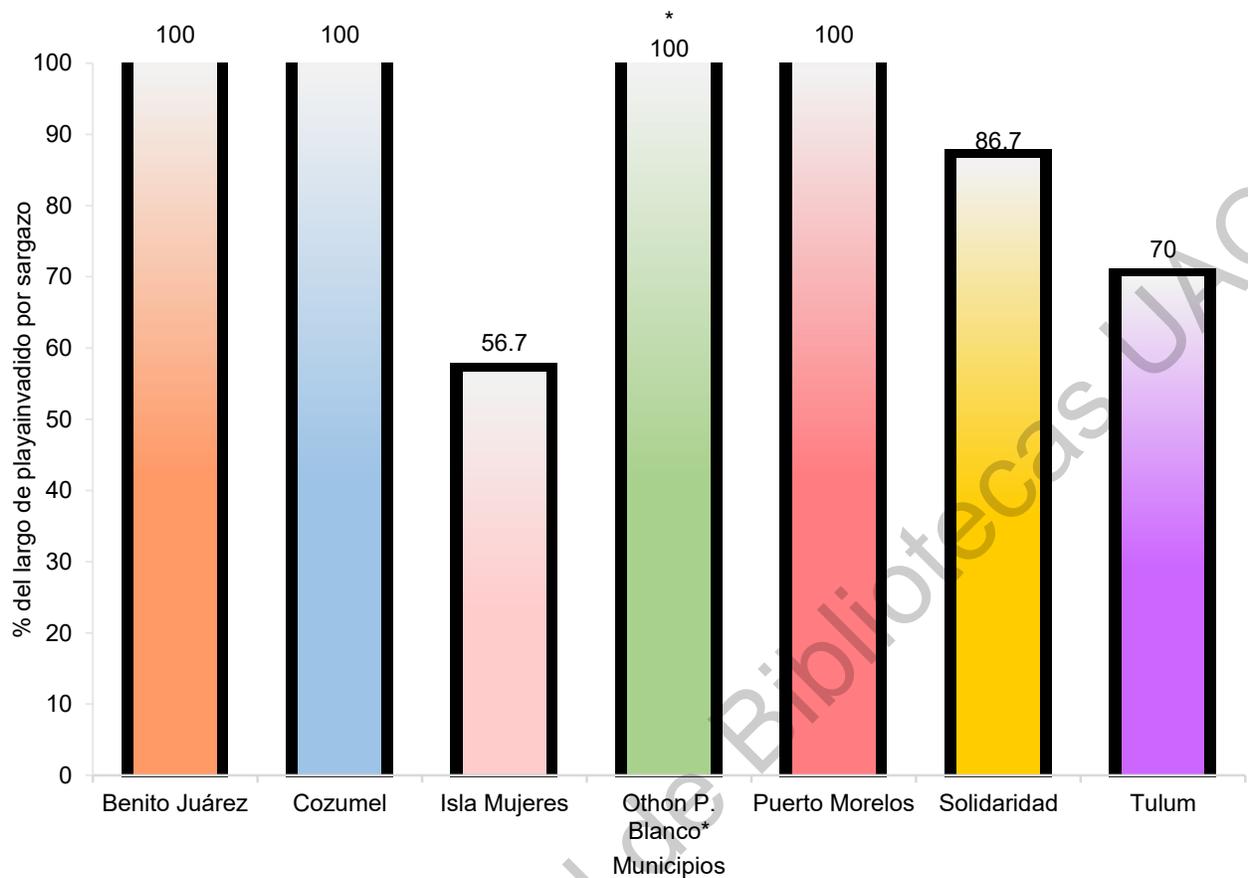


Figura 6. Percepción del área invadida con sargazo a lo largo de la playa en los municipios de Quintana Roo.

7.2.2. Proporción del área de anidación invadida

El sargazo se reportó invadiendo en promedio un 76% del área utilizada por las tortugas para desovar, y sólo el 24% de esta área se encontró libre de sargazo (Figura 7). Para evaluar la invasión del área de anidación por municipios se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 8, en donde Benito Juárez y Puerto Morelos mostraron un área 100% invadida con sargazo, después Cozumel percibió invasión de un 80%, Solidaridad un 70%, Isla Mujeres tuvo un 43.3% similar a Tulum con 40% que es el porcentaje más bajo en la invasión de área de anidación.

Área de anidación invadidas por sargazo en
playas de Quintana Roo



Figura 7. Percepción de invasión con sargazo sobre el área de anidación en playas de Quintana Roo

Área de anidación invadida por sargazo por municipio

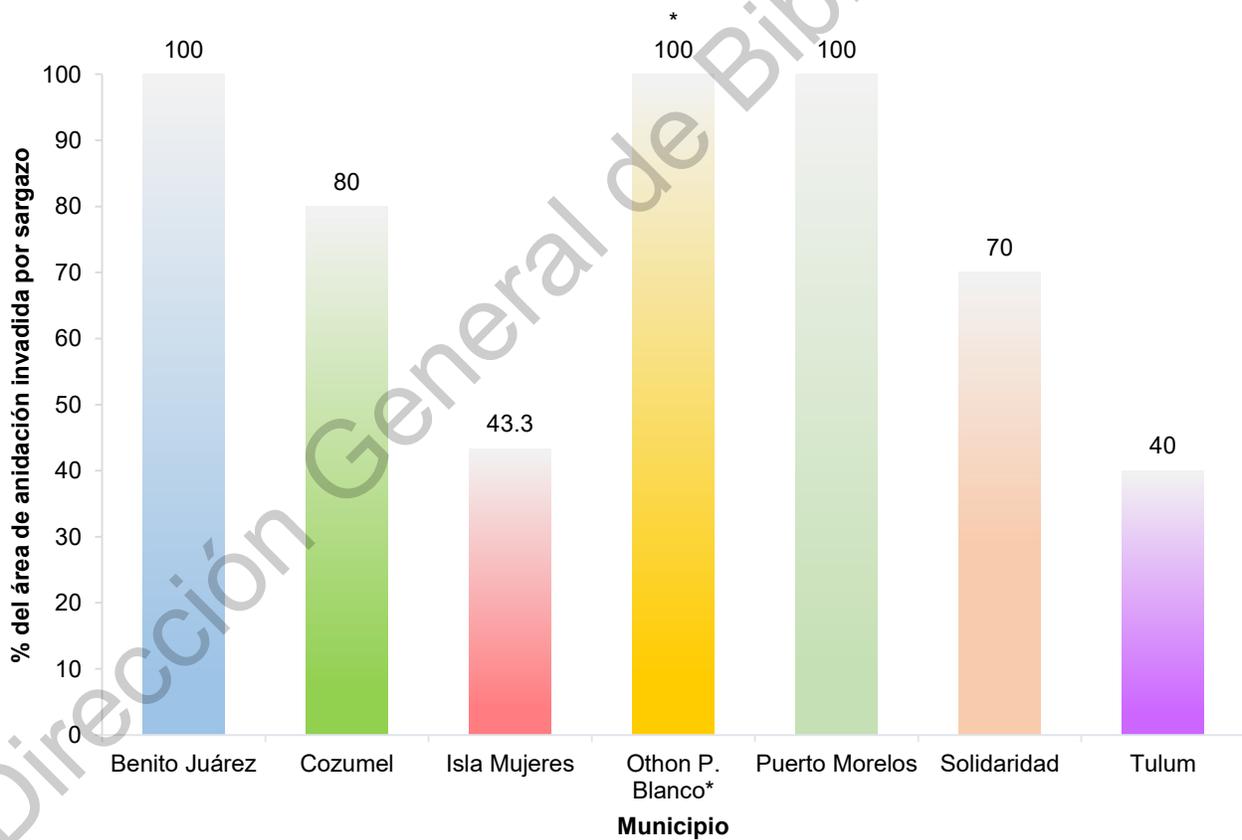


Figura 8. Percepción de invasión con sargazo sobre el área de anidación en los municipios de Quintana Roo.

7.2.3. Efectos de la uniformidad en la acumulación del sargazo sobre el arribo y anidación de tortugas marinas

A pesar de que en todas las playas se encontró sargazo acumulado, éste tuvo una acumulación irregular en el área dentro de algunas playas, por lo que se analizó la uniformidad de la acumulación de sargazo. Se observó que en el 17% de las playas encuestadas sí hubo una acumulación uniforme. En el análisis por municipios, en el 83% de las playas que corresponden a los municipios de Benito Juárez (100%), Cozumel (100%), Isla Mujeres (57.14%, mayor respecto al porcentaje de uniformidad), Puerto Morelos (100%), Solidaridad (100%), y Tulum (55.5%, mayor respecto al porcentaje de uniformidad), se observó que no hubo uniformidad en la acumulación del alga, solamente en Isla Mujeres (42.7%) y Tulum (44.4%) percibieron un mayor porcentaje de uniformidad en la acumulación de sargazo (Figuras 9 y 10).

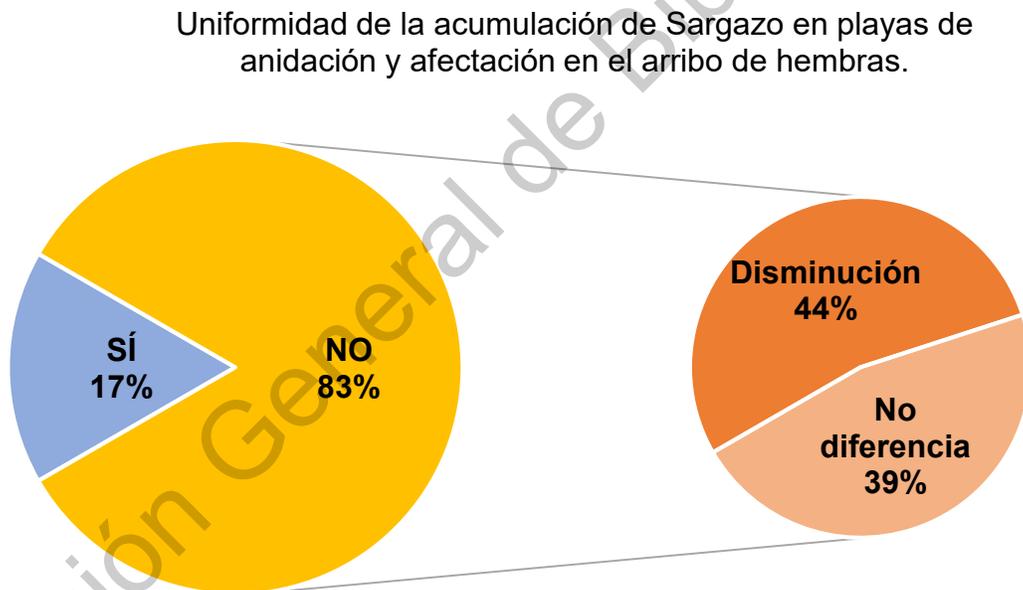


Figura 9. Percepción de la uniformidad en la acumulación de sargazo, y la respectiva afectación en el arribo de hembras en las playas de anidación.

Uniformidad de la acumulación de Sargazo en playas de anidación de tortugas marinas.

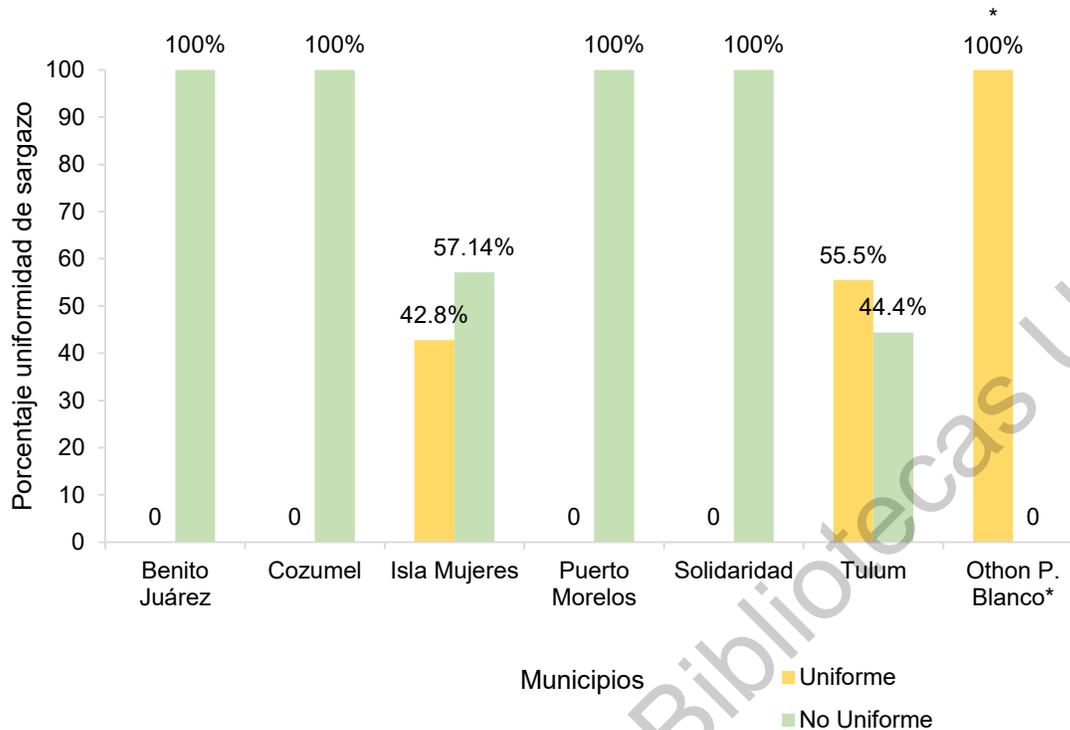


Figura 10. Percepción de la uniformidad de la acumulación de sargazo, por municipio.

De ese 83% que no percibió uniformidad en la acumulación de sargazo, el 39% corresponde a aquellos que no notaron diferencias en el arribo de hembras en las playas de los municipios de Benito Juárez, Isla Mujeres y Puerto Morelos. Sin embargo, el 44% sí observó una disminución de arribo de hembras porque las montañas de sargazo dificultaron que las tortugas subieran a desovar. Sólo el 8.3% de encuestados en Isla Mujeres percibió disminución en el arribo de tortugas marinas, sin embargo, en Tulum un 80% dijo haber percibido disminución en el número de arribos. En cuanto a Benito Juárez y Solidaridad se observan proporciones del 50% sobre la percepción de disminución, pero en Cozumel se percibió el 100% de disminución en el arribo de hembras (Figura 11).

Al preguntar a los encuestados si notaron una disminución en el arribo respecto a la acumulación de sargazo como un factor que afecta al proceso de anidación de las tortugas marinas y la forma en que podría estar afectando se encontró que un 62.5% dijo que las tortugas tienen dificultades buscando un lugar apto para anidar, el 25% dijo que la barrera de sargazo dificulta el arribo de las

tortugas y un 12.5% dijo que por la acumulación de sargazo, las hembras se vieron obligadas a buscar otras playas lo que disminuyó el número de nidos (Figura 12).

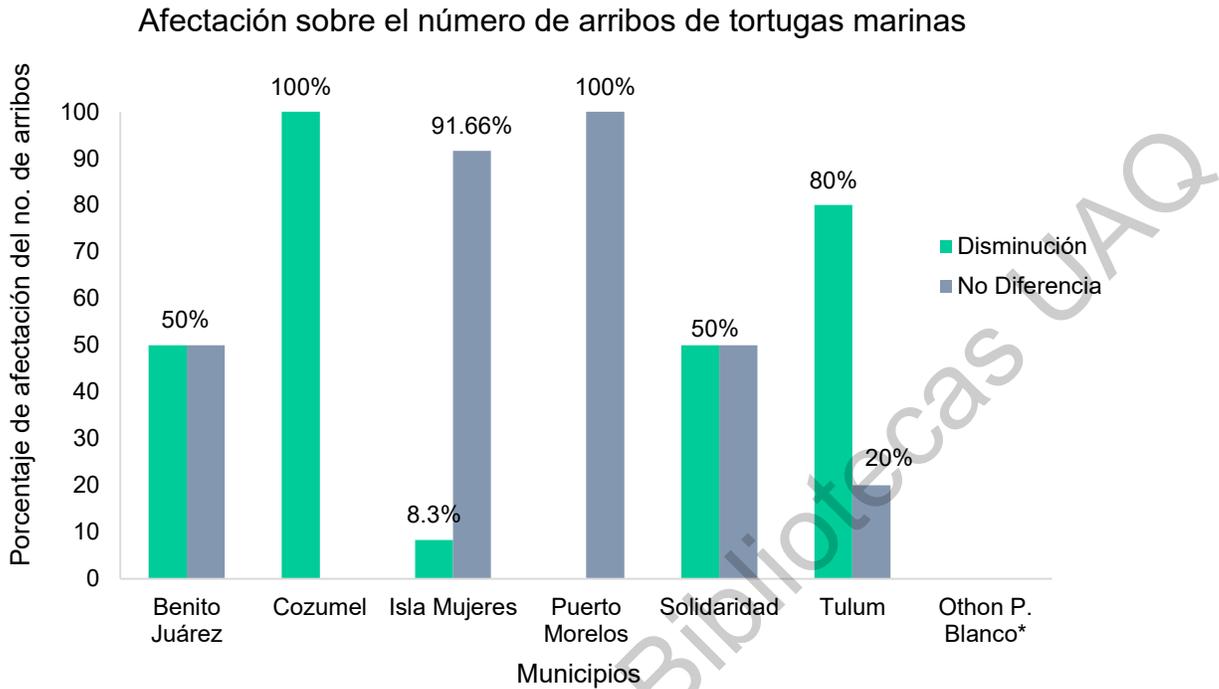


Figura 11. Percepción de la afectación de sargazo sobre el número de arribos de tortugas marinas, por municipio.

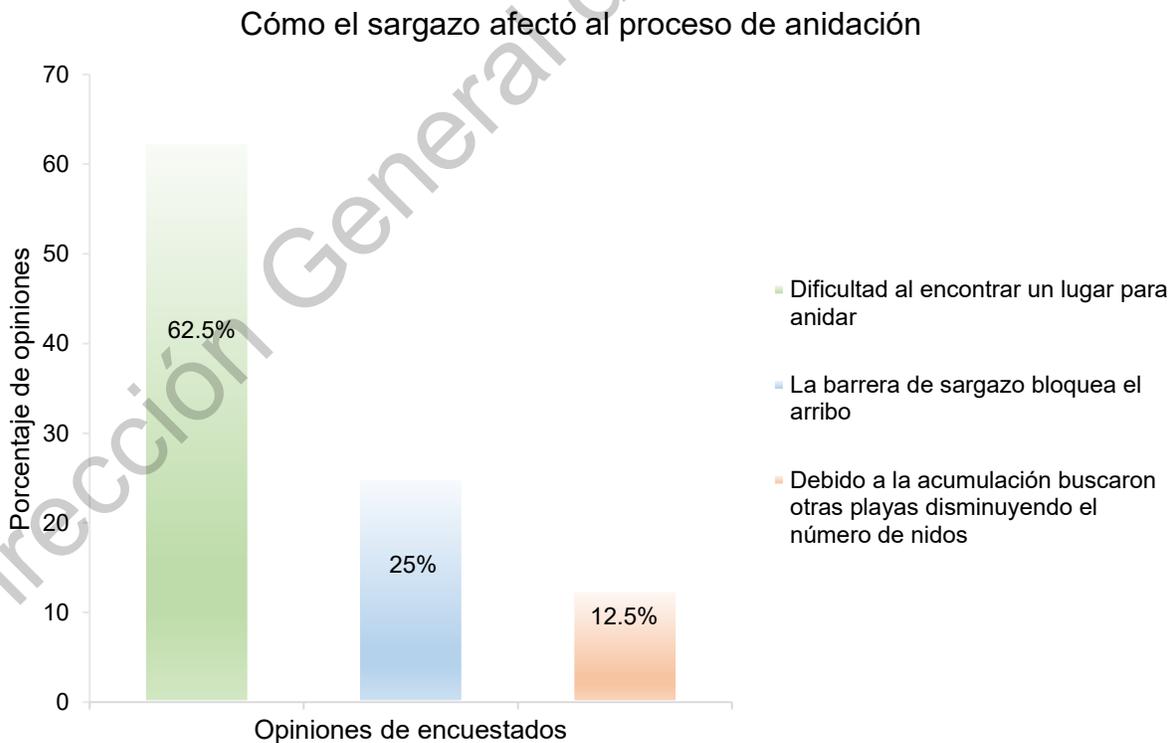


Figura 12. Opiniones sobre la afectación de sargazo en el proceso de anidación.

7.2.4. Efectos del sargazo en la distribución de anidación y desoves de tortugas marinas

En las respuestas sobre el efecto de la acumulación de sargazo en la distribución de la anidación de tortugas marinas se encontró que un 38.9% de los encuestados no observó cambios, mientras que un 61.1% sí observó un cambio en la distribución (Figura 13). En la figura 14 se muestra que un 44% no percibió cambios en el número de nidos puestos a causa de la acumulación de sargazo, sin embargo, un 39% sí percibió una disminución promedio de 54.3%.

Afectación del sargazo en la playa sobre la distribución de la anidación de tortugas marinas

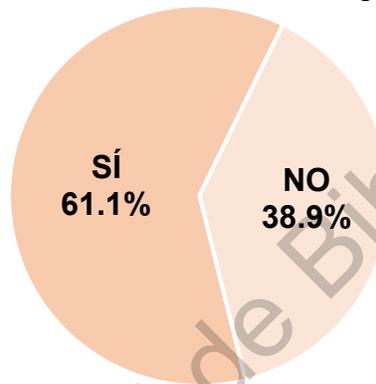


Figura 13. Percepción sobre el efecto de sargazo sobre la distribución de la anidación de tortugas.

Afectación por la acumulación del sargazo en la playa sobre el número de nidos.

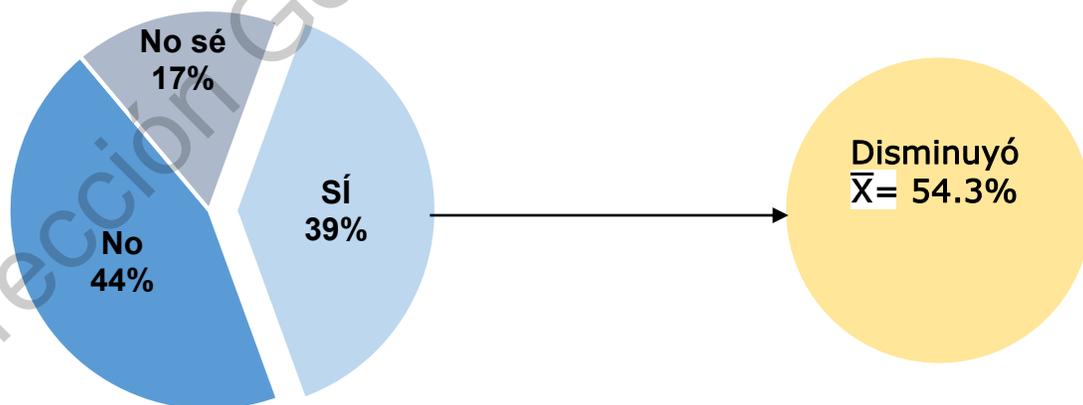


Figura 14. Percepción del efecto de la acumulación de sargazo sobre el número de nidos.

Los resultados sobre la afectación en el número de nidos indicaron que en Solidaridad se percibió el 50% de afectación en relación con quienes dijeron lo contrario, 33.3%; en Tulum y Benito Juárez el resultado fue unánime ya que no se percibió afectación alguna sobre el número de nidos. En el caso de Isla Mujeres en 11 de las 21 playas no se percibió un cambio arrojando un 52.38%, y con 1 valor de diferencia, 10 playas equivalentes al 47.6% sí notaron una disminución en el número de nidos, mientras que en Cozumel se percibió el 50% de disminución (Figura 15). De aquellos municipios que percibieron una disminución en el número de anidaciones Solidaridad percibió una disminución de casi la mitad de los nidos (46.6%), un 29% de disminución de nidos en Isla Mujeres, y por último Cozumel con disminución del 10% del total de nidos (Figura 16).

Del 61.1% representado en la figura 13 que observó un cambio en la distribución de la anidación por la acumulación, reportaron como comentarios libres, que al no haber zonas libres de sargazo, no hubo desoves (66.6%); un 16.6% dijo que la disminución de las zonas de anidación causó un confinamiento de los desoves destruyendo otros nidos a su paso, y otro 16.6% observó que las tortugas necesitaron subir a la duna, en zonas libres de sargazo para poder desovar (Figura 17).

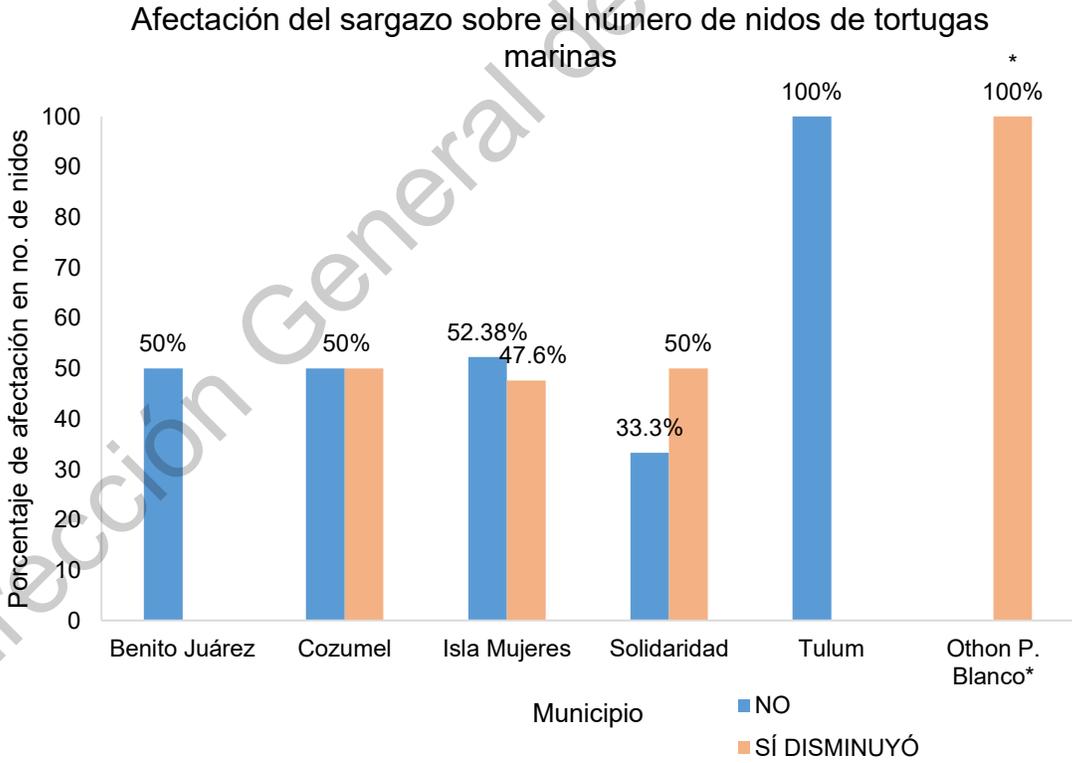


Figura 15. Percepción de la afectación en el número de nidos de tortugas marinas, por municipio.

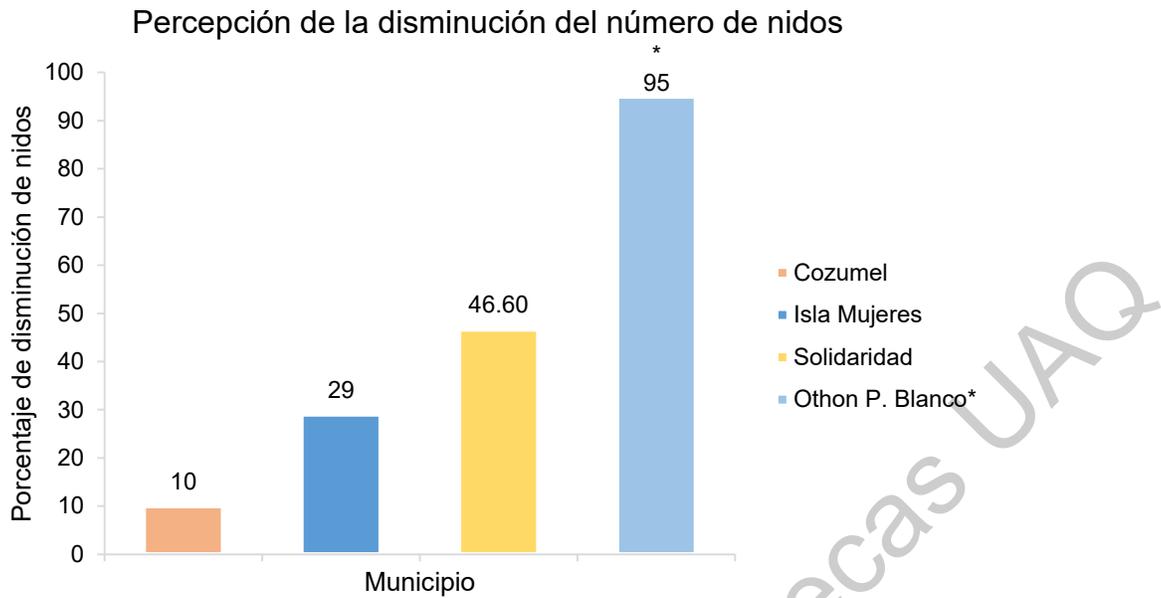


Figura 16. Proporción percibida en la disminución del número de nidos de tortugas marinas, por municipio.

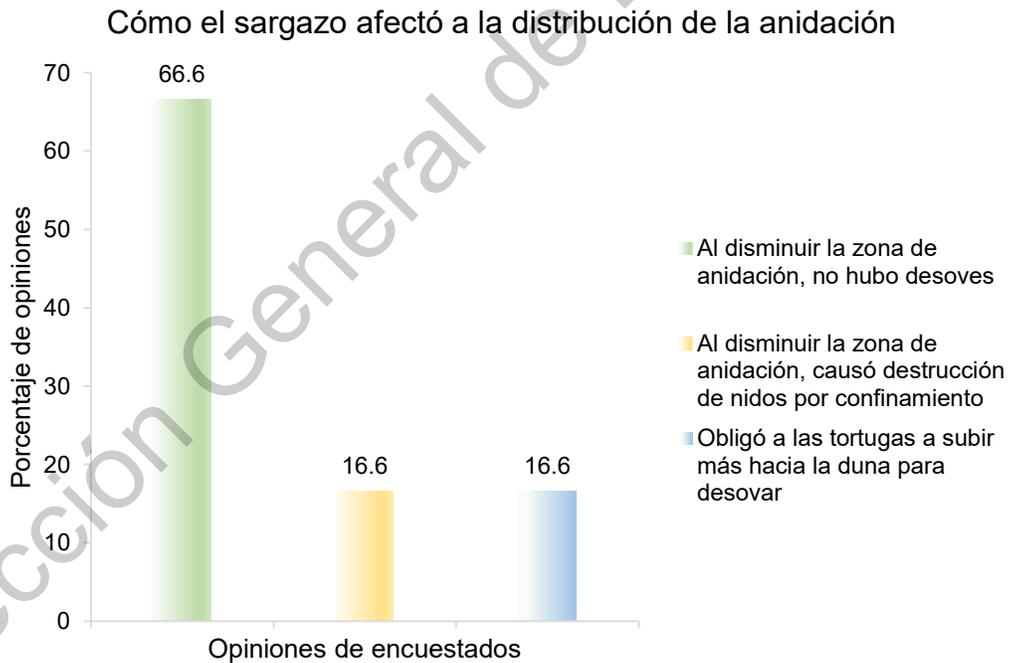


Figura 17. Opiniones sobre la afectación de sargazo en la distribución de la anidación de tortugas marinas.

7.2.5. Efecto del sargazo sobre el número de eclosiones

Las respuestas de los encuestados sobre una afectación en el número de eclosiones mostraron que un 56% no observaron alguna anomalía, pero el 44% dijo que sí hubo un efecto por el sargazo, estos percibieron un promedio de 40% menos eclosiones (Figura 18).

Al analizar los resultados por municipio, en la figura 19 se observa que Benito Juárez y Cozumel tuvieron proporciones iguales del 50% respecto a los efectos en el número de eclosiones, en Isla Mujeres el 95.2% no encontró efectos, Solidaridad tampoco con un 66.6%, en Tulum percibieron un 77.7% de disminución (otro 11.1% desconocía la afectación), pero en Puerto Morelos la totalidad de encuestados percibió disminución de eclosiones.

Afectación por la acumulación del sargazo en la playa sobre el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas

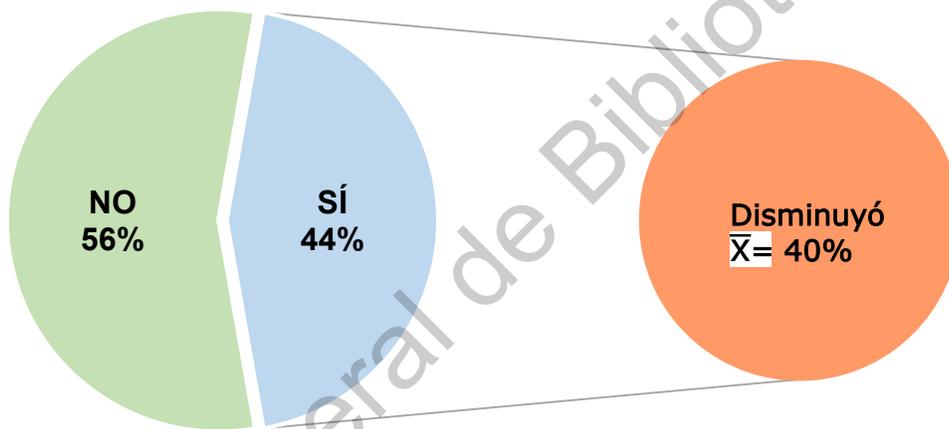


Figura 18. Percepción del efecto de la acumulación de sargazo sobre el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas.

Percepción del efecto por la acumulación de sargazo sobre el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas

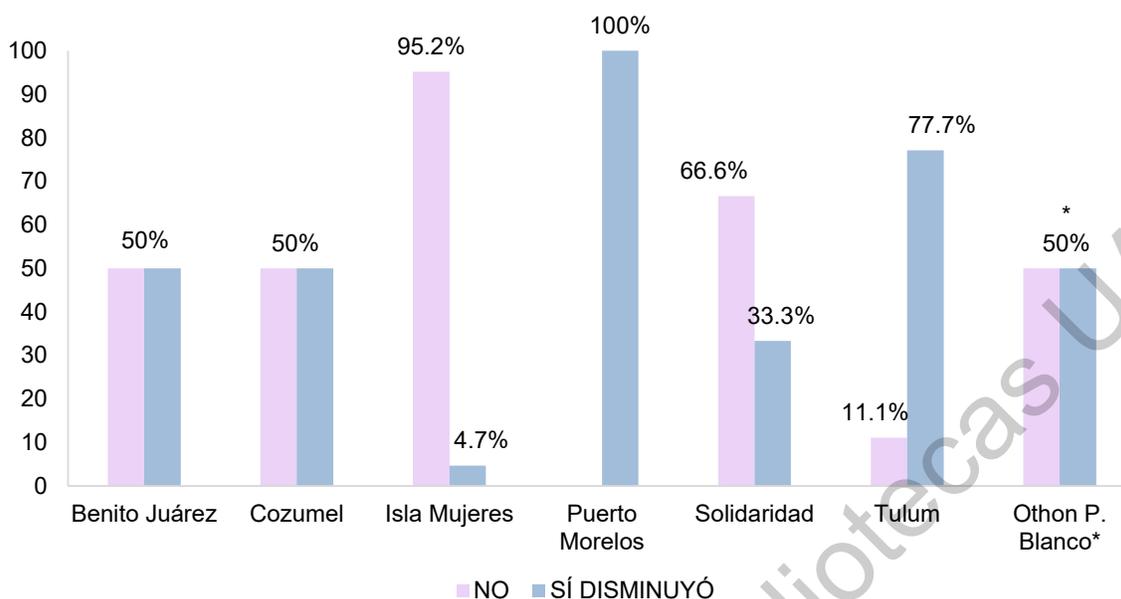


Figura 19. Percepción del efecto de la acumulación de sargazo sobre el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas por municipio.

Al preguntar la proporción de la disminución de eclosiones, en Tulum percibieron una disminución del 30%, Solidaridad un 28%, Cozumel el 20%, en Benito Juárez, Isla Mujeres y Puerto Morelos no sabían en qué proporción disminuyeron las eclosiones, por eso no se encuentran graficados los valores (Figura 20). En las opiniones sobre cómo el sargazo pudo afectar al número de eclosiones, un 55.5% de los encuestados dijeron que al quedar enterrados bajo el sargazo la temperatura de incubación se elevó afectando al desarrollo embrionario, el 22.2% dijo que llegó más sargazo debido a las tormentas y la elevación de la marea cubrió los nidos aumentando la temperatura de incubación, un 11.1% dijo que el sargazo ocasionó erosión de la playa y con esto la destrucción de los nidos y otro 11.1% dijo que la fauna que acarrea el sargazo atrajo a depredadores que mataron a las crías de tortugas antes de alcanzar el mar (Figura 21).

Percepción de la disminución en el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas.

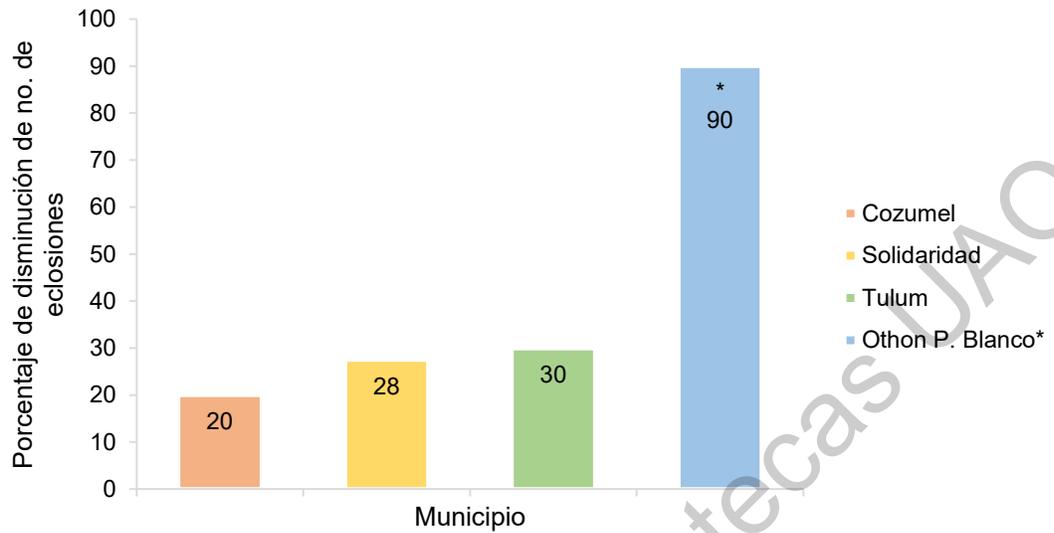


Figura 20. Percepción de la proporción de disminución de número de eclosiones de huevos de tortugas marinas, por municipio.

Cómo el sargazo afectó en el número de eclosiones

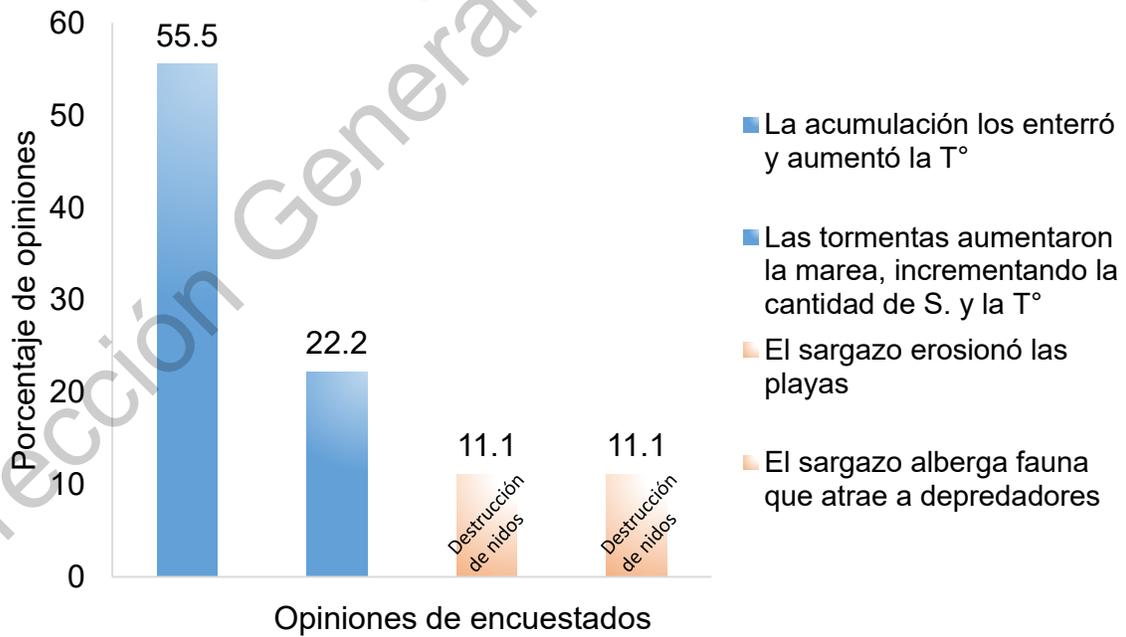


Figura 21. Opinión sobre la afectación de sargazo en el número de eclosiones.

7.2.6. Efecto sobre las crías que llegaron al mar

Los resultados al preguntar si se encontraron afectaciones por la acumulación de sargazo en el número de crías que lograron llegar al mar, un 67% afirmó que hubo un efecto negativo, en comparación con un 28% que contestó que no, y un 5% que desconocía este hecho. Del 67% que afirmó que existe un efecto negativo, el 39% de los encuestados dijo que un promedio de 26.4% de las tortugas no lograron llegar al mar (Figura 22). Sobre el efecto de la acumulación de sargazo en la llegada de las crías de tortugas marinas al mar, se puede observar que en todos los municipios se percibió un cambio que indica una disminución, en Solidaridad hubo una diferencia notable con un 83.3% que percibió disminución contra un 16.6% que dijo no haber visto tal cambio. En Cozumel un 100% de afectación, al igual que en Puerto Morelos. Benito Juárez tiene valores iguales, un 50% de negación y otro 50% de afirmación de afectación. De lo contrario en Tulum se observó que en su mayoría no hubo una percepción de disminución teniendo un 77.7% contra un 22.2% que sí percibió cambios, al igual en Isla Mujeres, sin embargo, un 52.38% dijo que no percibió disminución, pero el 47.61% afirmó haber encontrado disminución de crías llegando al mar, siendo así proporciones similares (Figura 23).

Afectación por la acumulación del sargazo en la playa sobre el número de crías que lograron su llegada al mar

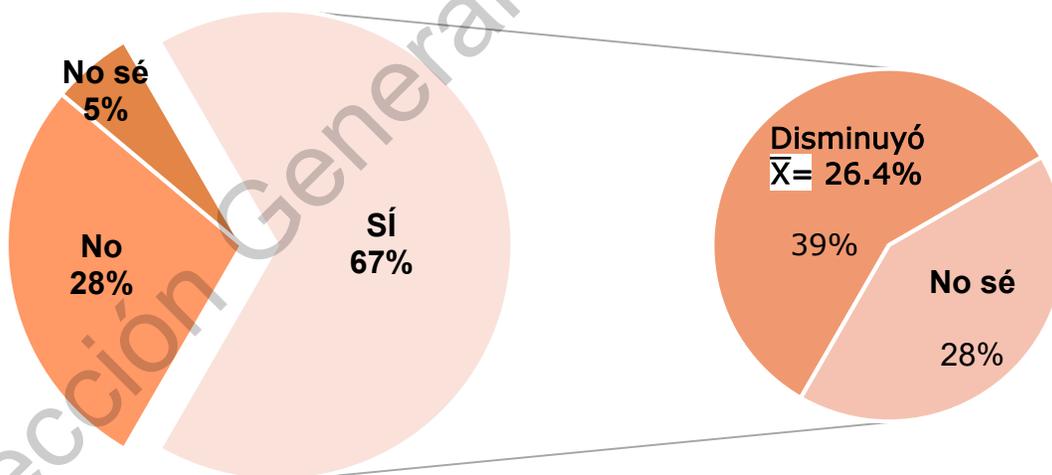


Figura 22. Percepción del efecto de la acumulación de sargazo en playas sobre el número de crías que lograron su llegada al mar y su disminución.

Percepción del efecto sobre la llegada al mar de crías de tortugas marinas por la acumulación de sargazo.

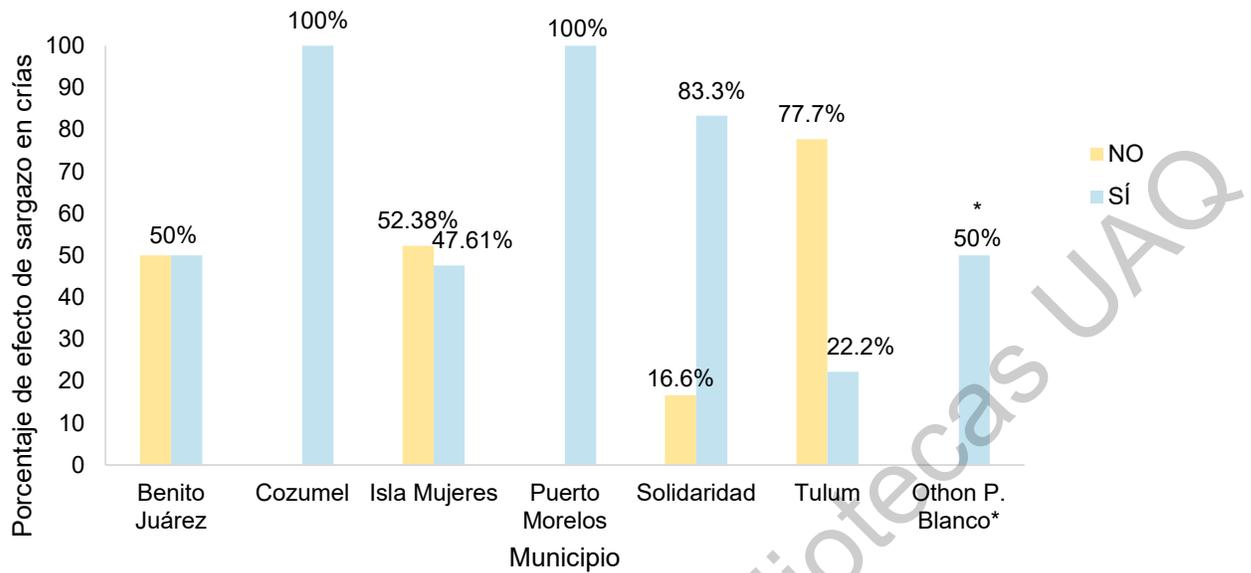


Figura 23. Percepción del efecto del sargazo sobre la llegada al mar de crías de tortugas marinas.

Solidaridad fue el municipio que percibió una mayor proporción de disminución de llegada de crías al mar con un porcentaje promedio de 25.8%, seguido de Cozumel de 20% y Tulum de 4.2%, mientras que Benito Juárez, Isla Mujeres y Puerto Morelos desconocían la proporción de esta posible afectación (Figura 24). Al analizar los resultados sobre el hallazgo de casos de mortandad de crías de tortugas marinas debido a la acumulación de sargazo, en todos los municipios se encontraron, siendo Puerto Morelos el municipio con percepción del 100% de casos de mortandad, seguido de Solidaridad con una proporción de 83.3%, Benito Juárez y Cozumel tuvieron proporciones del 50% de hallazgo de mortandad, Isla Mujeres sólo un 42.8% de mortandad, mientras que Tulum por el contrario, el 88.8% no encontró mortandad (Figura 25).

Percepción de la disminución del número de crías en su llegada al mar.

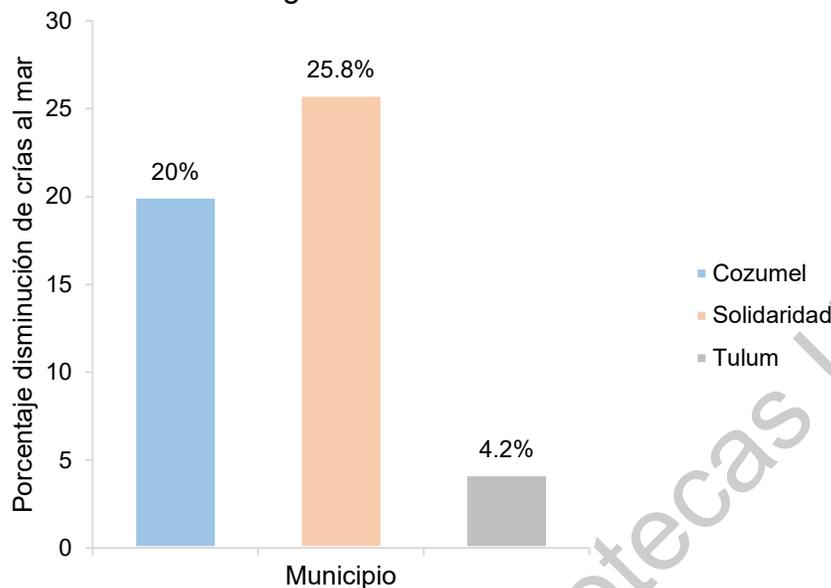


Figura 24. Percepción de la proporción de la disminución del número de crías de tortugas marinas en su llegada al mar por municipio.

Percepción de la proporción de casos de hallazgos de mortandad de crías de tortugas marinas

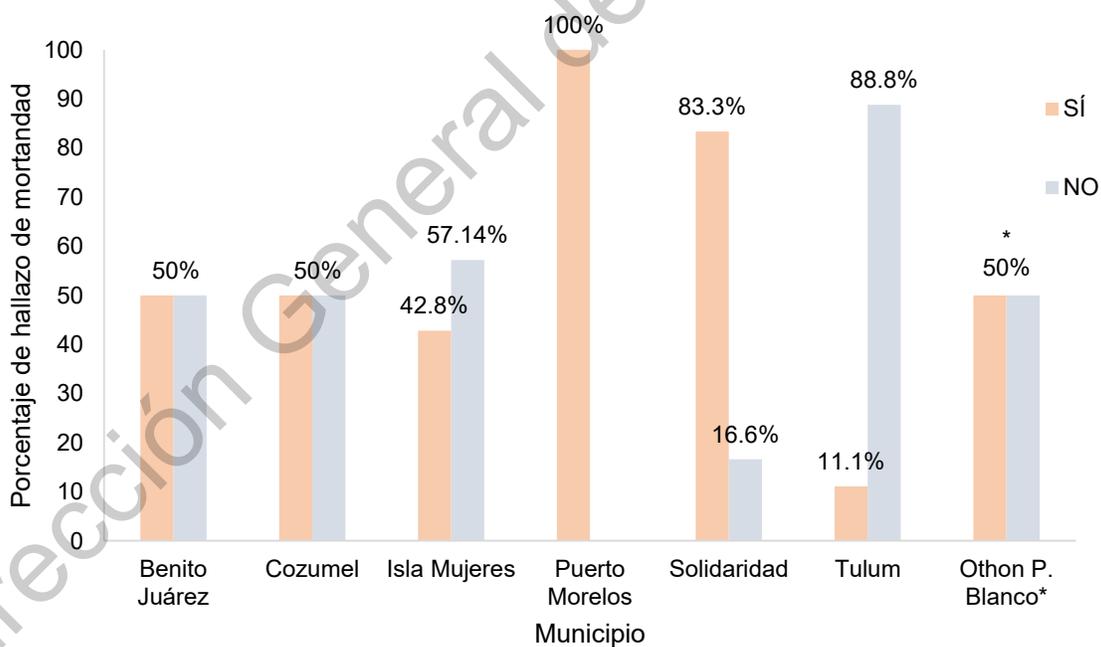


Figura 25. Percepción del hallazgo de mortandad de crías de tortugas marinas, por municipio.

7.2.7. Efecto de la limpieza del sargazo sobre las tortugas marinas

El gobierno implementó medidas de limpieza con maquinaria y manual en playas seleccionadas como las más afectadas; se preguntó si se hizo limpieza en las playas de los campamentos, se obtuvo un 33% sin limpieza y un 67% en donde sí se hizo limpieza de sargazo, posteriormente se preguntó a las personas que afirmaron que se hizo limpieza en playas sobre si el proceso de limpieza pudo haber afectado a las tortugas marinas, un 39 % afirmó que sí afectó, y el 28% restante dijo que no afectó (Figura 26). Respecto a la limpieza por municipios, en Isla Mujeres un 42.9% dijo que sí se hizo limpieza y un 57.14% dijo que en sus playas no se hizo limpieza. En Tulum un 55.5% dijo que no se hizo limpieza, pero en el 44.4% de las playas sí se hizo, habiendo una pequeña diferencia. En Benito Juárez y Cozumel en la mitad de las playas se hizo limpieza y en la otra no. En Puerto Morelos y Solidaridad, se hizo limpieza en todas las playas (Figura 27). Se encontró efecto de la limpieza de sargazo en casi todos los municipios, excepto en Isla Mujeres en donde un 100% contestó que no tuvo impacto, en Benito Juárez, Cozumel y Puerto Morelos el 100% percibió un efecto negativo. En Solidaridad y Tulum se observan proporciones iguales de 50% efecto negativo a la ausencia de efecto (Figura 28).

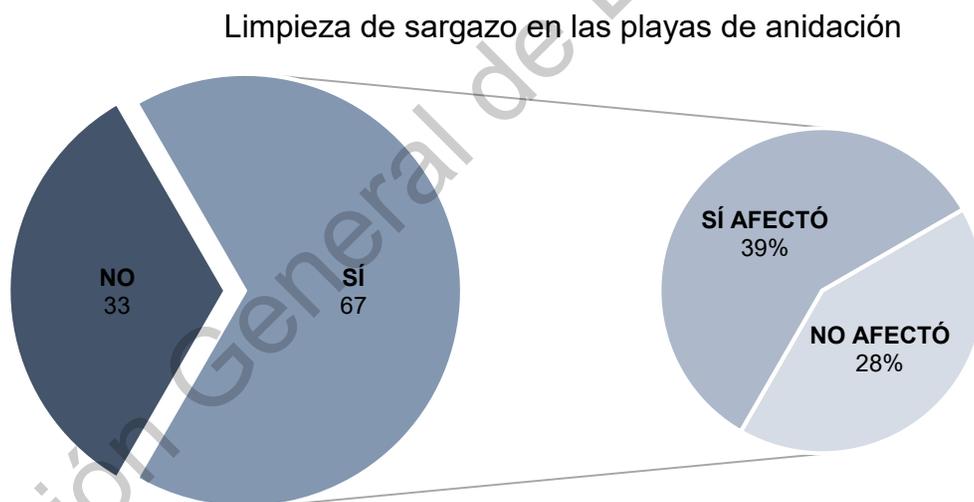


Figura 26. Limpieza de sargazo y percepción de afectación por la limpieza en las playas de anidación.

Limpeza de sargazo en las playas del municipio

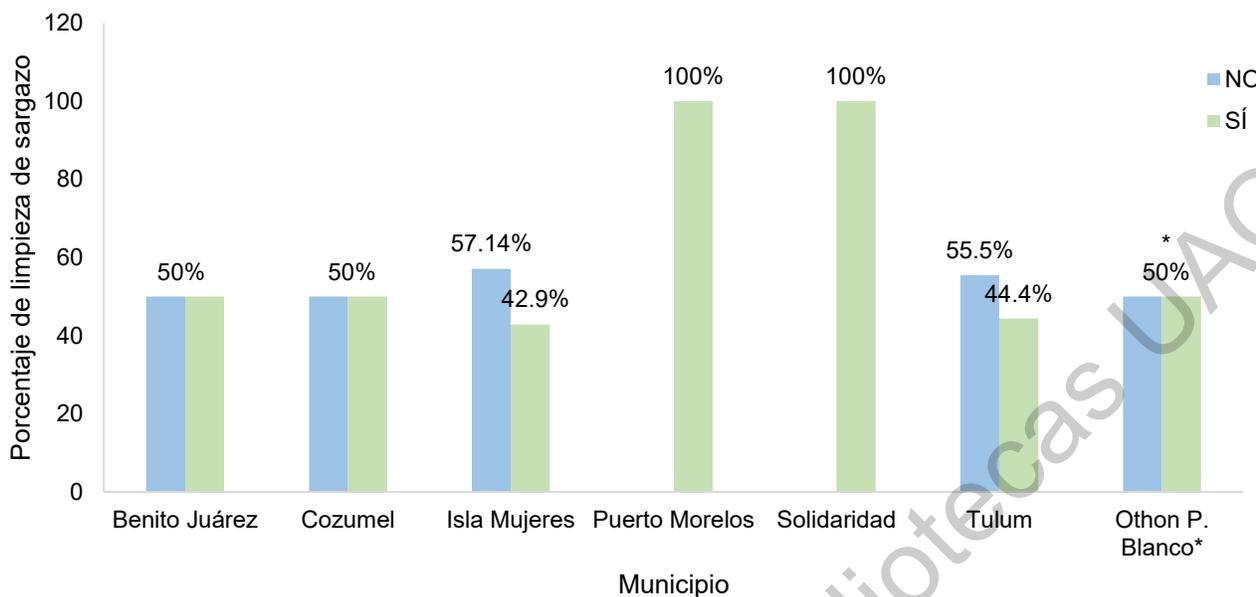


Figura 27. Limpieza de sargazo en las playas, por municipio.

Efecto negativo de la limpieza en las playas sobre las tortugas marinas

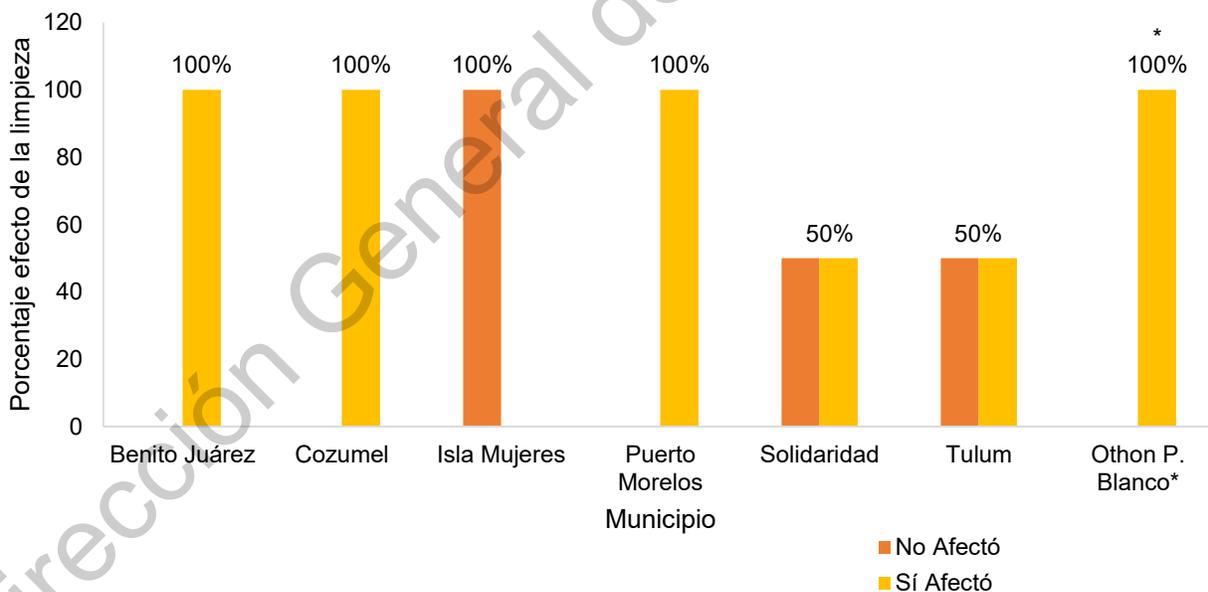


Figura 28. Percepción del posible efecto de la limpieza en las playas de Quintana Roo.

Al preguntar la opinión sobre la forma en que la limpieza afectó a las tortugas un 28.5% dijo que la maquinaria compacta la arena alterando las condiciones para que las hembras hagan el nido, el 21.4% opinó que al enterrar el sargazo se redujo el área de anidación, otro 21.4% dijo que enterrar el sargazo en la arena y entrar en descomposición podría alterar la temperatura de incubación, un 14.2% dijo que la maquinaria utilizada para limpiar estaba destruyendo los nidos, un 7.1% no recibió ayuda de limpieza de la playa, además de que es imposible limpiar el sargazo en grandes cantidades, otro 7.1% opinó que la limpieza sólo beneficia al paso de crías hacia el mar (Figura 29).

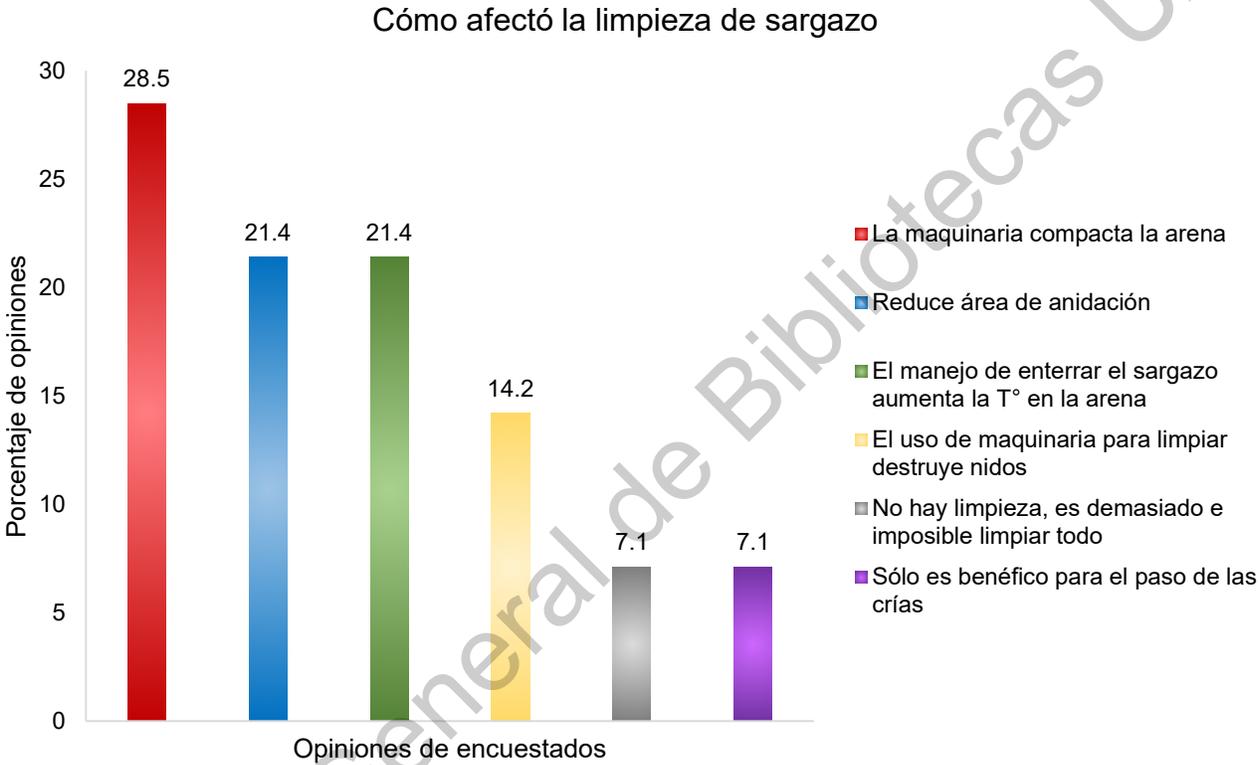


Figura 29. Opiniones sobre las posibles formas de afectación por la limpieza de sargazo.

7.2.8. Red anti-sargazo

Otra acción que el gobierno tomó fue la colocación de una red anti-sargazo a lo largo de las playas, nuevamente, sólo en las más afectadas. Se preguntó a los encuestados si conocían dicha estructura, un 17% no sabía sobre la red, mientras que el 83% sí había visto la red anti-sargazo (Figura 30). Se le preguntó a aquellos que conocían la red anti-sargazo sobre el impacto que esta pudiera tener sobre las tortugas marinas, a lo que un 64.7% contestó que podría atrapar a las crías de tortugas que buscan llegar a mar abierto, el 11.7% dijo que la acumulación del sargazo entre la red puede impedir la anidación de hembras, otro 11.7% dijo que la red no estaba evitando la llegada de sargazo a la playa, otro 5.8% dijo que podría ser de utilidad para evitar la llegada de sargazo pero no recibieron ayuda, ni se colocó la red en todas las playas, un último 5.8% dijo que las redes se colocaron después de la temporada de anidación por lo que no se conoce el impacto que pudo tener respecto a la anidación de tortugas marinas (Figura 31).

¿Conoce la red anti-sargazo?

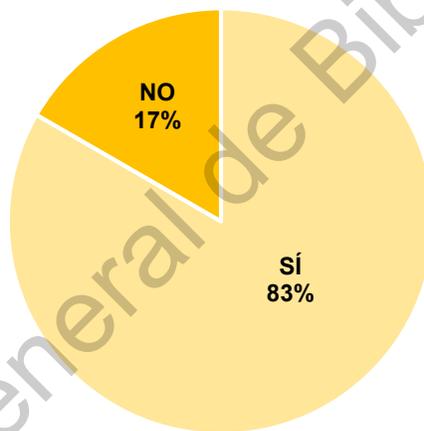


Figura 30. Familiarización de los tortugeros con la red anti-sargazo.

Impacto de la red anti-sargazo

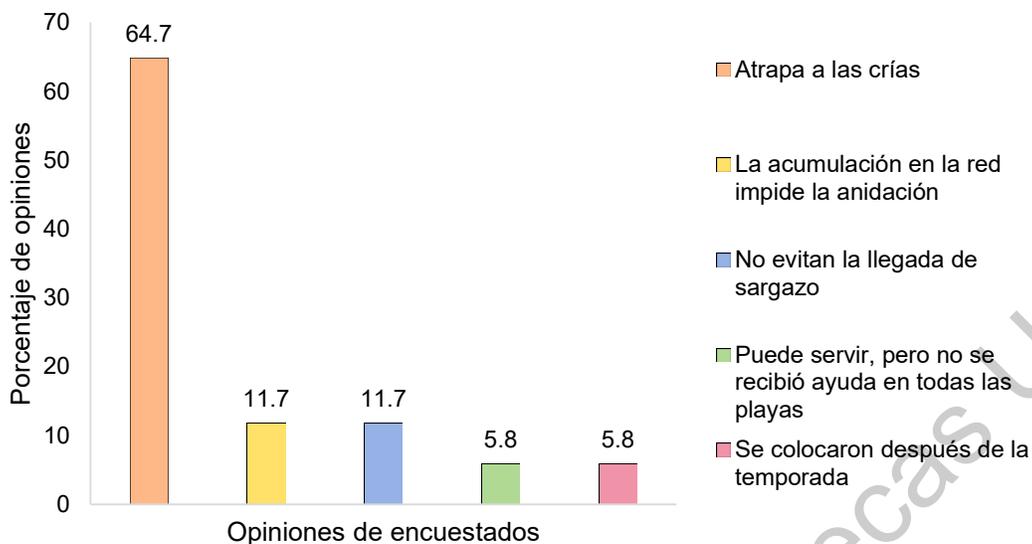


Figura 31. Opinión del posible impacto de la red anti-sargazo en las tortugas marinas.

Por último, se dejó una sección abierta para que, si así lo deseasen, los encuestados hicieran otras observaciones respecto al tema de la acumulación de sargazo. Agrupando las respuestas que se obtuvieron, un 23.5% dijo que el sargazo sí afectó a la anidación, 11.7% dijo que el sargazo no es la causa de la disminución del arribo de hembras, 17.6% dijo que el sargazo sólo representa riesgo para los nidos *in situ*, 5.8% dijo que afecta a la distribución de la anidación de hembras, otro 11.7% que se debe predecir con visión del cambio climático sobre la llegada de sargazo en años posteriores, un último 11.7% sugiere que se deben detener las construcciones, hotelería y demás infraestructura permanente en las playas; dos personas (5.8%) observaron que el crecimiento desmesurado de la vegetación por la presencia de sargazo podría representar un riesgo para nidos y el último 5.8% vio un riesgo para las tortugas por la excavación de arena para el entierro de sargazo (Figura 32).

Otras observaciones

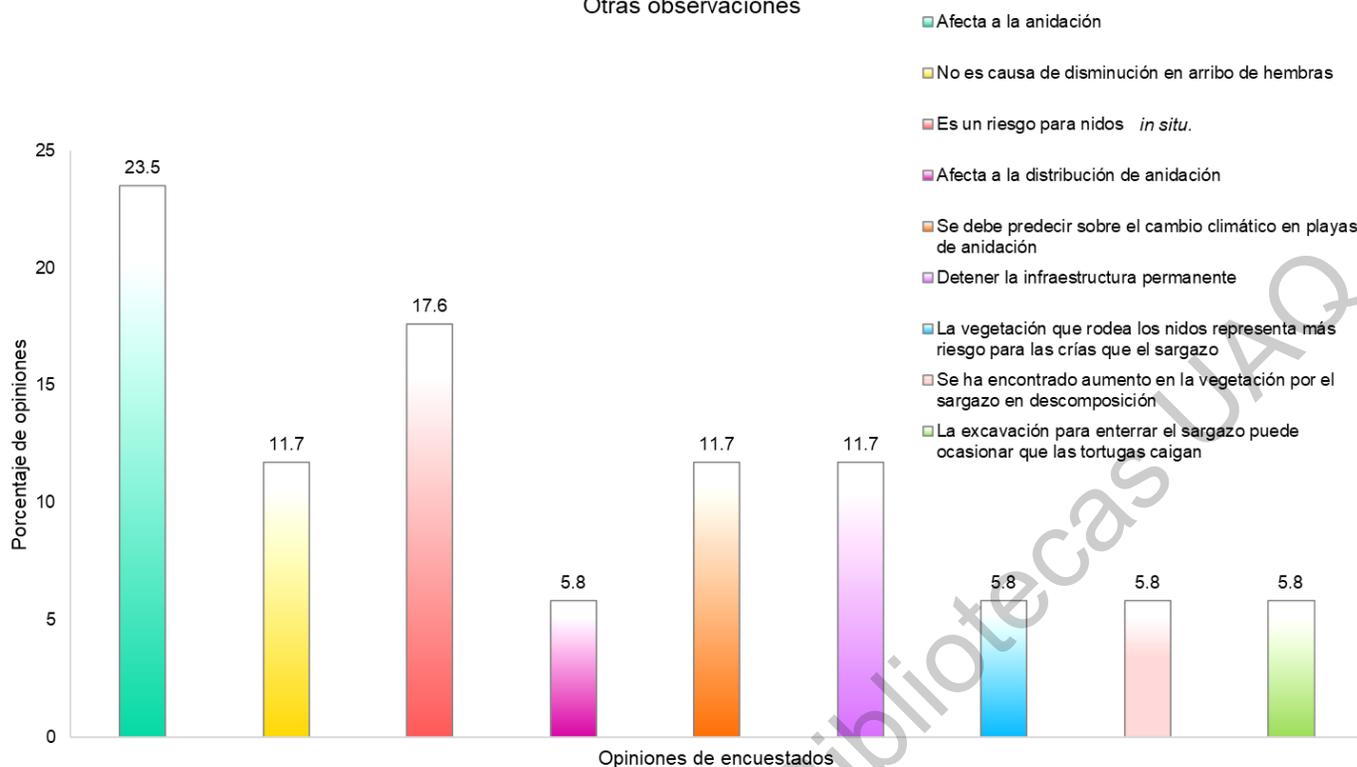


Figura 32. Comentarios libres sobre el sargazo y las tortugas marinas en Quintana Roo.

7.3. Análisis de anidaciones totales en 2016 y 2018

En la tabla 4, con los valores representados en color rojo, se observa que en la mayoría de las playas se encontró un porcentaje de disminución en el número de anidaciones de tortuga caguama, a excepción de San Juan aumentando un 16.4% y Paamul un 30.9% en el 2018 (valores remarcados). Sin embargo, fueron más los porcentajes de disminución del número de anidaciones encontrados, Chemuyil tuvo una disminución del 77.9% de anidaciones, Xcacel un 58.1%, Lirios Balandrin un 57.5% y Xel Há un 54.9% en el 2018. Playas con menos del 50% de afectación se observó Kanzul, Cahpechen, Tankah, Aventuras DIF, Punta Venado y Punta Cadena. Aunque la diferencia entre el número de nidos entre 2016 y 2018 no fue significativa ($p=0.06$), la mayoría de las playas fueron numéricamente afectadas con disminución en el total de nidos.

En el caso de la tortuga blanca, también se observó una afectación en la mayoría de las playas, las disminuciones fueron de menos del 50%, exceptuando Chemuyil en donde hubo 75.5% menos nidos, a pesar de que no fue año de alza de anidaciones para la especie, la comparación entre 2016 y 2018 representa una disminución significativa ($p=0.01$).

Tabla 4. Comparación del total de anidaciones entre las temporadas del 2016 y 2018 de *Caretta caretta*.

Playa	Carga de nidos por metro lineal		Porcentaje de disminución o aumento (%)
	2016	2018	
Punta Venado	43.11	42.00	2.6%
Paamul	70.00	91.60	30.9%
Aventuras DIF	404.67	306.67	24.2%
Chemuyil	453.33	100.00	77.9%
Xcacel	285.20	165.60	58.1%
Xel Há	1050.00	473.33	54.9%
Punta Cadena	796.67	783.33	1.7%
Tankah	75.25	55.00	26.9%
Kanzul	137.25	83.75	38.9%
Cahpechen	95.33	66.00	30.8%
Lirios Balandrin	45.25	19.25	57.5%
San Juan	25.60	29.80	16.4%
Promedio	290.13	184.69	36.34

Tabla 5. Comparación del total de anidaciones entre las temporadas del 2016 y 2018 de *Chelonia mydas*.

Playas	Carga de nidos por metro lineal		Porcentaje de disminución o aumento (%)
	2016	2018	
Punta Venado	35.1	23.3	33.5%
Paamul	84.4	128.8	52.6%
Aventuras DIF	323.3	251.3	22.3%
Chemuyil	653.3	160.0	75.5%
Xcacel	954.8	717.2	24.9%
Xel Há	1713.3	1213.3	29.2%
Punta Cadena	633.3	396.7	37.4%
Tankah	535.3	389.5	27.2%
Kanzul	252.0	192.5	23.6%
Cahpechen	376.4	278.0	26.2%
Lirios Balandrin	50.3	30.8	38.8%
San Juan	112.0	65.4	41.6%
Promedio	476.95	320.56	32.78%

8. Discusión

Durante el año 2018 casi el 90% del largo de las 40 playas evaluadas fue invadida por sargazo, y se reportó que el 75% del área de anidación se encontró invadida con sargazo. De manera general, estos resultados son consistentes con el registro de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente de Quintana Roo (SEMA, 2019), en el cual se registró un total de 522,000 toneladas de sargazo retirado en toda la zona costera del estado durante el año 2018. Todos los municipios tuvieron una invasión de más del 50% a lo largo de las playas, entre estos, Benito Juárez, Cozumel y Puerto Morelos reportaron 100% de invasión. No obstante, el varamiento de sargazo no fue uniforme, es decir, los tortugeros reportaron que más del 80% de las playas evaluadas tuvieron áreas con mayor acumulación del alga, ocasionando que percibieran una disminución en el número de arribos de tortugas en casi todos los municipios pues dentro de este porcentaje, en los municipios de Benito Juárez, Cozumel, Puerto Morelos y Solidaridad, observaron el 100% de zonas con mayor acumulación de sargazo. Por otro lado, Abreu (2016) menciona que cuando una playa de anidación es destruida o queda obstaculizada, las hembras se ven obligadas a buscar sitios alternos en las cercanías. Tal como se reportó en un estudio en la Península de Guanahacabibes, donde se registró disminución en el arribo en las tortugas caguama debido a la acumulación de montañas de sargazo (Azanza *et al.*, 2016). No obstante, en el caso de este estudio no se midió el impacto del sargazo directamente en la reproducción de las tortugas y al nacimiento, ya que para saber si afecta, es necesario hacer una evaluación del tiempo que tardan las tortugas para arribar a la playa y del número de intentos de arribos de tortugas, tanto en zonas en las que el sargazo está acumulado excesivamente, como también en zonas libres o con mínima acumulación de sargazo.

Por otro lado, más del 60% de los tortugeros observaron un cambio en la distribución de la anidación de las tortugas ocasionada por la invasión de sargazo, y un promedio de 54.3% de disminución del número de nidos observados. Maurer *et al.* (2015) observaron que la reducción de áreas que las tortugas prefieren para anidar eleva la densidad de nidos en áreas libres de sargazo; aumentando así la posibilidad de que otras hembras destruyan nidos previamente colocados para desovar. Por el contrario, Azanza *et al.* (2016) no encontraron disminución de nidos en la Península de Guanahacabibes, dado que la playa es más extensa que las playas descritas por Maurer *et al.* (2015). No obstante, el estudio retrospectivo mostró disminución del número de nidos de tortuga caguama y blanca durante la temporada del 2018 en comparación con el 2016, en la mayoría de las playas del municipio de Tulum. Aunque, los tortugeros del mismo municipio no percibieron dicha disminución ya que el 100% no reportó disminución. Es posible que la acumulación de sargazo alterara la calidad de las playas, debido a que las tortugas eligen las playas para anidar por la

consistencia de la arena, la temperatura, el olor del sitio y algunas sustancias químicas (Hendrickson, 1982; Mortimer, 1982). Además, cada especie de tortuga tiene distintas preferencias de zonas de anidación, por ejemplo: *C. caretta* prefiere la verma, en comparación con *C. mydas* que prefiere la duna (Abreu, 2016). No obstante, ambas especies mostraron disminución en el número de nidos en el año 2018, pero se observó que *C. mydas* tuvo un menor porcentaje de nidos (32.78%) en comparación con *C. caretta* (36.34%), en 6 playas, consideradas índice para la anidación de tortugas marinas (TEWG, 2009). Tal como se observa en el registro histórico de anidaciones de tortuga marina (Ver apéndice III) (FFYCM, 2018), en donde se observa un incremento en las anidaciones de ambas especies de tortugas desde el año 2012, pero en el 2018 se muestra una disminución marcada. Azanza *et al.* (2016) registraron que las anidaciones de *C. caretta* fueron afectadas por obstáculos en la playa que les impidieron el arribo y la anidación, cuando se acumuló mayor cantidad de sargazo en la orilla de las playas; lo que aumentó el número de anidaciones fallidas y disminuyó el rendimiento reproductivo.

Respecto a la incubación en los nidos, menos del 50% de los encuestados observaron disminución de las eclosiones ocasionadas por la acumulación de sargazo, sin embargo, todos los encuestados en Puerto Morelos percibieron disminución de eclosiones. Aunque los tortugeros dijeron que hubo una disminución del 40% de eclosiones, no se pudo comprobar el efecto del sargazo sobre las eclosiones, debido a que no se tienen los registros del número exacto de eclosiones. No obstante, se esperaría una disminución del número de crías totales al menos en Tulum, ya que, de acuerdo a lo reportado por Maurer *et al.* (2015) los parámetros mínimos necesarios de incubación en los nidos se pueden alterar por la acumulación de sargazo, debido a que comienza un proceso de descomposición y produce ácido sulfhídrico, creando así un ambiente de incubación anóxico y por ende altera las condiciones fisicoquímicas del nido.

Asimismo, el sargazo en descomposición podría afectar la salud de las crías eclosionadas, aunque, dichos efectos no se podrán observar y cuantificar hasta la etapa adulta de las tortugas; por lo que es necesario hacer un estudio a largo plazo, para dilucidar el efecto que la acumulación de sargazo tuvo sobre las tortugas nacidas, monitoreando nidos *in situ* cubiertos con sargazo en todas las playas de anidación, ya que como mencionan algunos autores, en estos nidos el éxito de eclosión podría verse comprometido (Delgado, 2016, Koch *et al.* 2016). Así como el conteo de crías resultantes, medir la temperatura y humedad de los nidos que quedan bajo el sargazo. Adicionalmente, sería importante analizar el índice de éxito de eclosión de los huevos, registrar aquellos que no completaron la formación embrionaria, llevar un registro específico de mortandad

de crías en nidos cubiertos con sargazo. Finalmente, como medida a futuro los nidos afectados deberían ser trasladados a corrales, y las crías resultantes liberadas en zonas libres de sargazo. En lo que respecta al efecto del sargazo sobre el número de crías que llegaron al mar, las encuestas nos muestran que la acumulación de sargazo obstaculizó el paso de las crías eclosionadas lo que pudo ocasionar mortandad de éstas en todos los municipios, ya que así se reportó en las encuestas. A pesar de esto, no se tiene información para llevar un estudio retrospectivo y así revisar dicho efecto. Sin embargo, algunos autores (Gavio *et al.*, 2018; Maurer *et al.*, 2016) demostraron que el paso de las crías se vio obstruido por las montañas de sargazo (Ver apéndice IV); en contraste, Azanza *et al.* (2016) no reportaron problemas con la emergencia y desplazamiento de las tortugas, pero dicha eclosión se llevó a cabo cuando el sargazo comenzó a disminuir en las playas. La dificultad en las crías para encontrar el mar debido a la acumulación de sargazo aumenta las amenazas de supervivencia tanto en los ecosistemas marinos como en los terrestres (Triessnig *et al.*, 2012). De igual manera, incrementa la probabilidad de depredación (Stancyk, 1995), ya que los residuos y obstáculos alargan el tiempo de desplazamiento, ocasionando que queden atrapadas, e incrementan la mortalidad de las crías (Triessnig *et al.*, 2012), porque se exponen a morir por hipertermia, desecación (Bustard, 1972) y por otras causas antropogénicas, p.e. atropellamientos, (National Research Council, 1990). Por lo que sería importante corroborar si el sargazo está dificultando el paso de las tortugas, pero para esto se necesita elaborar un estudio de cronometraje del tiempo que tardan las crías desde su emergencia del nido hasta que logran llegar al mar en una zona libre de sargazo y compararlo con zonas con acumulación de sargazo, únicamente con eclosiones de nidos *in situ*.

En relación con la limpieza de sargazo, el gobierno del Estado de Quintana Roo empleó herramienta manual y equipo mecánico para la limpieza y barrido de sargazo; mediante barredora con tractor agrícola y remolque de 4 toneladas, posteriormente se acarreó a un sitio de amontonamiento y se llevó al sitio de disposición final (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2018). Las encuestas de los tortugeros mostraron que aproximadamente en el 70% de las playas tuvieron dicha limpieza de sargazo, y que esta acción afectó a las tortugas marinas, principalmente en los municipios de Benito Juárez, Cozumel y Puerto Morelos, a causa del uso de maquinaria pesada pues compactó la arena lo que podría dificultar la anidación.

Actualmente se sigue usando maquinaria pesada para limpiar el sargazo acumulado en el municipio de Benito Juárez y Solidaridad, lo cual puede afectar ya que se compacta la arena y se dañan los nidos existentes de tortugas marinas y dificulta la puesta de nuevos nidos (Varillas, 2019). Sin embargo, éste estudio no abarcó la investigación para revisar el impacto del uso de maquinaria

pesada para la limpieza y su efecto sobre la erosión de playas y ver si afecta la anidación de las tortugas marinas. Es recomendable evaluar el impacto que tiene la limpieza con maquinaria en las playas, respecto a la erosión que pudiera ocasionarse. Esto se podría hacer por medio de observación durante los patrullajes, cuando las tortugas hacen el nido, y llevando el registro de número de arribos y éxito de anidación para su comparación antes y después de las limpiezas.

Por otra parte, el gobierno del Estado de Quintana Roo y la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente colocaron una barrera anti-sargazo para impedir la llegada y estancamiento de este en las playas de 7 municipios (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2018). No obstante, a finales de agosto del 2018, se reportó que las barreras fueron rebasadas por las cantidades masivas de sargazo (Martínez, 2018). Los tortugeros percibieron que la red podría atrapar a las crías de tortugas antes de llegar a mar abierto. No hay registros de mortandad por las redes que sustenten esto, pero, se ha evidenciado en fotografías y vídeos que en la red han quedado atrapadas algunas crías, algunas de ellas se encontraron muertas (Ver apéndice V). Las redes se colocaron en los municipios de Benito Juárez, Puerto Morelos, Solidaridad, Tulum y en algunas playas de Othon P. Blanco (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2018). Por lo que es fundamental implementar vigilancia de la red, y un monitoreo del impacto que pudiera tener respecto a la mortandad de crías.

Para facilitar la discusión en esta sección dividiremos las playas muestreadas en 3 zonas de acuerdo con su ubicación geográfica y el grado de desarrollo turístico. La zona norte que abarcan las playas desde Isla Mujeres hasta Solidaridad incluyendo Cozumel con un desarrollo turístico alto, la zona centro comprende al municipio de Tulum con un desarrollo turístico mediano y finalmente la zona sur que incluye las playas del municipio Othón P. Blanco con un bajo desarrollo turístico.

Para el análisis de resultados no se incluyó la zona sur debido a que hasta el 2018 no existían reportes de alguna institución privada o particular que realizara monitoreo a largo plazo de las playas en esta zona, por lo que las entrevistas fueron escasas y no se consideraron representativas de la zona, sin embargo, se discutirán aquí los resultados de las entrevistas junto con la problemática de la zona. Las entrevistas obtenidas para esta zona se obtuvieron de expertos de instituciones que realizan monitoreos a corto plazo o por hoteleros interesados en el monitoreo de tortugas. Los reportes de los expertos de instituciones de investigación que realizan monitoreos a corto plazo (Zamora-Vilchis, 2018 de la Universidad de Quintana Roo y Herrera-Pavón, 2018 del Colegio de la Frontera Sur), así como videos y fotos proporcionados para este estudio indican que la zona sur fue una de las zonas más afectadas por el sargazo. El alga en esta zona se acumuló tanto dentro del mar como en la zona de playa sin que en general se realizara una limpieza como se realizó en las

zonas norte y centro del estado. Los reportes indican que en varias playas de la zona sur el sargazo se acumuló hasta formar cúmulos de entre 0.5-1 m de alto, lo que probablemente impedía el tránsito tanto de adultas como de crías, pudiendo ser estas últimas las más afectadas. Las entrevistas indican que hubo playas donde el 90% de las eclosiones disminuyó por efecto de la acumulación del sargazo. Uno de los principales problemas es el casi nulo monitoreo de las playas en la zona sur, ya que no existen instituciones que monitoreen a largo plazo las playas de esta zona como sucede en la zona norte y centro donde existen grupos de monitoreo durante toda la temporada de tortugas y éste se ha realizado a largo plazo. Otro factor importante es que, debido al bajo desarrollo turístico de la zona, formado principalmente por hoteles pequeños, se recibió escaso apoyo por parte del gobierno para la limpieza de las playas de igual manera comparado con los apoyos que hubo para la zona norte y centro con mucho mayor desarrollo turístico donde el gobierno y los hoteles invirtieron en la limpieza de las playas. Estos dos factores pudieron ocasionar que la acumulación de sargazo afectara el número de nidos por un lado y por otro el número de eclosiones. Esta zona del Caribe Mexicano pudo haber sido una de las zonas más afectadas por el sargazo y pudo haber tenido un efecto negativo en las tortugas marinas, sin embargo, la falta de instituciones para monitorear estas playas de anidación a largo plazo, así como la escasa ayuda que ha recibido la zona para la contención y limpieza del sargazo dificultaron la obtención de información para analizar su grado de afectación.

Por otro lado, tres de los municipios de la zona norte (Benito Juárez, Cozumel y Puerto Morelos) reportaron que el proceso de anidación fue afectado por el uso de maquinaria pesada para la limpieza del sargazo. De acuerdo con el registro de las actividades de limpieza de sargazo, desde el mes de junio del 2018 se comenzó a utilizar maquinaria para la recolección de sargazo (SEMA, 2018), lo que pudo impactar sobre la anidación de las tortugas al compactar la arena lo que podría dificultar tanto la excavación del nido por parte de las hembras, como la salida de las crías de los nidos a la superficie.

Finalmente, es importante enfatizar que la evaluación del efecto del sargazo en tortugas marinas no es una tarea fácil, ya que las condiciones ecológicas, factores físicos, químicos, antropogénicos, etc. de las diferentes playas donde anidan las tortugas a lo largo del caribe varían enormemente. Esto último aunado a que el proceso de anidación consta de distintas etapas y en cada una de ellas existen diferentes variables a evaluar, complica el estudio sobre el efecto del sargazo en las tortugas marinas.

Finalmente, gracias al estudio retrospectivo se muestra que el florecimiento algal varado afectó a las tortugas marinas en su proceso de anidación, pero no sabemos si ocasionó problemas durante

la eclosión o en la etapa juvenil, debido a que el sargazo acumulado ocasiona un recubrimiento superficial del mar, impidiendo así el paso de luz para organismos fotosintéticos (Lopez *et al.*, 2008); pero no es de utilidad para la fauna endémica como aves y cangrejos, ya que únicamente provee hábitat a ejemplares juveniles de tortugas marinas entre otros organismos en el Mar de los Sargazos (Hatcher *et al.*, 2013; Feagin *et al.*, 2008). Por lo que, se recomienda hacer investigaciones a largo plazo con los monitoreos anuales del número de anidaciones de campamentos e instituciones involucradas, para analizar los datos de temporadas de anidaciones en años en los que no hubo sargazo y en años en los que el sargazo se presente. Asimismo, reforzar los monitoreos de anidaciones en aquellas zonas en donde no hay campamentos o instituciones que lleven un plan de monitoreo constante anualmente, y así, obtener más información para ayudar a tomar medidas preventivas y así conservar las tortugas marinas de Quintana Roo. Sin embargo, éste estudio ha sentado las primeras bases para futuros estudios sobre el tema y ha brindado información valiosa para el manejo y conservación de tortugas marinas en la región del Caribe Mexicano.

9. Conclusiones

Los efectos de la acumulación de sargazo fueron perceptibles para los tortugeros y responsables en campamentos de conservación de tortugas marinas del Estado de Quintana Roo logrando tener la noción de algunos cambios durante las etapas del proceso de anidación en las playas afectadas.

Principalmente, se percibió la invasión de sargazo de más del 80% a lo largo de las playas evaluadas afectando más del 75% del área utilizada por las tortugas para desovar. Aparentemente dicha acumulación de sargazo no tuvo una distribución uniforme; ya que hubo áreas con mayor cantidad del alga que en otras, lo cual tuvo un efecto negativo en el número de arribos en casi todos los municipios.

Se reportó que cambió más del 50% de la distribución de la anidación debido a la invasión de sargazo que se presentó, lo que de acuerdo con el estudio retrospectivo causó una disminución promedio de 36.34% sobre el número de nidos puestos en tortuga caguama y 32.78% en tortuga verde.

La acumulación de sargazo ocasionó una disminución en el número de eclosiones ya que afectó en el proceso de incubación.

La percepción del 70% de los encuestados afirmaron que hubo un efecto negativo en las crías durante su recorrido al mar por la acumulación de sargazo, lo cual podría estar relacionado con una disminución en el número de eclosiones.

Respecto a las alternativas de limpieza de sargazo, casi el 40% afirmó que afectó a las tortugas marinas, y el 64.7% de los encuestados dijeron que la red atrapa a las crías de tortugas que buscan llegar a mar abierto.

El sargazo es un hábitat importante durante las etapas tempranas de las tortugas marinas y otros organismos, sin embargo, no es habitable, ni provee algún otro uso, y representa un problema para la conservación de tortugas marinas que anidan en Quintana Roo una vez que se estanca en la orilla de las playas.

10. Referencias

- Abreu, A. (2016) Generalidades de las Tortugas Marinas. En: *Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación*. ITZENI, Soluciones Ambientales, pp. 240.
- Ackerman, R.A. (1997) The nest environment and the embryonic development of sea turtles. En: *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press, pp. 83–107.
- Adnyana, W., Ladds, P. & Blair, D. (1997) Observations of fibropapillomatosis in green turtles (*Chelonia mydas*) in Indonesia. *Australian Veterinary Journal*, pp. 737–742.
- Agusto, A.C., Mora, A.P. & Pessôa, F. (2001) The release of light metals from a brown seaweed (*Sargassum sp.*) during zinc biosorption in a continuous system. *Electronic Journal of Biotechnology*, pp. 3-4.
- Azanza, J. & Pérez, R. (2016) Impact of Sargassum influx during 2015 summer on marine turtles of Playa la Barca, Peninsula de Guanahacabibes. *Revista de Investigaciones Marinas*, pp. 54-62.
- Balazs, G.H. (1991) Current status of fibropapillomas in the Hawaiian green turtle, *Chelonia mydas*. En: *Research plan for marine turtle fibropapilloma: Results of a December 1990 Workshop*. National Oceanographic and Atmospheric Administration, pp.47–57
- Barragán, A. (2019). El Caribe mexicano se ahoga en sargazo. EL PAÍS. Disponible en: https://elpais.com/sociedad/2019/05/18/actualidad/1558131595_908484.html.
- Batley, N. & Hatcher, P. (2013) *Biological diversity: Exploiters and Exploited*. Wiley. Hoboken, New Jersey, pp. 436.
- Bjorndal, K.A. (1997). Foraging ecology and nutrition of sea turtles. En: *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press, pp. 199-231.
- Boening, C., Willis, J.K., Landerer, F.W., Nerem, R.S. & Fasullo, J. (2012) The 2011 El Niño: so strong, the oceans fell. *Geophysical Research Letters*, pp. 39.

- Broderick, A.C., Coyne, M.S., Fuller, W.J., Glen, F. & Godley, B.J. (2007) Fidelity and overwintering of sea turtles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, pp. 1533-1538.
- Brothers, J.R. & Lohmann, K.J. (2015) Evidence for geomagnetic imprinting and magnetic navigation in the natal homing of sea turtles. *Current Biology*, pp. 392-396.
- Bustard, H.R. (1972). *Sea Turtles, Their Natural History and Conservation*. Collins, London pp. 220.
- Caldwell, D. (1962) Comments on the nesting behavior of Atlantic loggerhead sea turtles, based primarily on tagging returns. *Quarterly Journal of the Florida Academy of Sciences*, pp. 25, 287.
- Carabias, J., Provencio, E., de la Maza, J., Gutiérrez, D. & Gómez, M. (2000) Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. México, D.F. Desarrollo Gráfico Editorial, S.A. de C.V., pp.11- 40.
- Carpenter, E.J. & Cox, J.L. (1974) Production of pelagic Sargassum and a blue-green epiphyte in the western Sargasso Sea. En: *Limnology and Oceanography*. ASLO pp. 429–436.
- Carr, A. & Giovannoli, L. (1957) The ecology and migrations of sea turtles. 2. Results of field work in Costa Rica, 1955. American Museum of Natural History. Novitates.
- Chaudhari, S., Devi Prasad, K.V. & Shanker, K. (2009) Impact of Casuarina Plantations on Olive Ridley Turtle Nesting along the Northern Tamil Nadu Coast, India. ATREE, Bangalore and MCBT, Mamallapuram, India pp. 44.
- CIT Secretaría (2006) Amenazas a las tortugas marinas y posibles soluciones. San José, Costa Rica.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2011) Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Tortuga Caguama, *Caretta caretta*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales. México, 23pp.
- Cuevas, E. (2016) Tortuga Carey. En: *Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación*. Soluciones Ambientales ITZENI (Ed.) Ciudad de México, pp. 240.
- Davenport, J. (1989). Sea turtles and the greenhouse effect. *British Herpetology Society. Bull*, pp. 11- 15.
- Davis, T.A., Volesky, B. & Vieira, R.H.S.F. (2000) Sargassum seaweed as biosorbent for heavy metals. *Water Research*, pp. 4270-4278.
- Davis, T.A., Volesky, B. & Mucci, A. (2003) A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research*, pp. 4311-4330.
- Dawes, C. J. & Mathieson, A. C. (2008) *The seaweed of Florida*. University Press of Florida, Gainesville, Florida, pp. 591.
- DEAL (2015) L' invasión des sargasses Revue de presse <<Caraïbes>>. Direction de l'Environnement, de l' Aménagement et du Logement.

- Delgado, C. (2016) Tortuga Verde. En: *Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación*. Soluciones Ambientales ITZENI. Ciudad de México, pp. 240.
- Del Monte, P., Guzmán, V., Cuevas, E., Arreguín, F. & Lluch, D. (2012) Effect of North Atlantic climate variability on hawksbill turtles in the Southern Gulf of Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, pp. 106-108.
- Diniz, V. & Volesky, B. (2005) Biosorption of La, Eu and Yb using Sargassum biomass. *Water Research*, pp. 239-247 pp.
- Dizon, A.E. & Balazs, G.H. (1982) Radio telemetry of Hawaiian green turtles at their breeding colony. *Marine Fisheries Review*, pp. 13-20.
- Dodd, C.K. (1988) Synopsis of the biological data on the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* (Linnaeus 1758). U. S. Fish and Wildlife Service. Biological Report, pp. 110.
- Dow, W.E. & Eckert, K.L. (2011) Sea turtle nesting habitat in the Wider Caribbean Region. *Endangered Species Research*. Queensland, Australia. Mark Hamann, pp. 129-137.
- Dugdale, R.C. & Goering, J.J. (1967) Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography*, pp. 196–206.
- Feagin, R.A. & Williams, A.M., (2008) Final Report: Sargassum and beach erosion. Texas Agricultural Experiment Station/ Texas A&M University. Report to the Texas General Land Office 07-005-07 and National Oceanic and Atmospheric Administration Award, pp. 23.
- FitzSimmons, N.N., Limpus, C.J., Norman, J.A., Goldizen, A.R., Miller, J.D., & Moritz, C. (1997) Philopatry of male marine turtles inferred from mitochondrial DNA markers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pp. 8912-8917.
- Fonseca, C.A., Goni, G.J., Johns, W.E. & Campos, E.J. (2004) Investigation of the North Brazil Current retroflexion and North Equatorial Countercurrent variability. *Geophysical Research Letters*, L21304 pp. 1-5.
- Franks, P.J.S. (1992) Sink or swim: accumulation of biomass at fronts. *Marine Ecology Progress Series*, pp. 1–12.
- Frazer, N.B. (1986) Survival from Egg to Adulthood in a Declining Population of Loggerhead Turtles, *Caretta caretta*. *Herpetologica*. Athens, Ca. pp. 47-55.
- Frazier, J., Webster, R., Linton, T. & Hill, B.N. (2013) The use of satellite imagery in the monitoring and forecasting of Sargassum seaweed in the Caribbean Phase II of the Sargassum Early Advisory System. En: *American Geophysical Union, Fall Meeting*. San Francisco, California, pp. 609.
- Freestone, D., Howard, R., Laffoley, D., Morrison, K., Rice, J., Inniss, L. & Trott, T. (2016). Chapter: Sargasso Sea. En: *First World Ocean Assessment*. United Nations, pp. 1-7.
- Fuentes, M.M.P.B. & Porter, W.P. (2013) Using a microclimate model to evaluate impacts of climate change on sea turtles. *Ecological Modelling*, pp. 150-157.

- Gavio, B. & Santos, A. (2018) Floating Sargassum in Serranilla Bank, Caribbean Colombia, may jeopardize the race to the ocean of baby sea turtles. *Acta biológica. Colombiana*, pp. 311-314.
- Gavio, B., Rincón, M. y Santos, A. (2015) Massive quantities of pelagic Sargassum on the shores of San Andres Island, Southwestern Caribbean. *Acta Biológica Colombiana*, pp. 239-241.
- George, R. (1997) Health problems and diseases of sea turtles. En: *The biology of sea turtles*. CRC Press, pp. 363–386.
- Gobierno del Estado de Quintana Roo (2018) A dos meses de que Carlos Joaquín implementó estrategia anti-sargazo, se ha recolectado 133 mil 144 m³ | QRoo.gob.mx. Disponible en: <https://www.qroo.gob.mx/sargazo/dos-meses-de-que-carlos-joaquin-implemento-estrategia-anti-sargazo-se-ha-recolectado-133>.
- Gobierno del Estado de Quintana Roo (2018) Esfuerzo permanente del Gobierno del Estado para limpiar el Sargazo de las playas | QRoo.gob.mx. Disponible en: <https://www.qroo.gob.mx/sargazo/esfuerzo-permanente-del-gobierno-del-estado-para-limpiar-el-sargazo-de-las-playas>.
- Gobierno del Estado de Quintana Roo (2018) Las estructuras anti-sargazo estarán en puntos estratégicos | QRoo.gob.mx. Disponible en: <https://www.qroo.gob.mx/sargazo/las-estructuras-anti-sargazo-estaran-en-puntos-estrategicos>.
- Gower, J., Young, E. & King, S. (2013) Satellite images suggest a new Sargassum source region in 2011. *Remote Sensing Letters*, pp. 764–773.
- Hellweger, F.L., & Gordon, A.L. (2002) Tracing Amazon River water into the Caribbean Sea. *Journal of Marine Research*, pp. 537–549.
- Hendrickson, J. (1982) Nesting behavior of sea turtles with emphasis on physical and behavior determinants of nesting success or failure. En: *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C. pp. 53.
- Heppell, S.S. (1998) Application of life-history theory and population model analysis to turtle conservation. *Copeia*, pp. 367-375.
- Hirth, H.F. (1997) Synopsis of the biological data on the green turtle *Chelonia mydas* (Linnaeus 1758). U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service; Washington, D. C. Biological Report, pp. 120.
- Hirth, H.F. (1980) Some aspects of the nesting behavior and reproductive biology of sea turtles. *American Zoologist*, pp. 507-523.
- Hopkins, S.R., Owens, D.W. & Murphy, T.M. (2003) Ecology of immature loggerheads on foraging grounds and adults in internesting habitat in the eastern United States. *Loggerhead sea turtles*, pp. 79-92.
- Hughes, G.R. & Mentis, M.T. (1967) Further studies on marine turtles in Tongaland. II. En: *The Lammergeyer*. Department of Zoology, University of Natal, Pietermaritzburg, pp. 55.
- Huntington, C.E. (1951) "Ortstreue" and subspecies formation in the Pied Flycatcher. *Ecology*, pp. 352-355.

- IPCC (2007) Climate change 2007: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 104.
- IUCN (2019) The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-3. <http://www.iucnredlist.org>. Downloaded on 10 December 2019.
- Jacobson, E. (1991) An update on green turtle fibropapilloma. NOAA Tech Memo NMFS SWFC, pp. 59–71.
- Johnson, D.R, Ko, D.S., Franks, J.S., Moreno, P. & Sanchez, G. (2013) The Sargassum invasion of the Eastern Caribbean and dynamics of the Equatorial North Atlantic. Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute, Santa Marta, Colombia, pp. 102-103.
- Kennett, R. (1993) Of droughts and flooding rains and a turtle that nests underwater. Second world Congress of Herpetology, pp. 138-139.
- Koch, V., Peckham H. & Barragán A. (2016) Tortuga Caguama. En: *Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación. Soluciones Ambientales* ITZENI. Ciudad de México, pp. 240.
- Landry, M. & Taggart, C. (2010) “Turtle watching” conservation guidelines: green turtle (*Chelonia mydas*) tourism in nearshore coastal environments. Biodiversity and Conservation, pp. 305–312.
- Lanyon, J., Limpus, C. & Marsh, H. (1989) Dugongs and turtles: grazers in the seagrass system. En: *Biology of Seagrasses: A Treatise on the Biology of seagrasses with special reference to the Australian Region*. Aquatic plants Studies 2, Amsterdam, pp. 292.
- Lapointe, B.E. (1986) Phosphorus-Limited Photosynthesis and Growth of *Sargassum-Natans* and *Sargassum-Fluitans* (Phaeophyceae) in the Western North-Atlantic. Deep-Sea Research Part a-Oceanographic Research Papers, pp. 391-399.
- Lapointe, B.E. (1995) A comparison of nutrient-limited productivity in *Sargassum natans* from neritic vs. oceanic waters of the western North Atlantic Ocean. Limnology and Oceanography, pp. 625–633.
- Limpus, C. & Nicholls, N. (1988) The southern oscillation regulates the annual numbers of green turtles (*Chelonia mydas*) breeding around northern Australia. J. Wildlife Research, pp. 157-161.
- Limpus, C. (1993) The green turtle, *Chelonia mydas*, in Queensland: breeding males in the southern Great Barrier Reef. Wildlife Research, pp. 513-523.
- Lipschultz, F. (2001) A time-series assessment of the nitrogen cycle at BATS. Deep-Sea Research II, pp. 1897–1924.
- Lohmann, K., Lohmann, C., Brothers, J. & Putman, N. (2013) Natal homing and imprinting in sea turtles. The biology of sea turtles, pp. 59-77.
- Lomas, M., Bates, N., Buck, K. & Knap A. (2011) Oceanography of the Sargasso Sea: Overview of Scientific Studies. Sargasso Sea Alliance Science Report Series, pp. 64.

- Lopez, C., Dortch, Q., Jewett, E. & Garrison, D. (2008). Scientific assessment of Marine Harmful Algal Blooms. Interagency Working Group on Harmful Algal Blooms, Hypoxia and Human Health of the Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology. Washington, D.C.
- Lutcavage, M., Plotkin, P., Witherington, B., y Lutz, P. (1997) Human Impacts on Sea Turtle Survival. En: *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press. pp. 395-396.
- Mann, K., Chapman, A. y Gagne, J., (1980) Productivity of seaweed: the potential and the reality. En: *Productivity in the sea*. Plenum Press, pp. 363–380.
- Márquez, M. (1976) Reservas naturales para la conservación de las tortugas marinas en México. Instituto Nacional de la Pesca, Serie Información, pp. 22.
- Martínez, R. (2018). Primera barrera de contención fue rebasada por sargazo. El Sol de México. Disponible en: <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/primera-barrera-de-contencion-fue-rebasada-por-sargazo-1951842.html>.
- Mattio, L. & Payri, C. (2011) 190 Years of Sargassum Taxonomy, Facing the Advent of DNA Phylogenies. *Botanical Review* pp. 31-70.
- Maurer, A. S., De Neef, E. & Stapleton, S. (2015) Sargassum accumulation may spell trouble for nesting sea turtles. *Frontiers in Ecology and the Environment*, pp. 394-395.
- Meybeck, M. & Ragu, A. (1997) River discharges to the oceans: An assessment of suspended solids, major ions, and nutrients. United Nations Environment Programme, pp. 1–245.
- Michaels, A. & Knap, A. (1996) Overview of the USA JGOFS Bermuda Atlantic Timeseries Study and the Hydrostation S program. *Deep-Sea Research II*, pp. 157–198.
- Miller, J. (1997) Reproduction in sea turtles. en: *The Biology of Sea Turtles*. New York: CRC Press, pp. 51-81.
- Milton, S., Kabler, S., Schulman, A. & Lutz, P. (1994) Effects of Hurricane Andrew on the Sea Turtle Nesting Beaches of South Florida. *Bulletin of Marine Science*, pp. 974-981.
- Moreira, A. & Alfonso, G. (2013) Inusual arribazón de *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen en la costa centro-sur de Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, pp. 18-20.
- Morreale, S., Ruiz, G., Spotila, J. & Standora, E. (1982) Temperature dependent sex determination: current practices threaten conservation of sea turtles. *Science*, pp. 1245-1247.
- Mortimer, J. (1982) Factors influencing beach selection by nesting sea turtles. En: *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C., pp. 45.
- Mrosovsky, N. & Yntema, C.L. (1980) Temperature dependence of sexual differentiation in sea turtles: implications for conservation practices. *Biological Conservation*, pp. 271-280.
- Mrosovsky, N., Dutton, P., & Whitmore, C. (1984) Sex ratios of two species of sea turtle nesting in Suriname. *Canadian Journal of Zoology*, pp. 2227-2239.
- Mrosovsky, N. (1994) Sex ratios of sea turtles. *Journal of Experimental Zoology*, pp. 16-27.

- Muller, F.E., McClain, C.R. & Richardson, P.L. (1988) The dispersal of the Amazon's water. *Nature*, pp. 56–59.
- Muller, F.E., Richardson, P.L. & McGillicuddy, D. (1995) On the offshore dispersal of the Amazon's Plume in the North Atlantic. *Deep Sea Research. Part I: Oceanographic Research Papers*, pp. 2127–2137.
- Musick, J. & Limpus, C. (1997) Habitat utilization and migration in juvenile sea turtles. En: *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press, pp. 137-163.
- National Research Council. (1990) *Decline of the Sea Turtles: Causes and Prevention*. National Academy Press, pp. 259.
- Norton, T.M. (2005) Chelonian emergency and critical care. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine*, pp. 106-130.
- Norton, T. & Walsh, M. (2011). Sea Turtle Rehabilitation. En: *Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine: Current Therapy*. Saunders, pp. 239-246.
- Orós, J., Torrent, A., Calabuig, P. & Déniz, S. (2005). Diseases and causes of mortality among sea turtles stranded in the Canary Islands, *Spain (1998-2001)*. *Diseases of aquatic organisms*, pp. 13-24.
- Packard, G.C., Roth, J.J. & Tracy, R. (1988) The physiological ecology of reptilian eggs and embryos, and the evolution of viviparity within the class Reptilia. *Biological Reviews*, pp. 71-105.
- Parsons T. R., Takahashi, M. & Hargrave, B. (1977) *Biological oceanographic processes*. Pergamon Press, New York, pp. 332.
- Pendleton, L., Krowicki, F., Strosser, P. & Hallett-Murdoch, J. (2014) Assessing the economic contribution of marine and coastal ecosystem services in the Sargasso Sea. *Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University*, pp. 1-25.
- Philander, S.G. (2001) Atlantic Ocean equatorial currents. *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Elsevier Press, Amsterdam, pp. 188-191.
- Pritchard, P.C.H. (1969) Sea turtles of the Guianas. *Bulletin of the Florida State Museum*, pp. 85.
- Putman, N.F. & Mansfield, K.L. (2015) Direct evidence of swimming demonstrates active dispersal in the sea turtle "Lost Years". *Current Biology*, pp.1221-1227.
- Ramos, P. (1974) Generalidades sobre la pesquería de tortugas marinas en Isla Mujeres, Q. Roo. México, Instituto Nacional de Pesca, pp. 7.
- Rodríguez, R.E, Van Tussenbroek, B. & Jordán, E. (2016) Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014–2015). En: *Florecimientos Algales Nocivos en México*. CICESE, pp. 360 .
- Salmon, M. (2003) Artificial night lighting and sea turtles. *Biologist*, pp. 163– 168.
- Salmon, M. & Lohmann, K.J. (1989) Orientation Cues Used by Hatchling Loggerhead Sea Turtles (*Caretta caretta L.*) During their Offshore Migration. *Ethology*, pp. 215-228.

- Schell, J. M., Goodwin, D.S. & Siuda, A.N.S. (2015) Recent Sargassum Inundation Events in the Caribbean Shipboard Observations Reveal Dominance of a Previously Rare Form. *Oceanography*, pp. 8-10.
- Schneider, C.W. & Searles, R.B. (1991) *Seaweeds of the southeastern United States: Cape Hatteras to Cape Canaveral*. Durham: Duke University Press, pp. 553.
- Schofield, G., Hobson, V.J., Fossette, S., Lilley, M.K.S., Katselidis, K.A., & Hays, G.C. (2010) Biodiversity Research: Fidelity to foraging sites, consistency of migration routes and habitat modulation of home range by sea turtles. *Diversity and Distributions*, pp. 840-853.
- Secretaría CIT (2004) *Una Introducción a las Especies de Tortugas Marinas del Mundo*. San José, Costa Rica.
- Secretaría CIT (2006) *Amenazas a las Tortugas Marinas y Posibles Soluciones*. San José, Costa Rica.
- Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (2018). *Sistema de consulta de las actividades de remoción de sargazo*. Chetumal, Quintana Roo: SEMAQROO.
- Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (2019). *Reporte actividades de recolección de sargazo*. QRoo.gob.mx. Disponible en: <http://sargazo2018.semaqroo.gob.mx/>
- SEMARNAT (2012) *Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Tortuga Carey (Eretmochelys imbricata)*. CONANP, pp. 17.
- Shaver, D.J., Schroeder, B., Byles, R., Burchfield, P., Pena, J., Marquez, R., y Martinez, H. (2005) Movements and home ranges of adult male Kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*) in the Gulf of Mexico investigated by satellite telemetry. *Chelonian Conservation and Biology*, pp. 817-827.
- Siegel, D., Itturiaga, R., Bidigare, R., Smith, R., Pak, H., Dickey, T., Marra, J., & Baker, K. (1990) Meridional variations of the spring-time phytoplankton community in the Sargasso Sea. *Journal of Marine Research*, pp. 379-412.
- Smetacek, V. & Zingone, A. (2013) Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature*, pp. 84-88.
- Spotila J.R., Standora E.A. (1985) Environmental constraints on the thermal energetics of sea turtles. *Copeia* pp. 694-702.
- Spotila, J. (2004). *Sea turtles: a complete guide to their biology, behavior, and conservation*. Baltimore: The John Hopkins University Press, pp.16, 17.
- Stancyk, S.E. (1995) Non-human predators of sea turtles and their control. En: *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Revised edition. Smithsonian Institution Press, pp. 139-152.
- Steinberg, D., Carlson, C., Bates, N., Johnson, R., Michaels, A., & Knap, A. (2001) Overview of the US JGOFS Bermuda Atlantic Timeseries Study (BATS): a decadescale look at ocean biology and biogeochemistry. *Deep-Sea Research II*, pp. 1405-1447.

- Széchy, M.T.M., Guedes, P.M., Baeta-Neves, M.H., y Oliveira, E.N. (2012) Verification of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: Phaeophyceae) from the Sargasso Sea off the coast of Brazil, western Atlantic Ocean. Check List, pp. 638-641.
- Taylor, H. & Cozens, J. (2010) The effects of tourism, beachfront development and increased light pollution on nesting loggerhead turtles *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) on Sal, Cape Verde Islands. Zoology. Caboverdiana, pp. 100–111.
- Taylor, W.R. (1960) Marine algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas. Michigan Press, pp. 879.
- Triessnig, P., Roetzer, A. & Stachowitsch, M. (2012) Beach condition and marine debris: new hurdles for sea turtle hatchling survival. Chelonian Conservation and Biology, pp. 68-77.
- Van Buskirk, J. & Crowder, L. (1994) Life-history variation in marine turtles. Copeia 1994, pp. 66-88.
- Varillas, A. (2019) Retiran sargazo y afectan la playa. El Universal. Disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/estados/retiran-sargazo-y-afectan-la-playa>.
- Viveros, L. (1991) Manejo y protección de las tortugas marinas en Quintana Roo. Tesis de Licenciatura. F. V. Z., UNAM. México D.F., pp. 90.
- Volesky, B., Holan Z.R. (1995) Biosorption of heavy metals. Biotechnology Progress, pp. 235-250.
- Zurita J.C. (2009) Situación de la tortuga caguama *Caretta caretta* en el Golfo de México y Caribe mexicano. En: *Memorias de la Reunión Nacional sobre Conservación de Tortugas Marinas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT, México, pp. 129.
- Zurita, J., Herrera, R. y Prezas, B. (1993) Tortugas marinas del Caribe. En: *Biodiversidad Marina y Costera de México*. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Aprovechamiento de la Biodiversidad y CIQRO, México, pp. 735-751.

11. Apéndice

Apéndice I. Encuesta.

EFFECTO DE LA ACUMULACIÓN DE SARGAZO EN ANIDACIÓN, ECLOSIÓN Y SOBREVIVENCIA DE TORTUGAS MARINAS EN QUINTANA ROO.

Encuesta

Este es un estudio prospectivo para determinar cuáles son los posibles efectos del sargazo sobre las playas de anidación de hembras, eclosión de huevos, y sobrevivencia de crías de tortugas marinas.

Los datos y la información recabada que nos brinde a través de la siguiente encuesta son totalmente confidenciales y será de gran valor para la investigación y conservación de las tortugas marinas de Quintana Roo.

Le pedimos que sus respuestas sean basadas en sus observaciones de este año (2018)

Datos generales

Campamento: _____

Playa(s) que monitorea _____

Especie(s) que monitorea: _____

En esta entrevista hablará de la playa: _____

Tiempo que usted lleva monitoreando tortugas en la playa: _____

1. Qué porcentaje del largo de su playa está invadida por sargazo

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

2. Qué porcentaje del área de anidación de su playa está invadida por sargazo

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

3. Existe una acumulación uniforme de sargazo en la playa de anidación que monitorea

- a) SI (Vaya a pregunta 5)
- b) NO (Vaya a pregunta 4)

4. En zonas de **mayor acumulación** de sargazo existe:

- a) Disminución del arribo de hembras
- b) Aumento del arribo de hembras
- c) No hay diferencias

5. Cree que existe un efecto por la acumulación del sargazo en la playa sobre el número de nidos de tortugas marinas:

- a) SI, aumentó (Vaya a la pregunta 6)
- b) SI, disminuyó (Vaya a la pregunta 6)
- c) NO (vaya a la pregunta 8)

d) No sé (vaya a la pregunta 8)

6. En qué proporción cree que aumentó o disminuyó el número de nidos de tortugas marinas:
0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

7. En su opinión, cree que el sargazo esté afectando el proceso de anidación de las especies de tortugas marinas; ¿de qué forma?

8. Cree que existe un efecto del sargazo en la playa sobre la distribución de la anidación de tortugas marinas:

- a) SI (Vaya a la pregunta 9)
- b) NO (vaya a la pregunta 10)
- c) No sé (vaya a la pregunta 10)

9. En su opinión de qué forma el sargazo está afectando la distribución de anidación:

10. Cree que existe un efecto por la acumulación del sargazo en la playa sobre el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas:

- a) SI, aumentó (Vaya a la pregunta 11)
- b) SI, disminuyó (Vaya a la pregunta 11)
- c) NO (vaya a la pregunta 13)
- d) No sé (vaya a la pregunta 13)

11. En qué proporción cree que aumentó o disminuyó el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas:

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

12. En su opinión, existe alguna otra forma de que el sargazo esté afectando el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas:

13. Cree que existe un efecto por la acumulación del sargazo en la playa sobre el número de crías que lograron su llegada al mar:

- a) SI, aumentó (Vaya a la pregunta 14)
- b) SI, disminuyó (Vaya a la pregunta 14)
- c) NO (vaya a la pregunta 17)
- d) No sé (vaya a la pregunta 17)

14. En qué proporción cree que aumentó o disminuyó el número de crías que lograron su llegada al mar:

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

15. ¿Ha encontrado crías de tortugas muertas debido a la acumulación de sargazo en el mar?
SÍ NO

¿cuántas?

16. En su opinión, existe alguna otra forma de que el sargazo esté afectando a las crías:

17. ¿En la playa que monitorea se hace una limpieza constante de sargazo?

- a) SÍ (Vaya a la pregunta 18)
- b) NO (Vaya a la pregunta 20)
- c) No sé (Vaya a la pregunta 20)

18. Usted cree que eso afecta a las tortugas marinas

- a) SÍ (Vaya a la pregunta 19)
- b) NO (Vaya a pregunta 20)
- c) No sé (Vaya a pregunta 20)

19. En su opinión de qué forma cree que la limpieza pueda estar afectando a las tortugas marinas:

20. ¿Conoce la estructura de la red anti-sargazo que se colocó en las playas de Quintana Roo?:

- a) SÍ (vaya a la pregunta 21)
- b) NO (pase a la pregunta 22)

21. ¿qué impacto cree usted que tendrá o está teniendo sobre las crías y hembras de tortugas marinas?

22. Otras observaciones que desee hacer respecto al efecto del sargazo sobre las tortugas marinas:

23. Nos puede recomendar a alguien para aplicar esta encuesta

Apéndice II. Encuesta en formulario de Google.

EFECTO DE LA ACUMULACIÓN DE SARGAZO EN ANIDACIÓN, ECLOSIÓN Y SOBREVIVENCIA DE TORTUGAS MARINAS EN QUINTANA ROO.

Este es un estudio prospectivo para determinar cuáles son los posibles efectos del sargazo sobre la anidación de hembras, eclosión de huevos, y sobrevivencia de crías de tortugas marinas. Los datos y la información recabada que nos brinde a través de la siguiente encuesta son totalmente confidenciales y serán de gran valor para la investigación y conservación de las tortugas marinas de Quintana Roo.

1. Campamento, institución, ONG, etc.:

2. Especie(s) que monitorea:

3. Playa(s) que monitorea:

4. En esta encuesta hablará de la playa:

5. Tiempo que usted lleva monitoreando tortugas en la playa:

Cuestionario

Le pedimos que sus respuestas sean basadas en sus observaciones de este año (2018)

1. Del 0 a 100%, qué porcentaje del largo de su playa está invadida por sargazo

2. Del 0 a 100%, qué porcentaje del área de anidación de su playa está invadida por sargazo

3. Existe una acumulación uniforme de sargazo en la playa de anidación que monitorea *Mark only one oval.*

- Sí, presione siguiente. *After the last question in this section, skip to question 10.*
- NO

4. En zonas de mayor acumulación de sargazo existe: *Mark only one oval.*

- Disminución del arribo de hembras
- Aumento del arribo de hembras
- No hay diferencias

Efecto de sargazo sobre el número de nidos

5. Cree que existe un efecto por la acumulación del sargazo en la playa sobre el número de nidos de tortugas marinas: *Mark only one oval.*

- SI, aumentó
- SI, disminuyó
- No, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 13.*
- No sé, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 13.*

6. Del 0 al 100%, en qué proporción cree que aumentó o disminuyó el número de nidos de tortugas marinas:

7. En su opinión, cree que el sargazo esté afectando el proceso de anidación de las especies de tortugas marinas; ¿de qué forma?

Efecto del sargazo en la distribución de anidación

8. Cree que existe un efecto del sargazo en la playa sobre la distribución de la anidación de tortugas marinas: *Mark only one oval.*

- Sí
- No, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 15.*
-

No sé, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 15.*

9. En su opinión, de qué forma el sargazo está afectando la distribución de anidación:

Efecto del sargazo en el número de eclosiones de huevos

10. Cree que existe un efecto por la acumulación del sargazo en la playa sobre el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas: *Mark only one oval.*

- Sí, aumentó
- Sí, disminuyó
- No, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 18.*
- No sé, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 18.*

12. Del 0 al 100%, en qué proporción cree que aumentó o disminuyó el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas:

13. En su opinión, existe alguna otra forma de que el sargazo esté afectando el número de eclosiones de huevos de tortugas marinas:

Efecto del sargazo sobre crías

14. Cree que existe un efecto por la acumulación del sargazo en la playa sobre el número de crías que lograron su llegada al mar: *Mark only one oval.*

- Sí, aumentó
- Sí, disminuyó
- No, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 23.*
-

No sé, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 23.*

15. Del 0 al 100%, en qué proporción cree que aumentó o disminuyó el número de crías que lograron su llegada al mar:

15. ¿Ha encontrado crías de tortugas muertas debido a la acumulación de sargazo en el mar? *Mark only one oval.*

Sí No

16. ¿Cuántas?

17. En su opinión, existe alguna otra forma de que el sargazo esté afectando a las crías:

Limpieza de sargazo

18. ¿En la playa que monitorea se hace una limpieza constante de sargazo? *Mark only one oval.*

Sí

No, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 26.*

No sé, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 26.*

19. Usted cree que eso afecta a las tortugas marinas *Mark only one oval.*

Sí

No *After the last question in this section, skip to question 26.*

No sé *After the last question in this section, skip to question 26.*

20. En su opinión de qué forma cree que la limpieza pueda estar afectando a las tortugas marinas:

Red anti-sargazo

21.. ¿Conoce la estructura de la red anti-sargazo que se colocó en las playas de Quintana Roo?:

Mark only one oval.

Sí

No, presione siguiente *After the last question in this section, skip to question 28.*

22. ¿Qué impacto cree usted que tendrá o está teniendo sobre las crías y hembras de tortugas marinas?

23. Otras observaciones que desee hacer respecto al efecto del sargazo sobre las tortugas marinas:

24. ¿Conoce a alguien que podría colaborar contestando esta encuesta? Escribanos su contacto (e-mail y/o teléfono), o al finalizar reenvíe el link de la encuesta.

Apéndice III. Registro Histórico de Anidaciones de Tortuga Marina. Tomada de Flora, Fauna Y Cultura de México, (2018).



Apéndice IV. Una tortuga bebé luchando en la estera de sargazo. Foto tomada de Gavio *et al.*, (2018)



Apéndice V. Tortugas atrapadas en red anti-sargazo. Autor desconocido.

