



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“MICROPLÁSTICOS EN LA ZONA DE ANIDACIÓN DE TORTUGAS EN EL
RAUDAL DE LAS FLORES, NAUTLA, VERACRUZ”**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERIA AMBIENTAL

PRESENTA

ING. BELEM ANAHY ESTRELLA JORDAN

DIRECTOR DE TESIS

DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO

CODIRECTOR DE TESIS

DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ

ASESORES

DR. JESÚS MONTOYA MENDOZA

M.C. DAVID REYNIER VALDÉS

JUNIO 2023

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO





ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: A-01305-150921

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 10:00 horas del día 02 del mes de junio de 2023 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

"MICROPLÁSTICOS EN LA ZONA DE ANIDACIÓN DE TORTUGAS EN EL RAUDAL DE LAS FLORES NAUTLA, VERACRUZ "

Que presenta el (la) alumno(a):

BELEM ANAHY ESTRELLA JORDAN

Aspirante al Grado de:

Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:

DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO
Director

**DRA. MARIA DEL REFUGIO CASTAÑEDA
CHAVEZ**
Co-Director

DR. JESÚS MONTOYA MENDOZA
Asesor

M.C. DAVID REYNIER VALDÉS
Asesor





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Boca del Río, Ver **8/JUNIO/2023**

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

**BELEM ANAHY ESTRELLA JORDAN
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE**

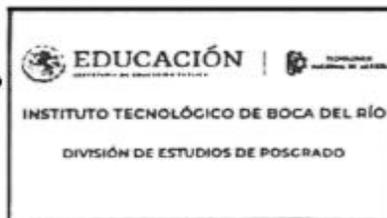
De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la **TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO**, desarrollada por usted cuyo título es:

"MICROPLÁSTICOS EN LA ZONA DE ANIDACIÓN DE TORTUGAS EN EL RAUDAL DE LAS FLORES NAUTLA, VERACRUZ "

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos

**DR. JUAN DAVID GARAY MARIN
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB
c.c.p. Expediente



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 ext. 113 depi_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



2023
Francisco
VILLA



"2020, Año del Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Boca del Río, Veracruz, 11/Enero/2023

Asunto: **CESION DE DERECHOS Y NO PLAGIO**

**H. CONSEJO DE POSGRADO
PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
PRESENTE**

En la Ciudad de Veracruz, Veracruz a los 11 días del mes enero del año 2023. El que suscribe Belem Anahy Estrella Jordan por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada "MICROPLÁSTICOS EN LA ZONA DE ANIDACIÓN DE TORTUGAS EN EL RAUDAL DE LAS FLORES, NAUTLA, VERACRUZ" (en lo sucesivo la "TESIS") manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de los derechos patrimoniales de autor que sobre ella me corresponden, a favor del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo el "TecNM"). Lo anterior en términos de los antecedentes y consideraciones siguientes:

- I. Que la presente cesión de derechos de la "TESIS" se transfiere en virtud de lo estipulado en los establecido en los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, sin reservarme acción legal de ningún tipo.
- II. Manifiesto bajo protesta de decir verdad, que la "TESIS" es original, inédita y propia, no existiendo impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que se está haciendo, respondiendo además por cualquier acción de reivindicación, plagio u otra clase de reclamación que al respecto pudiera sobrevenir.
- III. Que la titularidad de derechos de autor de la "TESIS" en términos del artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor (reproducción, en todas sus modalidades, transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de explotación que de la "TESIS" se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer, son propiedad única y exclusiva del "TecNM", adquiriendo el derecho de reproducción en todas sus modalidades, el derecho de transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de uso que de la "TESIS" se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer. La cesión de derechos se realiza con carácter permanente e irrevocable.
- IV. El TecNM podrá exhibir la "TESIS" a través de cualquier medio, en cualquier parte del mundo, incluso ser modificada, comprendida, traducida y de cualquier forma explotada en su totalidad o parcialidad.
- V. Que no he otorgado, ni otorgaré por ningún motivo, consentimiento alguno para la utilización de la "TESIS" por cualquier medio y su materialización en productos o servicios de cualquier naturaleza, a favor de ninguna persona física o moral, distinta a el "TecNM".
- VI. Estoy enterado del contenido y alcance legal de la presente cesión de derechos, firmando al final del presente documento para su certificación.





"2020, Año del Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Señalo como correo electrónico para recibir futuras notificaciones: m21990004@bdelrio.tecnm.mx

Agradeciendo de antemano sus atenciones, le envío un cordial saludo

ATENTAMENTE

BELEM ANAHY ESTRELLA JORDAN

c.c.p. Archivo



RESUMEN

Uno de los materiales más utilizados en la actualidad son los plásticos, los podemos encontrar en cualquier lugar debido a sus múltiples usos. Una vez que se termina el tiempo de vida de los productos plásticos estos pueden degradarse dando origen a los microplásticos. La contaminación por microplásticos se ha convertido en un tema de interés y preocupación a nivel mundial por su persistencia y los posibles efectos que puedan causar en el ambiente. Cuando se encuentran presentes en arena pueden alterar sus propiedades físicas afectando negativamente a la fauna circundante, como es el caso de las tortugas marinas que utilizan las playas para anidar y la presencia de microplásticos en la arena puede poner en riesgo el éxito de las nidadas. En la presente investigación se evaluó la presencia de microplásticos en nidos de tortugas marinas ubicados en playas de Nautla y Vega de Alatorre, Veracruz, una de las principales zonas de anidación de tortuga verde (*Chelonia mydas*) y tortuga lora (*Lepidochelis kempii*) del Golfo de México. Los muestreos se llevaron a cabo en noviembre de 2021 estando por acabar la temporada de anidación. Se obtuvieron muestras de arena directamente de los nidos *in situ* de 4 playas de la zona y de 2 corrales de anidación, encontrando la presencia de microplásticos en el 100% de los nidos *in situ* con una abundancia promedio de 2.43 ± 2.66 Mps/Kgss (piezas de microplásticos por kilogramo de sedimento seco) y una concentración de 0.00672 ± 0.02286 gr-Mps/Kgss (gramos de microplásticos por kilogramo de sedimento seco) predominando el tipo de espuma, en color blanco de 1 a 2 mm de tamaño. En cuanto a los corrales de anidación, dentro de los resultados obtenidos, en el corral 1 se encontró la presencia de microplásticos en un 88.8% de las muestras con una abundancia promedio de 1.88 ± 2.37 Mps/Kgss, mientras que en el corral 2, el 100% de las muestras presentó microplásticos con una abundancia de 1.81 ± 1.21 Mps/Kgss. Respecto a la clasificación se encontró que la mayoría de los microplásticos van de 1 a 2 mm de tamaño para ambos corrales, la forma y color del microplástico en el corral 1 predominaron las películas con un 43% la mayoría en color negro (39%) y para el corral 2 la forma de espumas con un 37% predominando el color transparente (43%). Los resultados obtenidos en la presente investigación corroboran la presencia de microplásticos en nidos de tortugas marinas pertenecientes a las playas de Nautla y Vega de Alatorre, Veracruz.

Palabras clave: Plásticos, Residuos, Playas, Contaminación, Área de anidación.

ABSTRAC

One of the most used materials today are plastics, we can find them anywhere due to their multiple uses. Once the life time of plastic products is over, they can degrade, giving rise to microplastics. Microplastic contamination has become a topic of interest and concern worldwide due to its persistence and the possible effects it may cause on the environment. When they are present in the sand, they can alter its physical properties, negatively affecting the surrounding fauna, as is the case of sea turtles that use the beaches to nest, and the presence of microplastics in the sand can jeopardize the success of the clutches. In the present investigation, the presence of microplastics in sea turtle nests located on the beaches of Nautla and Vega de Alatorre, Veracruz, one of the main nesting areas of the green turtle (*Chelonia mydas*) and Kemp's ridley (*Lepidochelis kempii*) of the Gulf, was evaluated. from Mexico. Sampling was carried out in November 2021 as the nesting season was about to end. Sand samples were obtained directly from the nests in situ on 4 beaches in the area and from 2 nesting pens, finding the presence of microplastics in 100% of the nests in situ with an average abundance of 2.43 ± 2.66 Mps/Kgds (pieces of microplastics per kilogram of dry sediment) and a concentration of 0.00672 ± 0.02286 gr-Mps/Kgds (grams of microplastics per kilogram of dry sediment), predominantly the type of foam, white in color, 1 to 2 mm in size. Regarding the nesting pens, within the results obtained, in pen 1 the presence of microplastics was found in 88.8% of the samples with an average abundance of 1.88 ± 2.37 Mps/Kgds, while in pen 2, 100% of the samples presented microplastics with an abundance of 1.81 ± 1.21 Mps/Kgds. Regarding the classification, it was found that most of the microplastics range from 1 to 2 mm in size for both pens, the shape and color of the microplastic in pen 1 dominated the films with 43%, the majority in black (39%). and for pen 2 the form of foams with 37% predominantly transparent color (43%). The results obtained in the present investigation corroborate the presence of microplastics in sea turtle nests belonging to the beaches of Nautla and Vega de Alatorre, Veracruz.

Keywords: Plastics, Waste, Beaches, Pollution, Nesting area.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca para mi formación profesional.

Al Instituto Tecnológico de Boca del Río por darme la oportunidad de ingresar al posgrado Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, y permitir la realización de esta investigación.

Al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por financiar el proyecto 15028.22P Microplásticos en nidos de tortugas y playas de Nautla, Veracruz. del cual tuve la oportunidad de ser parte.

Al Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la Tortuga Marina CVICTM (SEDEMA) por permitirnos realizar muestreos en su área de estudio a través de una estancia académica.

A mi directora de tesis la Dra. Fabiola Lango Reynoso por su apoyo durante toda la realización de este proyecto, a mi codirectora la Dra. María del Refugio Castañeda Chávez por la confianza brindada y sus asesorías, a mis asesores el Dr. Jesús Montoya Mendoza y el Dr. Ángel Ruíz Sánchez por su orientación durante el posgrado y sus asesorías.

A cada uno de los catedráticos que con sus conocimientos fueron parte de mi formación en la estancia en el posgrado.

A la M en C. Estrella Alarcón Reyes por brindarnos su apoyo y sus conocimientos durante la estancia académica en el CVICTM.

A la Ing. Clara Ivonne Ruíz Reyes quien más que mi compañera se convirtió en una gran amiga, gracias por todo tu apoyo durante el posgrado, sin ti esto no habría sido posible.

A mis compañeros y amigos M en C. Citlalmina Morales Jiménez y Lic. Juan Carlos Pérez Jiménez, por acompañarme durante todo el proceso y brindarme su amistad incondicional. Al Lic. Derian Javier Del Ángel Guzmán y al Ing. Josué Nava R. por estar ahí cuando los necesitaba.

A mi generación de posgrado MCIAMB 2021-2023 por cada aporte en esta etapa llena de compañerismo y asesoría de conocimientos de diferentes áreas.

A mi esposo Ing. David Eliel Rodríguez Pérez por su apoyo incondicional en cada una de las etapas de este posgrado y a mi hija Aria Carina Rodríguez Estrella por convertirse en la inspiración para no desistir en este camino.

DEDICATORIA

A mi padre Víctor Estrella Esquer quien siempre vivirá en mi corazón, sé que siempre estuviste muy orgulloso de mi, mis logros son los tuyos. ¡Un abrazo hasta el cielo!

A mi hija Aria Rodríguez quien llegó a llenarme de amor y fuerzas para continuar por este camino.

A mi esposo Eliel Rodríguez gracias por tu amor y apoyo incondicional.

A mis mamás Belem y Carmen Jordan quienes a pesar de estar lejos siempre están pendiente de mí y me mandan todo su amor.

CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRAC	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
INDICE GENERAL	V
INDICE DE FIGURAS	VII
INDICE DE CUADROS	VII
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL	4
2.1 Teoría General de Sistemas	4
2.1.1 Teoría de Sistemas Complejos	4
2.2 Teoría Ecológica	5
2.3 Ecología cultural	6
2.4 Cultura ambiental	6
2.5 Contaminación marina	7
2.6 Contaminación por plásticos	7
2.7 Ley General para la Prevención y Gestión de los Residuos	8
2.7.1 Residuos sólidos	8
2.7.2 Residuos plásticos	9
2.8 Plásticos	10
2.8.1 Microplásticos	12
2.8.1.1 Primarios	12
2.8.1.2 Secundarios	12
2.9 Transporte de residuos plásticos	12
2.10 Separación de microplásticos	13
2.11 Tortugas marinas	13
2.11.1 Zona de anidación de tortugas	14
3.- ANTECEDENTES	15
4.- JUSTIFICACIÓN	19

5.- PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	20
6.- HIPÓTESIS.....	20
7.- OBJETIVOS.....	20
7.1 Objetivo general	20
7.2 Objetivos particulares	20
8.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
8.1 Área de estudio	21
8.2 Selección de los sitios de muestreo	22
8.3 Trabajo de campo.....	23
8.3.1 Muestreo de nidos <i>in situ</i>	25
8.3.2 Muestreo de nidos en corrales	28
8.3.3 Información sobre fuentes de contaminación y actividades antropogénicas de la zona.....	30
8.4 Trabajo de laboratorio.....	30
8.4.1 Secado de muestra	31
8.4.2 Extracción de microplásticos	31
8.4.3 Cuantificación de microplásticos	32
8.4.4 Clasificación de microplásticos.....	33
8.5 Análisis de la información.....	35
9.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
9.1 Área de estudio	36
9.1.1 Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la Tortuga Marina	37
9.1.2 Zona costera del municipio de Nautla, Veracruz	38
9.1.3 Zona costera del municipio de Vega de Alatorre, Veracruz	39
9.2 Selección de los sitios de muestreo	40
9.3 Fuentes de contaminación y actividades antropogénicas de la zona	50
9.4 Microplásticos en sedimento de nidos <i>in situ</i>	53
9.4.1 Clasificación de microplásticos en nidos <i>in situ</i>	55
9.5 Microplásticos en sedimento de nidos de corrales de manejo	59
9.5.1 Clasificación de microplásticos en nidos de corrales de manejo.....	60
9.6 Macroplásticos encontrados en nidos	62
9.7 Análisis de la información.....	65
10.- CONCLUSIONES	68

11.- RECOMENDACIONES	70
12.- REFERENCIAS	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de los plásticos.....	10
Cuadro 2. Información sobre los sitios de muestreo	23
Cuadro 3. Información de muestreo de la baliza 1	41
Cuadro 4. Información de muestreo de la baliza 4	43
Cuadro 5. Información de muestreo de la baliza 13	46
Cuadro 6. Información de muestreo de la baliza 31	48
Cuadro 7. Información de muestreo de la baliza 31	51
Cuadro 8. Abundancia de microplásticos por sitio de muestreo	54
Cuadro 9. Concentración de microplásticos por sitio de muestreo	54
Cuadro 10. Microplásticos en nidos en corrales de anidación	59
Cuadro 11. Clasificación de microplásticos en corrales por tamaño.....	60
Cuadro 12. Macroplásticos encontrados en nidos a diferentes profundidades	62
Cuadro 13. Comparación Tukey entre nidos de Playa Laurel.....	67
Cuadro 14. Comparación Tukey entre nidos de Playa Navarro.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la Tortuga Marina (CVICTM).....	21
Figura 2. Área de estudio, 15.5 km de línea de costa entre los municipios de Nautla y Vega de Alatorre, Veracruz	22
Figura 3. Área de estudio dividida por balizas cada 500 m. (Fuente: CVICTM, 2021).....	23
Figura 4. Metodología para el muestreo de microplásticos	24
Figura 5. Recorrido a la zona de estudio, El Raudal de las Flores, Nautla, Veracruz.....	25
Figura 6. Caracterización de microplásticos propuesto por Álvarez-Zeferino et al. (2020) (trabajo de campo).....	26

Figura 7. Identificación de nidos: A) Estaca de señalamiento y B) Cama.....	26
Figura 8. Muestreo: A) Remoción de sedimento, B) extracción de cascarones con la mano, C y D) toma de muestras, E y F) medición del nido.....	27
Figura 9. Corral de manejo 1, ubicado en playa El Raudal de las Flores, Nautla, Veracruz	28
Figura 10. Material utilizado para el muestreo de los nidos	29
Figura 11. Caracterización de microplásticos propuesto por Álvarez-Zeferino <i>et al.</i> (2020) (trabajo de laboratorio)	30
Figura 12. Procesamiento de las muestras en Laboratorio LIRA: A) secado, B) pesado, C) tamizado y D) extracción y cuantificación de microplásticos	32
Figura 13. Clasificación visual de microplásticos en laboratorio LIRA	34
Figura 14. Clasificación por tamaño de microplástico en laboratorio LIRA.....	34
Figura 15. Clasificación por tipo de microplástico en laboratorio LIRA.....	34
Figura 16. Capacitación sobre el manejo y conservación de las nidadas de tortuga marina en el CVICTM	36
Figura 17. Municipio de Nautla, Veracruz.....	38
Figura 18. Municipio de Vega de Alatorre, Veracruz	39
Figura 19. Sitios de muestreo	40
Figura 20. Nidos muestreados en la baliza 1 (playa Raudal 1).....	41
Figura 21. Presencia de contaminación plástica en playa El Raudal de las Flores, Nautla	42
Figura 22. Huevos y cascarones encontrados en el nido 12, playa El Raudal de las Flores, Nautla	43
Figura 23. Riachuelo de la baliza 4.....	44
Figura 24. Nidos muestreados en la baliza 4 (playa Raudal 2).....	44
Figura 25. Presencia de contaminación plástica en la baliza 4 (playa Raudal 2).....	45
Figura 26. Nidos muestreados en la baliza 13 (playa Laurel)	46
Figura 27. Presencia de redes de pesca en el nido 14 (playa Laurel).....	47
Figura 28. Playa Navarro	48
Figura 29. Comercio local playa Navarro zona turística	48
Figura 30. Nidos muestreados en la baliza 31 (playa Navarro).....	49
Figura 31. Presencia de contaminación plástica en la baliza 31.....	49

Figura 32. Fuentes de contaminación y actividades antropogénicas: A) comercio, B) turismo, C) actividades pesqueras, D) ganadería, E) agricultura	50
Figura 33. Uso de plásticos en corral de anidación	51
Figura 34. Microplásticos encontrados en nidos <i>in situ</i>	53
Figura 35. Microplásticos encontrados por playa	54
Figura 36. Clasificación de microplásticos por tamaño	56
Figura 37. Clasificación de microplásticos por color.....	57
Figura 38. Clasificación de microplásticos por tipo.....	58
Figura 39. Microplásticos encontrados en nidos <i>in situ</i>	58
Figura 40. Microplásticos encontrados en nidos en corrales de anidación	59
Figura 41. Clasificación de microplásticos en corrales por forma	60
Figura 42. Clasificación de microplásticos en corrales por color	61
Figura 43. Microplásticos encontrados en corrales	61
Figura 44. Macroplásticos encontrados en nidos a diferentes profundidades	63
Figura 45. Macroplásticos encontrados con mayor cantidad: A) nido 7 y B) nido 15.....	63
Figura 46. Macroplásticos encontrados en nidos: A) nido 4, B) nido 5, C) nido 8, D) nido 9 y E) nido 12.....	64
Figura 47. Graficas de normalidad para cada uno de los sitios de muestreo de nidos <i>in situ</i>	65

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de materiales plásticos es de suma importancia para la vida humana (Ahmad *et al.*, 2020), debido a sus diversos usos en la vida cotidiana como por ejemplo en forma de envases, cosméticos, ropa, entre muchos otros (Greenpeace, 2021). El consumo de plásticos ha aumentado en los últimos años, produciéndose alrededor de 300 millones de toneladas de plástico por año, de las cuales 13 millones se convierten en residuos y llegan a ríos y océanos (Giraldez *et al.*, 2020), depositándose principalmente en zonas costeras. Uno de los efectos más devastadores de esta contaminación es el daño que provoca a los ecosistemas y a los organismos marinos como es el caso de las tortugas marinas, las cuales se mueren por asfixia, enredo o ingestión de dichos plásticos (Herrera *et al.*, 2020). Lamentablemente estos productos cuentan con una baja capacidad de degradación, aunado a su difícil reciclaje y disposición final, trayendo como consecuencia una acumulación de plásticos en el medioambiente (Bollain y Agulló, 2019) lo que genera daños irreparables a los ecosistemas y fauna circundante (Giraldez *et al.*, 2020).

La mayoría de los materiales plásticos tienen gran estabilidad física, pero, con el tiempo se pueden ver sometidos a erosión física (desgaste del plástico por factores físicos como la acción del aire, temperatura, etc.) y química (desgaste del plástico por acción de sustancias químicas) (Posada, 1994), lo que ocasiona que se fragmenten en partículas más pequeñas llamadas microplásticos (Bollain y Agulló, 2019) cuyo tamaño es menor a 5 mm (Cabrera, 2018), por lo que son considerados contaminantes emergentes y constituyen la fracción más abundante y dañina de los residuos plásticos (Zhang, 2017), siendo actualmente una de las mayores preocupaciones ambientales en el mundo (Cruz, 2020). Los microplásticos están compuestos principalmente por materiales como el nylon (poliamidas), poliéster, polipropileno (PP), polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), poliuretano (PU), y fibra de poliamida, entre otros (Laglbauer *et al.*,

2014), y se clasifican en microplásticos primarios y microplásticos secundarios (Cabrera, 2018). Los microplásticos primarios son aquellos que se fabrican intencionalmente en un tamaño menor a 5mm para su uso industrial, por ejemplo, las microperlas y los pellets o balines, utilizados para la fabricación de jabones, cosméticos, pastas dentales, exfoliantes, entre otros (Yang *et al.*, 2020). En cambio, los microplásticos secundarios son aquellos que derivan de productos plásticos de mayor tamaño y cuya fragmentación es provocada por causas físicas, químicas o biológicas. Entre este tipo de plásticos se encuentran las fibras, fragmentos, películas, gránulos, perlas y espumas (Castro *et al.*, 2021). Los impactos ambientales ocasionados por los microplásticos afectan directamente los hábitats clave utilizados por las tortugas marinas, por medio del transporte de sustancias tóxicas y alteración de las propiedades de los sedimentos como la temperatura y la permeabilidad (Beckwith y Fuentes, 2018).

Los sitios de anidación de las tortugas marinas dependen de factores físicos como el sustrato, temperatura y humedad, (Morales, 2013). De igual manera, la ubicación y la distribución de los nidos es importante para que la nidada sea exitosa. Existen algunas variables que facilitan la ovoposición (lugar de la playa con condiciones favorables para depositación de huevos) (García y Pinzón, 2019), como lo son playas de arena fina, pendientes moderadas, buena humedad y drenaje (Zavaleta y Morales, 2013). Los plásticos alcanzan una mayor temperatura que la arena (Andrady, 2011; Wen, 2007), por lo que, al encontrarse residuos plásticos en presencia de arena, provocan un aumento de temperatura, especialmente si el pigmento del plástico es oscuro (Andrady, 2011), lo que afecta potencialmente el entorno de anidación de las tortugas marinas y, en consecuencia, la proporción de sexos de las crías y el éxito reproductivo de los nidos. Por consiguiente, su entorno puede verse aún más afectado por las sustancias tóxicas liberadas por los microplásticos cuando se calientan (Litner *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2011). Actualmente los estudios realizados sobre microplásticos se centran

principalmente en agua, suelo, playa, sedimentos, y algunos organismos como peces y crustáceos, pero no se ha documentado la presencia de microplásticos en nidos de tortugas marinas en México, por lo tanto, debido a los impactos potenciales de los microplásticos en el ambiente de incubación de tortugas marinas, es de suma importancia determinar la exposición de los microplásticos en los sitios de anidación. Para ello se propuso caracterizar la presencia de microplásticos en la zona de anidación de tortugas en El Raudal de las Flores, Nautla, Veracruz, donde se encuentra el Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la tortuga marina (SEDEMA, 2021).

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1.- Teoría General de Sistemas

La Teoría General de Sistemas nos proporciona la relación que existe entre grupos integrados por materia y energía; a los cuales se les llama Sistemas (Betancourt, 1980).

Esta teoría fue presentada por Ludwing Von Bertalanffy en 1950, cuyo propósito es estudiar los principios aplicables a los sistemas en cualquier nivel en todos los campos de la investigación (SESGE, 2022), y plantea una serie de justificaciones que buscan una teoría cuyos principios sean válidos para los sistemas en general como lo son: la existencia de isomorfos que son transferidos de un nivel de organización a otro y la necesidad de una nueva ciencia, básicamente la Teoría General de Sistemas, más que teoría se trata de una estructura metodológica que tiene como objetivo estudiar el sistema como un todo, de forma íntegra, tomando como base sus componentes y analizando las relaciones e interrelaciones existentes entre éstas y mediante la aplicación de estrategias científicas, conducir al entendimiento globalizante y generalizado del sistema (Tamayo, 1997).

2.1.1 Teoría de sistemas complejos

El término complejidad atribuye de entrada la imposibilidad de simplificar y entender el concepto desde la linealidad. La complejidad proviene de la sumatoria de conceptos, visiones, hallazgos, estudios y reflexiones que en un punto se interconectan y buscan dar una razón lógica a un problema, la interacción y dinamismo constante de estos vínculos permiten que el objeto de estudio pueda ser analizado desde diferentes puntos de vista dando lugar a nuevas interpretaciones de este (López, 2021).

El interés por los sistemas complejos proviene de múltiples campos y responde a la evolución, lo mejor del pensamiento científico del siglo XX (Maldonado, 2005). Este

paradigma fue introducido por Edgar Morín en 1990, considerado como uno de sus grandes aportes a la teoría de las ciencias, mediante este paradigma de la complejidad, Morín descubrió una nueva forma de pensar de la realidad, constituido por nuevas concepciones, visiones, ideas e incertidumbres que se conectan en un punto para dar una explicación más ajustada a la realidad, un sistema complejo se caracteriza por su comportamiento impredecible, en el cual las condiciones iniciales siempre serán diferentes a las condiciones finales (Elizalde, 2013).

Actualmente la mala gestión de los residuos sólidos se ha convertido en un problema cada vez más presente en los países en vía de desarrollo, lo anterior antecede a que la generación de estos son un aspecto inevitable dentro de la sociedad ligado principalmente al crecimiento poblacional, haciendo que la cantidad de residuos generados sea cada vez mayor. Esto se puede definir como un sistema complejo, pues para el análisis de esta problemática, es necesario considerar las diferentes variables que están involucradas en el problema, y así comprender la complejidad que implica afrontar cada una de estas (López, 2021).

2.2.- TEORÍA ECOLÓGICA

El psicólogo Urie Bronfenbrenner planteó en 1979 la teoría ecológica o también conocida como la teoría de los sistemas ecológicos, la cual establece un enfoque ambiental dentro del desarrollo cognitivo, racional y moral de las personas a través de su relación con el medio ambiente (Bach, 2019).

Bronfenbrenner estableció cuatro niveles de sistemas que están presentes en la vida de cada individuo:

- **Microsistema.**- Este nivel es el que se encuentra más cercano a la persona el cual incluye los comportamientos, roles y relaciones por los cuales pasa día a día,

es el lugar en el que la persona puede interactuar fácilmente, como en el hogar, el trabajo, sus amigos (Bronfenbrenner, 1992).

- **Mesosistema.**- Este nivel comprende las interrelaciones de dos o más entornos en los que la persona en desarrollo participa activamente (familia, trabajo y vida social) es un sistema de microsistemas, se forma o amplía cuando la persona entra en un nuevo entorno (Bronfenbrenner, 1979).
- **Exosistema.**- Es el nivel donde el sujeto no actúa pero es el receptor de influencia, en este nivel podemos encontrar la naturaleza, el vecindario, medios de comunicación, entre otros (Bach, 2019).
- **Macrosistema.**- En este nivel se encuentran las condiciones sociales y culturales, es el contexto más grande y de mayor influencia en la formación del sujeto, engloba las creencias, los valores y el estilo de vida (Bach, 2019).

Esta teoría nos ayuda a entender cómo el entorno de las personas y todos los sistemas a su alrededor influyen de manera determinante en su desarrollo y en su aprendizaje.

2.3 ECOLOGÍA CULTURAL

La ecología cultural es una serie de metodologías, principios y conceptos que estudian las relaciones del hombre con su ambiente físico en sus diferentes niveles de integración con la sociedad y la cultura (Steward, 1955).

Establece que los patrones de comportamiento culturales permiten la adaptación del hombre al ambiente mediante una serie de interacciones dinámicas (Juan, 2006). Esta corriente se puede relacionar con el tema de investigación debido a que involucra tanto el medio cultural como el ecológico, la conexión entre el hombre y su medio físico y la manera en la que uno depende del otro.

2.4 CULTURA AMBIENTAL

Actualmente el mundo enfrenta una crisis ambiental sin límites, el exceso de contaminación en todos los ambientes, el deterioro de la capa de ozono, cambio climático, entre otros problemas, son el resultado de la falta de consideración con nuestro entorno natural (Hernández y Saldaña, 2016).

El problema del progresivo deterioro ambiental y social se ha atribuido a ciertas creencias o formas de ver el mundo que establecen, en gran parte, los valores y las actitudes con respecto al medio ambiente y a los otros seres humanos que generarán determinados comportamientos o conductas ecológicas, lo cual determina la cultura ambiental de la población, por lo que es importante inculcar desde edades tempranas una adecuada cultura ambiental, como una alternativa para preservar el medio ambiente y garantizar la supervivencia de las especies (Miranda, 2013).

2.5 CONTAMINACIÓN MARINA

El mar cubre la mayor parte de nuestro planeta, por lo que existe la creencia que tiene una capacidad de dilución infinita y que puede servir como un gigantesco vertedero para todos los desechos producidos por el hombre (Botello, 2016), lamentablemente no es así, los desechos que ingresan a los cuerpos de agua pueden permanecer suspendidos por cientos de años, ser incorporados a la biota acuática o depositados sobre el fondo e incorporarse en los sedimentos marinos (Beg *et al.*, 2001).

La contaminación marina se define como “la introducción, directa o indirecta de sustancias o energéticos en el medio marino, la cual acaba por dañar los recursos vivos, poner en peligro a la salud humana, alterar las actividades marinas y reducir el valor recreativo y la calidad del agua de mar” (Botello, 2016). En el océano se encuentran muchos tipos de contaminantes, entre los que destacan los materiales plásticos.

2.6 CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS

La generación de materiales plásticos incrementa de manera exponencial ya que son ampliamente utilizados, por lo que actualmente son uno de los desechos con mayor distribución en los ecosistemas marinos, y debido a su persistencia en el medio aumenta la preocupación a nivel mundial por los efectos adversos que pueden provocar a los ecosistemas (Ruíz, 2018).

El 33% del plástico que se produce anualmente no es diseñado para reciclarse, lo que conlleva a un problema de residuos, por lo que son en muchas ocasiones depositados en rellenos sanitarios o en tiraderos a cielo abierto, provocando la contaminación hacia el océano (Crawford y Quinn, 2017).

2.7 LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los residuos, se refiere a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional, y tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado; propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; y prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación (LGPGIR, 2018).

Según la Ley General para la prevención y Gestión de los Residuos, Residuo se define como “Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final” (LGPGIR, 2018).

2.7.1 Residuos sólidos

Al hablar de residuo se hace referencia a todo aquel material inútil e innecesario para cualquier ser viviente. Actualmente la mayoría de estos residuos son de tipo sólido y presentan un aumento exponencial en respuesta de las actividades humanas y su hábito de consumo (López, 2021). El manejo de residuos sólidos consiste en 7 etapas que son: la generación, el almacenamiento, la recolección, el transporte, la transferencia, el tratamiento y la disposición final (Ochoa, 2009). Además, se clasifican según su fuente de generación y sus características, en los siguientes tres grupos (LGPGIR, 2018).

Residuos sólidos urbanos (RSU): son los que se producen por actividades domésticas o los que se generan también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de los establecimientos urbanos o en la vía pública.

Residuos peligrosos (RP): son aquellos que poseen alguna de las características CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o agentes biológicoinfecciosos) que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados al ser transferidos a otro sitio.

Residuos de manejo especial (RME): son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

La gestión integral de los residuos sólidos, como enfoque, busca transformar la cultura actual de eliminación de desechos a una que evite los residuos mediante prácticas de producción y consumo sostenibles (Rondón *et al.*, 2016)

2.7.2 Residuos plásticos

Entre los residuos sólidos se encuentran los plásticos, estos están constituidos por una amplia gama de materiales de diversos usos, sus propiedades fisicoquímicas les permiten ser moldeados en un sin fin de formas, generando millones de productos de uso cotidiano

(López, 2021). Actualmente contamos con un estilo de vida donde es indispensable el uso de plásticos, cada vez con mayor frecuencia y cantidad, ocasionando el problema de los residuos (Mendoza, 2018).

2.8 PLÁSTICOS

Los plásticos están formados por cadenas de polímeros (Shah *et al.*, 2014) que se obtienen de la síntesis de combustibles fósiles, principalmente petróleo, gas y carbón, las cuales pueden ser moldeadas, aplicadas como recubrimiento, extruidos y tienen múltiples aplicaciones (Derraik, 2002). La palabra “plástico” proviene del griego “Plastikos” y del latín “Plasticus”, la cual tiene como significado que puede ser fundido en diferentes formas (Shah *et al.*, 2014).

En el cuadro 1 López (2021), nos presenta la clasificación de los diferentes tipos de plásticos de acuerdo con el Sistema de codificación SPI (Sociedad de Industrias de Plástico).

Cuadro 1.- Clasificación de los plásticos.

Código SPI	Descripción	Productos	Productos obtenidos del reciclaje
	PET Tereftalato de polietileno.	Se utiliza principalmente en botellas (recipiente para almacenar las bebidas).	Es fácil de reciclar, para después utilizarse en muebles, ropa, tejas, escobas, piezas de automóvil y ocasionalmente en nuevos envases de alimentos.
	HDPE Polietileno de alta densidad.	Lo podemos encontrar en instrumentos de aseo, como bolsas de super, empaques de alimentos, y en platos y vasos de comida.	Una vez reciclados pueden dar vida a tubos, mangueras, botellas de detergentes y limpiadores, canastas de bebidas, macetas y envases.
	PVC Policloruro de vinilo.	Es un tipo de plástico muy versátil, pero no se utiliza para empaques de	No es fácil de reciclar pero cuando se realiza se pueden obtener llaveros, señalización de vías, tapetes y paneles.

		alimentos y/o bebidas ya que contiene toxinas perjudiciales para la salud, lo podemos encontrar en tubos de PVC, cables eléctricos y tarjetas de crédito o débito.	
	LDPE Poliétileno de baja densidad.	Se usa principalmente en manteles, envases de productos de higiene personal como cremas corporales y shampoos, también lo podemos encontrar en bolsas para basura.	Su reciclaje termina en bolsas para la basura, mangueras, paneles, tuberías y papeleras.
	PP Polipropileno.	Lo encontramos en paquetes, tapas de botellas, esferas, cepillos, canastillas de plástico y muebles.	A partir de él se obtienen cables de batería, escobas, ganchos para colgar ropa, bandejas y bastidores de bicicleta.
	PS Poliestireno.	Lo podemos encontrar principalmente en vasos, platos, cucharas, tenedores y cuchillos desechables, también en envases de productos lácteos como yogurt, mantequilla, cremas, etc.	Es muy difícil de reciclar porque puede emitir toxinas, pero, se emplea en tejas y cintas de empaçado.

	Otros	Normalmente son mezclas de diferentes tipos de plásticos los cuales dan lugar a teléfonos, artículos médicos, botellones de agua, biberones y juguetes.	También es muy difícil de reciclar por las mezclas que contiene, pero puede dar lugar a cds y materiales antibalas.
---	-------	---	---

Nota. El cuadro constituye en breve resumen sobre la clasificación de los plásticos. Tomado de: López, 2021.

2.8.1 Microplásticos

Los microplásticos son contaminantes emergentes (compuesto químico cuya presencia en el medio no es nueva, pero si la preocupación por las posibles consecuencias del mismo) (De la torre, 2019). El término "microplásticos" se introdujo hace aproximadamente una década para describir pequeñas partículas sintéticas de plástico con un tamaño menor de 5 mm, (Tagg *et al.*, 2015; Cabrera, 2018). Y se pueden separar en dos tipos diferentes, microplásticos primarios y microplásticos secundarios, las partículas microplásticas están hechas principalmente de polietileno, polipropileno y otros polímeros (Cabrera, 2018).

2.8.1.1 Primarios

Los microplásticos primarios son los que se fabrican intencionalmente con un tamaño menor a 5 mm, como las microesferas que se utilizan en el sector cosmético (en la formulación de exfoliantes, pasta de dientes, etc.), o como materia prima para la producción de plásticos (Bollain y Agullò, 2019).

2.8.1.2 Secundarios

Los microplásticos secundarios son los que se producen como consecuencia de la degradación física o química de plásticos o fibras de mayor tamaño, que llegan al medio ambiente por una mala gestión de los residuos (Bollain y Agullò, 2019).

2.9 TRANSPORTE DE RESIDUOS PLÁSTICOS

Los desechos plásticos cuentan con una baja densidad por lo que su transporte en el ambiente se da fácilmente, estos pueden ser transportados por acciones naturales como la lluvia o el viento, o por acciones humanas como la pesca, el turismo o la mala gestión de los residuos, provocando su depósito final en los océanos, dependiendo de su peso estos pueden permanecer en la columna de agua o pueden ser sedimentados (Tapia y Farfán, 2020).

2.10 SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS

Existen bastantes técnicas para la separación de los microplásticos de la arena, uno de ellos es el propuesto por Álvarez Zeferino *et al.* (2020). Donde la eliminación de microplásticos de la muestra de arena se realiza mediante un proceso secuencial de tamizado y flotación, para extraer los microplásticos por flotación, los materiales contenidos en el tamiz deben agregarse a soluciones acuosas que permiten que los microplásticos floten y que la arena restante se hunda. Para ello, se han utilizado soluciones de NaCl (1.15, 1.2 g/cm³). Las fibras naturales, los fragmentos de conchas y otros materiales identificables deben eliminarse con pinzas de acero inoxidable, agitándolos ligeramente para evitar que se enreden o adhieran a los microplásticos. Una vez finalizada esta tarea, los microplásticos flotantes se pueden retirar con pinzas, para lavarlos y secarlos en estufa u horno a 60°C por 24 horas. Los microplásticos deben conservarse en envases de vidrio hasta su posterior análisis (Álvarez *et al.*, 2020)

2.11 TORTUGAS MARINAS

Las tortugas marinas habitan en todos los océanos del planeta (Eckert *et al.*, 2000), en las costas mexicanas anidan siete especies de tortugas marinas: la tortuga Verde (*Chelonia*

mydas), la tortuga Prieta (*Chelonia agassizii*), la tortuga Caguama (*Caretta caretta*), la tortuga Lora (*Lepidochelis kempii*), la tortuga Golfina (*Lepidochelys olivacea*), la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) y la tortuga Laúd (*Dermochelys coriacea*) (Márquez 1996, 2004; Zavaleta, 2013). Las diferentes especies de tortugas marinas comparten un ciclo de vida complejo, caracterizado por largos tiempos generacionales, maduración reproductiva tardía, y extensas migraciones entre áreas de alimentación, áreas de reproducción y áreas de cría (McClellan y Read, 2007). Según la NORMA Oficial Mexicana NOM-162-SEMARNAT-2012, Que establece las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de las tortugas marinas en su hábitat de anidación. Desde los años sesenta, México cuenta con campamentos tortugueros en todo el país, con la finalidad de realizar trabajos de conservación, monitoreo e investigación de tortugas marinas en las playas de anidación de los litorales del país, como es el caso del **Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la Tortuga Marina**.

2.11.1 Zona de anidación de tortugas

La anidación de las tortugas marinas depende de factores físicos en playa, además de otras variables oceanográficas (Morales, 2013). La distribución y ubicación de los nidos de tortugas marinas son factores importantes para el éxito de la nidada. Las variables que facilitan la ovoposición, corresponden a playas de arena fina, pendientes moderadas y buena humedad y drenaje (Zavaleta y Morales, 2013). Al concluir la temporada de reproducción, las tortugas adultas migran para retornar a sus respectivas áreas de alimentación (Eckert y Abreu, 2001).

3. ANTECEDENTES

Beckwith y Fuentes, en su estudio: Microplástico en zonas de anidación utilizadas por la unidad de recuperación de la tortuga boba del norte del Golfo de México (2018) determinaron la exposición a microplásticos de los diez sitios de anidación más importantes de la Unidad de Recuperación de la Caguama del Norte del Golfo de México. Obtuvieron muestras de arena en cada sitio de anidación durante la temporada de anidación de 2017 y las analizaron para determinar la abundancia y las características del microplástico. Encontraron microplásticos en todos los sitios, con una abundancia promedio de 61.08 ± 34.61 Mps/m², y 59.9% ubicado en las dunas, donde las tortugas anidan principalmente. Los resultados de este estudio indican que la acumulación de microplásticos en los sitios de anidación del norte del Golfo de México puede ser motivo de gran preocupación y podría afectar negativamente el entorno de incubación de las tortugas marinas.

Duncan *et al.*, (2018). En su investigación “La verdadera profundidad del problema del plástico en el Mediterráneo: contaminación extrema por microplásticos en las playas de anidación de tortugas marinas en Chipre”. Tomaron muestras de 17 sitios de anidación de tortuga Boba (*Caretta caretta*) y tortuga Verde (*Chelonia mydas*) en Chipre. Y encontraron microplásticos (<5 mm) en todos los lugares y profundidades, con una abundancia particularmente alta en la arena superficial. Los 2 cm superiores de arena presentaron una gran media \pm SD de partículas de $45,497 \pm 11,456$ Mps/m³. Los microplásticos disminuyeron con el aumento de la profundidad de la arena, pero estuvieron presentes hasta profundidades de nidos de tortuga de 60 cm (media $5,325 \pm 3,663$ Mps/ m³. El análisis de partículas a la deriva durante 365 días indicó que la mayor parte del plástico probablemente se originó en la cuenca del Mediterráneo oriental.

Cruz-Salas *et al.*, (2020). Realizaron una investigación en 2019 sobre cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca, que se encuentra muy cerca de la playa Mazunte donde se encuentra el Centro Mexicano de la tortuga, es su estudio evaluaron las concentraciones de microplásticos y residuos sólidos urbanos en tres temporadas distintas en una misma zona de la playa Zipolite. En sus resultados se determinó la presencia de microplásticos en todos los puntos de muestreo, las mayores concentraciones de microplásticos se encontraron en abril de 2019 con 1.06 Mps/kgss y dentro de sus características las más típicas fueron la forma de fibras (47%), en color el azul (35%) y tamaño de 1-2 mm (67.4%), los pellets y los balines fueron los menos recurrentes.

Rosado *et al.*, (2018). En su estudio sobre Caracterización de microplásticos y muestreo de residuos sólidos urbanos de la playa de Tuxpan, Veracruz, encontraron que la mayor parte de los microplásticos obtenidos son polietileno (PE) de color blanco y en su mayoría son rígidos. Calcularon las concentraciones de microplásticos de acuerdo a la masa de arena de muestra seca (93.27 Mps/kgss), al área (73.2 Mps/m²) y longitud (36.6 Mps/m) muestreada, he identificaron las 2 categorías con mayor abundancia en cuanto a número de piezas y masa, las cuales fueron: los residuos de alimentos y los fragmentos de plástico rígido. También se pudo observar que más del 50% de los residuos sólidos urbanos pertenecen a la categoría de los plásticos en términos de número de piezas, lo que permitió concluir la posible relación entre la generación de residuos y la presencia de microplásticos en playa.

Piñón *et al.*, (2018). Realizaron un estudio en las playas de Baja California, México. Donde muestrearon 21 sitios de playas de arena para investigar la ocurrencia y distribución de microplásticos en las playas de arena de la Península de Baja California,

México, así como su análisis espectroscópico, caracterización y morfología. Los microplásticos se separaron usando el método de densidad y se identificaron usando espectroscopia infrarroja de transformación de Fourier de reflexión total atenuada (ATR-FTIR). La abundancia media de microplásticos en las muestras fue de 135 ± 92 Mps/kgss, y la fibra fue el microplástico más abundante encontrado en las muestras, que comprende el 91% del total de microplásticos identificados. El análisis de espectroscopia infrarroja de transformación de Fourier de reflectancia total atenuada (ATR-FTIR) de los microplásticos mostró que los principales polímeros que se encuentran en los microplásticos eran poliacrílicos, poliacrilamida, tereftalato de polietileno, poliésteres y nailon.

Wessel *et al.*, (2016). Investigaron desechos microplásticos en costas arenosas en siete ubicaciones en un estuario del norte del Golfo de México (Mobile Bay, AL) durante el verano de 2014. Los microplásticos estaban omnipresentes en toda el área estudiada en concentraciones 66-253 veces mayores que las reportadas para el océano abierto. Los polímeros polipropileno y polietileno fueron los más abundantes, con poliestireno, poliéster y poliamida alifática también presentes, pero en menores cantidades. Hubo un gradiente en la abundancia de microplásticos, con ubicaciones más directamente expuestas a las corrientes marinas y las mareas con mayor abundancia y diversidad de microplásticos, así como una mayor contribución de polímeros más densos (por ejemplo, poliéster).

Retama *et al.*, (2016). Realizaron el primer estudio reportando la presencia de microplásticos en playas turísticas ubicadas en la Bahía de Huatulco, sur de México. Recolectaron un total de 70 muestras de sedimentos de playa (para 2 estaciones distintas) de la Bahía de Huatulco en abril de 2013 y diciembre de 2014. Las muestras se extrajeron posteriormente mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para identificar los microplásticos fibrosos (diámetro <5 mm). El número máximo de materiales

fibrosos se encontró en abril de 2013 y diciembre de 2014 en la playa Rincón Sabroso (48/30 g de sedimento) y la playa de Cuatunaco (69/30 g de sedimento), respectivamente. En general, hay una gran cantidad de microplásticos en las playas de Conejos, Tangolunda, Santa Cruz y San Agustín. Nos indican que la gran abundancia de microplásticos es derivada de principalmente de actividades basadas en el turismo y los efluentes vertidos de hoteles y restaurantes ubicados a lo largo de las playas.

Li *et al.*, (2021). Investigaron el nivel de contaminación por microplásticos en las áreas costeras de la provincia de Guangdong y la abundancia de microplásticos en las aguas superficiales y sedimentos en 13 sitios de muestreo. La abundancia de microplásticos en las muestras de agua superficial y sedimentos osciló entre 850 y 3500 Mps/L y entre 433,3 y 4166,3 Mps/kg, respectivamente. La fibra es el principal tipo de microplásticos tanto en aguas superficiales como en sedimentos. Los microplásticos muestreados eran típicamente transparentes. Los resultados en la muestra de agua superficial incluyen principalmente rayón (38,2%), tereftalato de polietileno (16,4%) y copolímero de etileno / acetato de vinilo (12,7%). Este estudio utilizó el método del índice de carga de contaminación para evaluar el riesgo de contaminación de los microplásticos a lo largo de la costa de Guangdong y proporcionó la base para la formulación de política de medio ambiente.

4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente los microplásticos representan una gran preocupación para el planeta, debido a que se distribuyen ampliamente en diferentes matrices ambientales (aguas superficiales, océanos y sedimentos) y diversos organismos (Sarrilla y Gallo, 2016). La contaminación por microplásticos puede ingresar a través de escorrentía de las aguas pluviales, la advección del viento, las precipitaciones atmosféricas, y las descargas de aguas residuales tratadas (Mason *et al.*, 2016; Cabrera, 2018). Debido a que en las playas de Nautla y Vega de Alatorre es donde desovan las especies de tortugas marinas: Verde (*Chelonia mydas*) y Lora (*Lepidochelys kempfi*) (Vergara, 2015) es de suma importancia determinar la exposición de los sitios de anidación de tortugas marinas a los microplásticos dados los impactos potenciales que pueden ocasionar. Así mismo, existe una falta de estudios que documenten la exposición de los sitios de anidación de tortugas marinas a los microplásticos. Para abordar esto y proporcionar una línea de base para estudios futuros, se examinará la concentración y clasificación de microplásticos en la zona de anidación de tortugas en El Raudal de las Flores Veracruz, donde se encuentra el Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la Tortuga marina.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Dónde se localizan los nidos con mayor concentración de microplásticos en la zona de anidación de tortugas en El Raudal de las flores Nautla, Veracruz?

6. HIPÓTESIS

Los nidos con mayor concentración de microplásticos son aquellos que se localizan en las cercanías de accesos públicos, por lo que se puede atribuir que el origen de dichos microplásticos en los nidos tienen su origen en las actividades antropogénicas de la zona.

7. OBJETIVOS

7.1 Objetivo general

Evaluar la presencia de microplásticos en la zona de anidación de tortugas en El Raudal de las Flores, Nautla, Veracruz.

7.2 Objetivos particulares

- Ubicar espacialmente los nidos de tortugas en la zona de anidación El raudal de las Flores, Nautla.
- Determinar las fuentes de contaminación y actividades antropogénicas que se realizan en la zona.
- Caracterizar los microplásticos presentes en los nidos.
- Analizar la cantidad de microplásticos en los nidos en función de su ubicación.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Área de estudio

La zona de estudio se encuentra en la zona costera de los municipios de Nautla y Vega de Alatorre, dónde se localiza el *Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la Tortuga Marina (CVICTM)* (Figura 1). Sus instalaciones se ubican en la localidad de El Raudal de las Flores, Nautla, el área de trabajo se encuentra seccionada dentro de 15.5 km entre ambos municipios (Figura 2).



Figura 1. Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la Tortuga Marina (CVICTM).

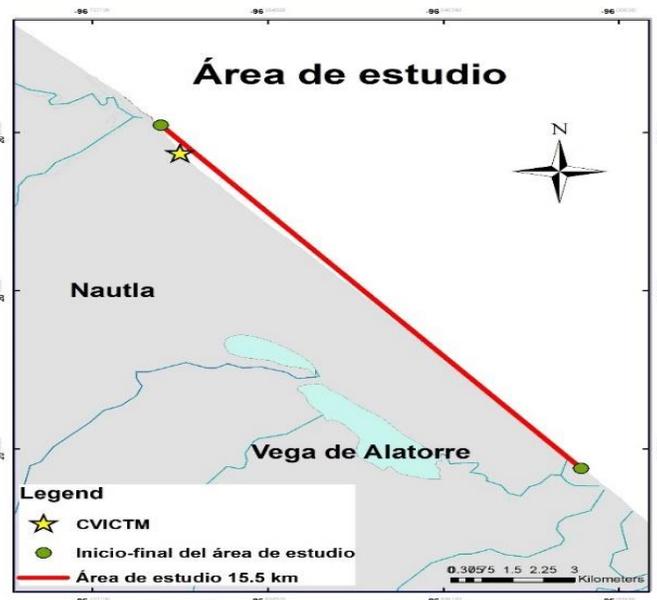


Figura 2. Área de estudio, 15.5 km de línea de costa entre los municipios de Nautla y Vega de Alatorre, Veracruz.

8.2 Selección de los sitios de muestreo

El área de estudio se encuentra dividida por 31 balizas cada 500 m. (Figura 3) colocadas por el Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la tortuga Marina (CVICTM), por lo que el proceso de selección de los sitios de muestreo consistió en elegir 4 balizas del área de estudio en base a una serie de criterios que se describen a continuación.

Criterios para la selección de los sitios de muestreo:

- Ubicación dentro de los 15.5 km de línea de costa que abarca el área de estudio perteneciente al CVICTM dentro de la zona de anidación de tortugas marinas de Nautla y Vega de Alatorre, Veracruz.
- Facilidad de acceso para la toma de muestras.
- Reporte de nidos con más de 3 meses en los sitios.
- Presencia de camas y/o estacas de señalamiento de nidos pertenecientes al CVICTM.

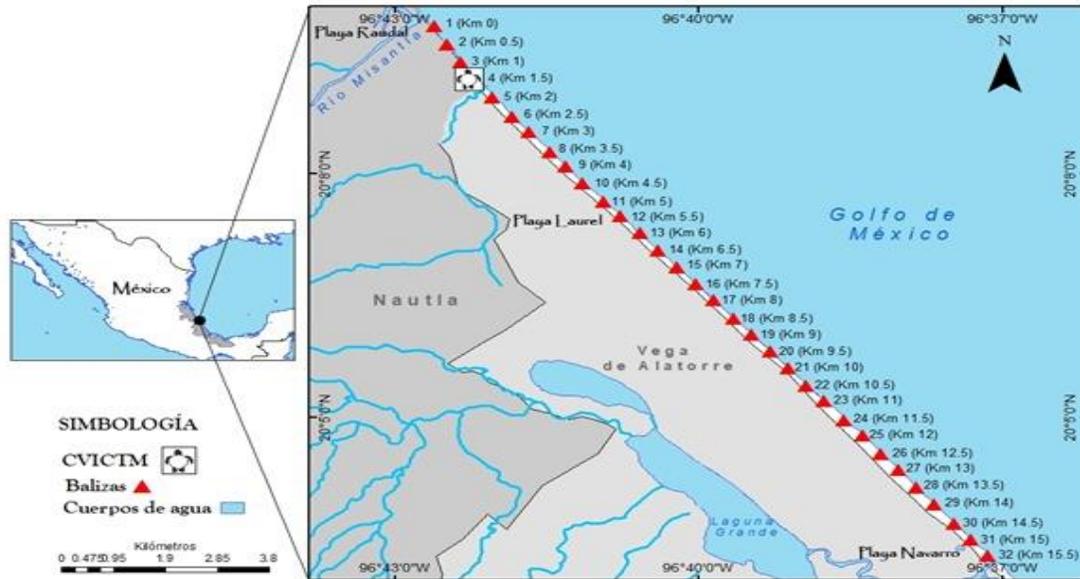


Figura 3. Área de estudio dividida por balizas cada 500 m. (Fuente: CVICTM, 2021).

8.3 Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en el muestreo de microplásticos de nidos *in situ* ya vacíos y de dos corrales de manejo para la protección e incubación de las nidadas pertenecientes al CVICTM, así como a la recopilación de información sobre las fuentes de contaminación y actividades antropogénicas que se realizan en la zona.

A continuación, en el Cuadro 2 se muestra información sobre fechas y coordenadas de la toma de muestras.

Cuadro 2. Información sobre los sitios de muestreo

Sitio	Playa	Municipio	Fecha del muestreo	Coordenadas
Baliza 1	El Raudal de las flores	Nautla	12/11/2021	20.162659 Latitud N. -96.708177 Longitud O.
Baliza 4	Playa Laurel	Vega de Alatorre	12/11/2021	20.122705 Latitud N. -96.677734 Longitud O.
Baliza 13	El Raudal de las flores	Nautla	13/11/2021	20.149792 Latitud N. -96.701424 Longitud O.
Baliza 31	Playa Navarro	Vega de Alatorre	11/11/2021	20.052334 Latitud N. -96.616791 Longitud O.
Corral 1	El Raudal de las Flores	Nautla	13/11/2021	20.153709 Latitud N. -96.703987 Longitud O.
Corral 2	Playa Laurel	Vega de Alatorre	12/11/2021	20.122343 Latitud N. -96.67765 Longitud O.

En la Figura 4 se muestra la metodología empleada para el muestreo de microplásticos en nidos in situ y en corrales de anidación.

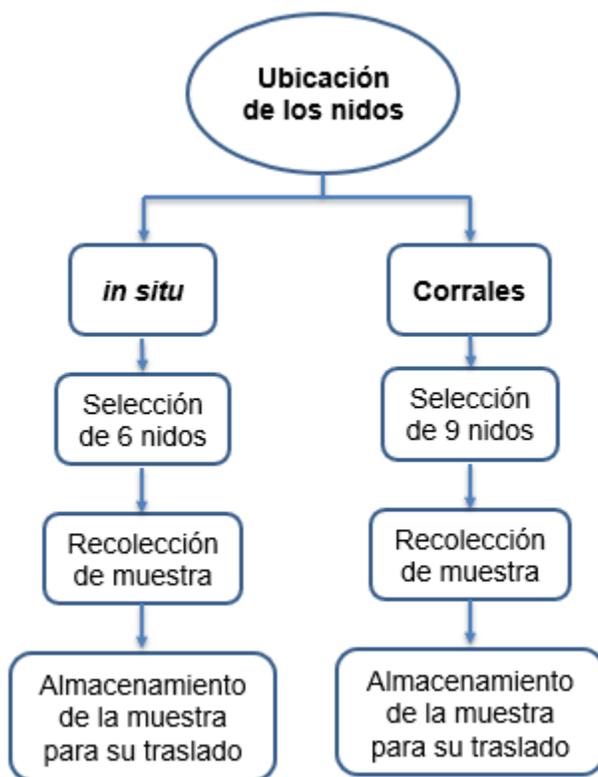


Figura 4. Metodología para el muestreo de microplásticos.

De acuerdo con el objetivo particular 1.- Ubicar espacialmente los nidos de tortugas en la zona de anidación El raudal de las Flores, Nautla.

Y el objetivo particular 2.- Determinar las fuentes de contaminación y actividades antropogénicas que se realizan en la zona.

Se realizó un recorrido a la zona de estudio geocalizando los nidos y accesos públicos de la zona, e identificando fuentes de contaminación y actividades antropogénicas (Figura 5).



Figura 5. Recorrido a la zona de estudio, El Raudal de las Flores, Nautla, Veracruz.

8.3.1 Muestreo de nidos *in situ*

El muestreo se estructuró en 3 etapas en base al método para cuantificación y caracterización de microplásticos en playas arenosas propuesto por Álvarez-Zeferino *et al.* (2020) (Figura 6).

Primera etapa: Ubicación y selección del sitio de muestreo. Se realizó un recorrido a la zona de estudio, con ayuda de un GPS se tomó la ubicación de la zona de estudio.

Segunda etapa: Selección de los puntos de muestreo. La longitud de la zona de estudio es de 15.5 kilómetros a lo largo de la línea de costa dividido cada 500 metros por balizas numeradas del 1 al 31 (Figura 3). Se eligieron 6 nidos al azar de las balizas 1, 4, 13 y 31 dónde se geolocalizó la ubicación de cada nido.

Tercera etapa: Muestreo. Se tomaron 3 muestras compuestas de paredes y fondo del nido. En total 72 muestras.



Figura 6. Caracterización de microplásticos propuesto por Álvarez-Zeferino et al. (2020) (trabajo de campo).

El muestreo se realizó en el área de dunas que es donde las tortugas anidan principalmente, en las balizas seleccionadas se buscaron estacas de señalamiento puestas por el CVICTM (Figura 7A), o en su defecto “camas” nombre con el que se llama al rastro que dejan las tortugas en el espacio donde hicieron el nido (Figura 7B).



Figura 7. Identificación de nidos: A) Estaca de señalamiento y B) Cama.

Cuando se encontraba una cama y/o estaca de señalamiento con la ayuda de un palo de escoba se buscaba alrededor introduciendo el palo en la arena, una vez localizado el sitio donde el palo entrara sin mucha dificultad, donde la arena no estuviera compactada se procedía a escarbar con la ayuda de una pala metálica, alrededor de 30 cm (Figura 8A) y luego con la mano para buscar el rastro de cascarones, una vez localizados los cascarones se procedía a sacarlos del nido (Figura 8B), para poder tomar la muestra de arena con la ayuda del cilindro metálico y con la ayuda de palas jardineras (Figura 8C y D). El cilindro tiene una capacidad de 1.8 kg con el cual se tomaron 3 muestras

compuestas de pared y fondo del nido. Cabe destacar que la metodología empleada para la toma de muestras e identificación de los nidos es de autoría propia con la ayuda del CVICTM, ya que no se encontró información de técnicas previamente realizadas en nidos, aunado a que el estudio de microplásticos aún no cuenta con técnicas estandarizadas.



Figura 8. Muestreo: A) Remoción de sedimento, B) extracción de cascarones con la mano, C y D) toma de muestras, E y F) medición del nido.

Una vez obtenida la muestra de arena, con la ayuda de un flexómetro se midió la profundidad a la que la muestra fue tomada (Figura. 8E y F), posteriormente se regresaron los cascarones y se procedía a tapar el nido con la misma arena que anteriormente se tomó de él. Mismo procedimiento para los 6 nidos obtenidos de cada una de las 4 balizas muestreadas.

8.3.2 Muestreo de nidos en corrales

De la misma manera se realizó el muestreo de dos corrales de manejo (Figura 9) para la protección e incubación de las nidadas que cumplen con las especificaciones de la NOM-162-SEMARNAT-2012, pertenecientes al CVICTM (SEDEMA, 2021). Cada uno de los corrales cuenta con 10 metros de ancho y 20 metros de largo, se obtuvieron 3 muestras de arena compuesta de pared y fondo de 9 nidos en cada corral, a una profundidad de 60 cm. Donde la metodología empleada se dividió en 3 etapas.



Figura 9. Corral de manejo 1, ubicado en playa El Raudal de las Flores, Nautla, Veracruz.

Para la primera etapa se seleccionaron dos corrales de manejo para la protección e incubación de las nidadas, el primero ubicado en la playa El Raudal de las Flores Nautla, y el segundo en la playa Laurel Vega de Alatorre, Veracruz.

Dentro de la segunda etapa se seleccionaron 9 nidos al azar de cada corral, posteriormente se inició la etapa tres, el muestreo, para este se utilizó una pala metálica con el propósito de escarbar hasta una profundidad de 60 cm que es donde se hace la cavidad para depositar los huevos de tortugas cuando estos se encuentran en peligro *in situ*, una vez estando a 60 cm de profundidad con la ayuda de una pala muestreadora se tomaron 3 muestras compuestas de pared y fondo de cada nido.

Las muestras obtenidas de los corrales y de los nidos *in situ* se almacenaron y posteriormente fueron trasladadas al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) del Instituto Tecnológico de Boca del Rio Veracruz (ITBOCA), para su análisis y obtención de resultados.

Los materiales que se utilizaron para el trabajo de campo fueron (Figura 10):

- Cilindro de aluminio
- Bolsas para almacenar la muestra
- Hieleras para el transporte de las muestras
- Hoja de trabajo
- Palos de escoba para la detección de nidos
- GPS
- Palas metálicas jardineras
- Flexómetro



Figura 10. Material utilizado para el muestreo de los nidos.

8.3.3 Información sobre fuentes de contaminación y actividades antropogénicas de la zona

La información sobre las fuentes de contaminación y actividades antropogénicas de la zona se obtuvo mediante fuentes gubernamentales (Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Veracruz, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Instituto de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, entre otras) y de los recorridos a la zona de estudio, con dicha información se realizó una evaluación de las actividades para descubrir su relación con la generación de microplásticos.

8.4 Trabajo de laboratorio

Una vez que se obtuvo el total de muestras se procedió a trasladarlas al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) del Instituto Tecnológico de Boca del Río Veracruz (ITBOCA), para el cumplimiento del objetivo 3.- Caracterizar los microplásticos presentes en los nidos.

Continuando con el método para cuantificación y caracterización de microplásticos en playas arenosas propuesto por Álvarez-Zeferino *et al.* (2020) (Figura 11).



Figura 11. Caracterización de microplásticos propuesto por Álvarez-Zeferino *et al.* (2020) (trabajo de laboratorio).

8.4.1 Secado de muestra

Una vez en el laboratorio se procedió al secado de las muestras en base a la metodología propuesta por Mohamed Nor y Obbard (2014). Cada muestra fue colocada en charolas de aluminio con capacidad de 3 kilos la cual se puso a secar a 60°C. por 24 horas. (Figura 12A). Una vez seca en su totalidad se tomó un kilogramo por cada muestra para expresar los resultados en gr (gramos) y # de microplásticos (Mps) por kilo de sedimento seco (Figura 12B).

8.4.2 Extracción de microplásticos

Una vez secas las muestras de un kilogramo se sometieron al proceso de tamizaje (Álvarez *et al.*, 2020), con la ayuda de 3 tamices con apertura de malla de 5, 2.3 y 0.9 mm se realizó el tamizaje de la muestra para separar el exceso de arena de las partículas mayores a 1mm. (Figura 12C). Los materiales contenidos en los tamices se etiquetaron para someterse a evaluación visual mediante microscopia estereoscópica, posteriormente se preparó una solución saturada de NaCl a una densidad de 1.2 g/cm³ (Zarfl, 2019), se utilizaron alrededor de 360 g de NaCl por litro de agua destilada, para someter las muestras a proceso de flotación. Se agregó la muestra agitándola durante un minuto y después se dejó reposar, los microplásticos que se encontraron flotando se retiraron con unas pinzas metálicas y se pusieron a secar a temperatura ambiente. Para la identificación de los microplásticos mediante microscopia estereoscópica se tomó en cuenta que no tuvieran estructuras orgánicas visibles, que su color fuera uniforme y opaco, que no se desmoronaran al tacto y para el caso de las fibras que no estuvieran segmentadas (Norén, 2007; Cruz, 2020)

8.4.3 Cuantificación de microplásticos

Una vez secos se procedió a la contabilización y pesaje de los microplásticos obtenidos (Figura 12D). Los cuales expresaran su resultado Mps/kgss (piezas de microplásticos por kilogramo de sedimento seco) y su concentración por mgMps/kgss (miligramos de microplásticos por kilogramo de sedimento seco) de acuerdo las unidades utilizadas para informar concentraciones de microplásticos descrita por Álvarez-Zeferino et al. (2020).



Figura 12. Procesamiento de las muestras en Laboratorio LIRA: A) secado, B) pesado, C) tamizado y D) extracción y cuantificación de microplásticos.

Falsos positivos: Debido a que las muestras presentaban una cantidad considerable de materia orgánica raíces y hojas principalmente, se utilizó agua oxigenada al 30% para descartar falsos positivos (Herrera, *et al.*, 2018) ya que la materia orgánica se oxida y se

torna de un color amarillento y café cuando entra en contacto con el peróxido de hidrógeno.

8.4.4 Clasificación de microplásticos

La clasificación de microplásticos se realizó de forma visual con ayuda de lámpara y microscopio estereoscópico (Figura 13).

- **Tamaño:** El tamaño se determinó con una hoja milimétrica (Figura 14). y se clasificaron de 1-2, 2.1-3, 3.1-4 y 4.1-5 mm. Correspondiendo al intervalo de 1 a 5mm (Cruz, 2020).
- **Tipo:** Con base en lo propuesto por Laglbauer y colaboradores en el 2014, los microplásticos pueden clasificarse en **fragmentos** (piezas de plástico de forma irregular rígido o semirrígido diferente a los demás tipos), **fibras** (filamentos, hilos o hebras plásticas, que pueden provenir de ropa, cuerdas o redes de pesca), **pellets y balines** (gránulos de plástico que se utilizan como materia prima para la elaboración de productos plásticos de mayor tamaño), **espumas** (piezas irregulares que se comprimen al presionarlos con los dedos, provienen principalmente de vasos y platos desechables), **películas** (son flexibles y delgadas provienen principalmente de bolsas y empaques de alimentos) en base a lo anterior, dentro de las muestras obtenidas se pudieron identificar los 5 tipos de microplásticos mencionados (Figura 15).
- **Color:** Con respecto al color la clasificación empleada es la que reporta Boerger y colaboradores (2010), donde contemplan categorías de colores; blanco, azul, gris, amarillo, naranja, verde, rosa, rojo, morado, negro y transparente.



Figura 13. Clasificación visual de microplásticos en laboratorio LIRA.

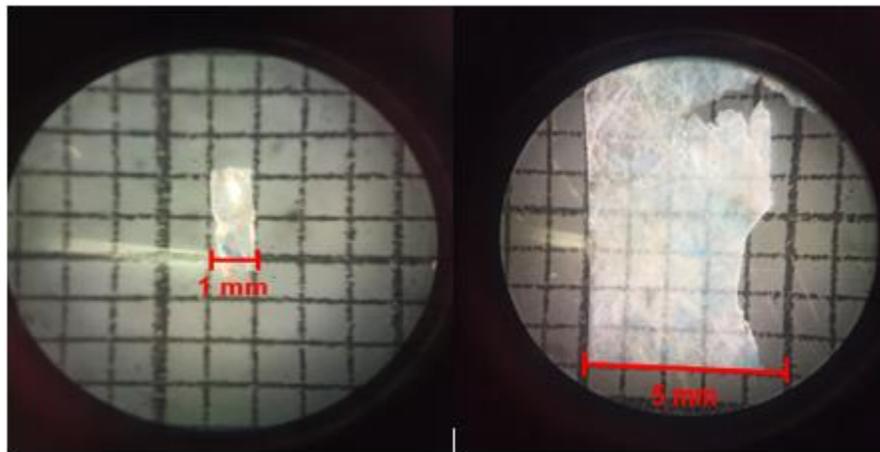


Figura 14. Clasificación por tamaño de microplástico laboratorio LIRA.

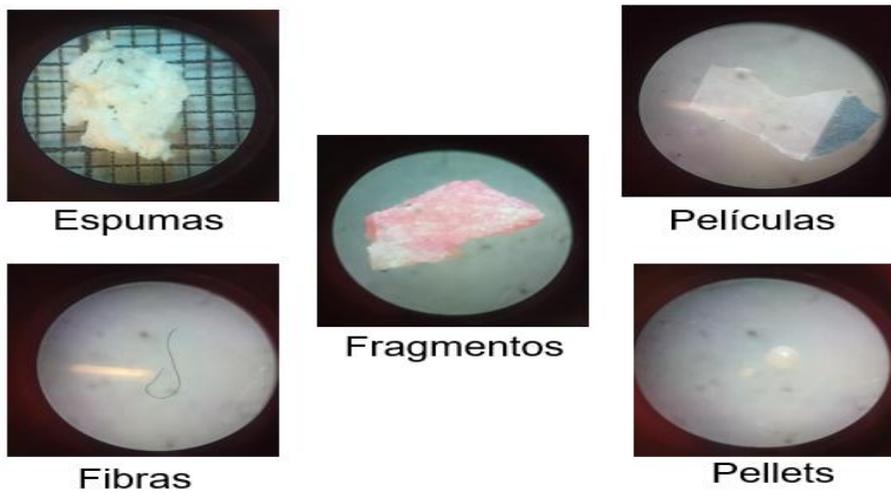


Figura 15. Clasificación por tipo de microplástico laboratorio LIRA.

8.5 Análisis de la información

Continuando con el cumplimiento de los objetivos planteados, para el objetivo número 4 que es analizar la cantidad de microplásticos en los nidos en función de su ubicación, se realizaron análisis de los resultados obtenidos. Para ello se llevaron a cabo comparaciones entre los microplásticos encontrados con respecto a la ubicación de los nidos, los sitios de muestreo y las actividades antropogénicas que se realizan.

Como primer paso se realizaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965) para tomar una decisión, utilizando para ello los softwares PAST y Minitab con el 95% de confianza, tomando como variables las playas respecto a la cantidad de microplásticos de cada uno de los nidos muestreados.

Posteriormente para los resultados de los nidos *in situ* se realizó un análisis de varianza (ANOVA) ya que los datos arrojaron una distribución normal, caso contrario para los corrales los cuales no tuvieron un comportamiento representado por una distribución normal por lo que se procedió a realizar un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, con estos análisis se permitió evaluar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de microplásticos de los nidos de las playas y los corrales muestreados. Así mismo, se realizaron comparaciones tukey para evaluar si existían diferencias estadísticamente significativas entre la cantidad de microplásticos de los nidos en cada playa y resaltar los nidos que son diferentes entre sí.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Área de estudio

Como ya se mencionó anteriormente el área de estudio se encuentra en la zona costera de los municipios de Nautla y Vega de Alatorre, dónde se localiza el *CVICTM*, se escogió el área de estudio por ser una de las principales zonas de anidación de tortugas marinas del estado de Veracruz.

Se realizó una estancia de investigación del 01 al 30 de noviembre de 2021, formando parte del proyecto “Protección y conservación de la tortuga marina en el Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la Tortuga Marina (CVICTM) con perspectiva en aprovechamiento en el sector de turismo sustentable”, estancia en la cual se obtuvo autorización para realizar los muestreos en los nidos así como capacitación para la identificación de los nidos, para el manejo adecuado de los cascarones y sobre las actividades que se realizan en el centro (Figura 16).



Figura 16. Capacitación sobre el manejo y conservación de las nidadas de tortuga marina en el CVICTM.

9.1.1 Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la Tortuga Marina.

El CVICTM es el área operativa de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) del Gobierno del Estado de Veracruz dedicado a la conservación de la tortuga marina en su hábitat de anidación. El desarrollo de estas acciones está respaldado con la vigencia de la Autorización de aprovechamiento no extractivo de la vida silvestre mediante oficio No. SGPA/DGVS/001399/18 emitido por la Dirección General de Vida Silvestre de la SEMARNAT. El centro se dedica a la protección de las especies de tortugas marinas que anidan en sus playas principalmente la tortuga lora y la tortuga verde, aunque también se han documentado esporádicamente que llegan a anidar a sus playas las tortugas laúd, carey y caguama. Además, se realizan actividades de monitoreo y vigilancia para impedir la pérdida de las nidadas, como la colocación de estacas en los nidos para marcarlos asegurándose que no se dañen los huevos y permitan el nacimiento de las crías.

Cuentan con 3 corrales de manejo para la protección e incubación de las nidadas que cumplen con las especificaciones de la NOM-162-SEMARNAT-2012, estos se utilizan cuando los nidos se encuentran en peligro *in situ*, esto podría ser cuando se encuentran muy cerca de la pleamar y corren el riesgo de inundarse.

9.1.2 Zona Costera del Municipio de Nautla, Veracruz

El municipio de Nautla, Veracruz cuenta con una superficie de 356 km² con coordenadas 20° 00' y 20° 15' de latitud norte y 96° 41' y 96° 55' de longitud oeste (Figura 17) con una altitud entre 10 y 600 m, cuenta con un clima cálido húmedo (22-26°C) con lluvias todo el año, tiene 113 localidades (SEFIPLAN, 2021).

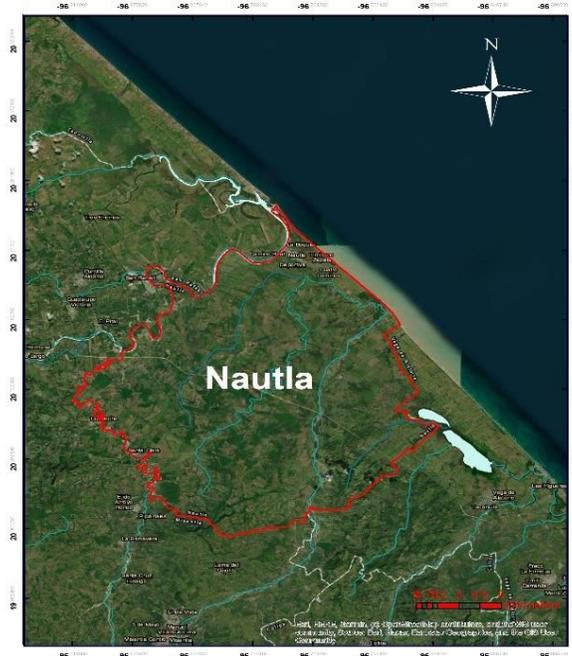


Figura 17. Municipio de Nautla, Veracruz.

La zona costera del municipio de Nautla colinda al norte con la desembocadura del río Nautla y al sur con la desembocadura del río Misantla, los vientos y oleaje más fuertes se presentan durante el otoño e invierno provenientes del Norte y del Noreste. Las playas de Nautla cuentan con sedimentos finos a medios en el área sumergida de la playa, mientras que en el área de arena seca y dunas cuenta con arena fina de forma esférica, lo que indica que cuenta con oleaje muy energético que transporta los sedimentos desde la zona sumergida hacia las dunas, las fuentes de sedimentos de las playas de Nautla provienen del Norte (Martínez, 2018)

9.1.3 Zona Costera del Municipio de Vega de Alatorre, Veracruz

El municipio de Vega de Alatorre, Veracruz cuenta con una superficie de 340.2 km² con coordenadas 19° 50' y 20° 09' de latitud norte y 96° 31' y 96° 46' de longitud oeste (Figura 18) con una altitud entre 5 y 900 m, cuenta con un clima cálido húmedo (22-26°C) con abundantes lluvias en verano, tiene 154 localidades (SEFIPLAN, 2021).



Figura 18. Municipio de Vega de Alatorre, Veracruz.

La zona costera del municipio de Vega de Alatorre tiene una longitud de 32.5 km de línea de costa, cuenta con cinco celdas litorales la primera colinda al norte con la desembocadura del río Misantla y al sur con la desembocadura del estero la Laguna Grande con 15.93 km de longitud, la cual corresponde a parte del área de estudio. La segunda celda limita al sur con la desembocadura del río Colipa, la tercera con la desembocadura de un estero, la cuarta con la desembocadura del río Juchique y la quinta limita al sur con la boca de la Laguna San Agustín.

Los vientos y oleaje más fuertes se presentan durante el otoño e invierno provenientes del Norte y del Nornoreste. Las playas de Vega de Alatorre cuentan con sedimentos medios en el área sumergida de la playa y arenas finas en la playa seca con partículas bien redondeadas y esféricas, oleaje muy enérgico que transporta los sedimentos desde la zona sumergida hacia las dunas, las fuentes de sedimentos de las playas de Vega de Alatorre provienen del Norte (Lithgow, 2020).

9.2 Selección de los sitios de muestreo

Los sitios de muestreo que corresponden a 4 balizas se seleccionaron en base a los criterios presentados en el punto 8.2, principalmente que se ubicaran dentro de los 15.5 km de línea de costa que abarca el área de estudio perteneciente al CVICTM, que existiera facilidad de acceso para la toma de muestras con reporte de nidos con más de 3 meses en los sitios y la presencia de camas y/o estacas de señalamiento de nidos pertenecientes al CVICTM. Se seleccionaron la baliza 1 (playa El Raudal 1), baliza 4 (playa El Raudal 2), baliza 13 (playa Laurel) y baliza 31 (playa Navarro) y dos corrales de anidación (Figura 19).

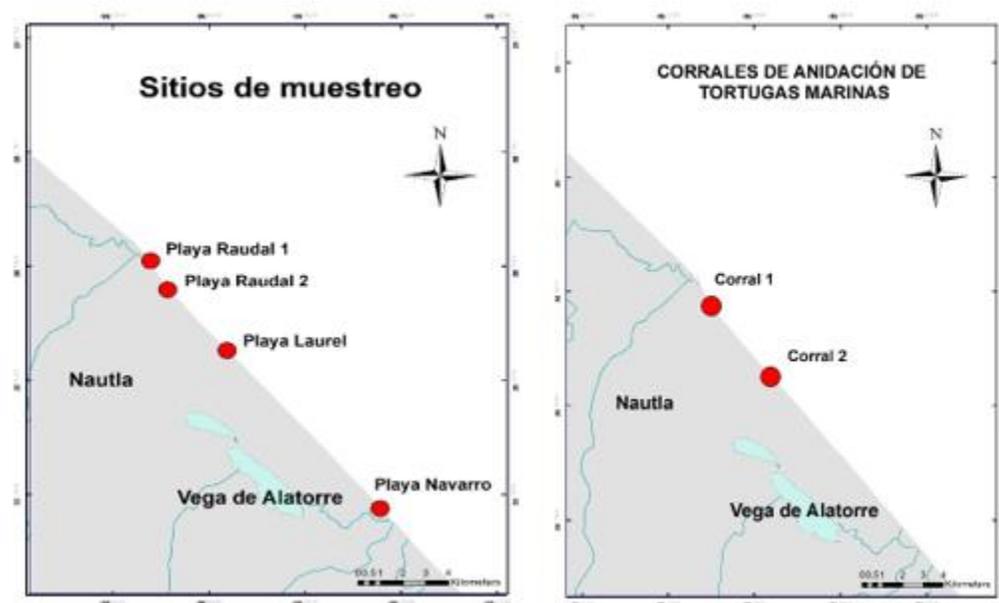


Figura 19. Sitios de muestreo.

Baliza 1: playa El Raudal de las Flores

La baliza 1 es la primera de 31 balizas que conforman la zona de estudio perteneciente al CVICTM, las cuales se encuentran en la playa El Raudal de las Flores a una distancia de 771 metros de la desembocadura del río Misantla. Se trata de una zona exclusiva para anidación de tortugas por lo que no es común la presencia de turistas. El muestreo se realizó el día 12 de noviembre de 2021 por la mañana. Para ello previamente se estableció un recorrido en la zona con la finalidad de buscar nidos y geolocalizarlos (Figura 20). Así mismo se tomó información del muestreo como la hora, la profundidad del nido, señalamiento y si existió la presencia de macroplásticos y la profundidad a la que se encontraron (Cuadro 3). Dentro del recorrido se observó la presencia contaminación plástica tanto en la playa como en las dunas (Figura 21), cabe destacar que en el nido número 12 se encontraron 67 huevos sin eclosionar ya en estado de descomposición, con 30 cascarones de huevos que si eclosionaron (Figura 22).

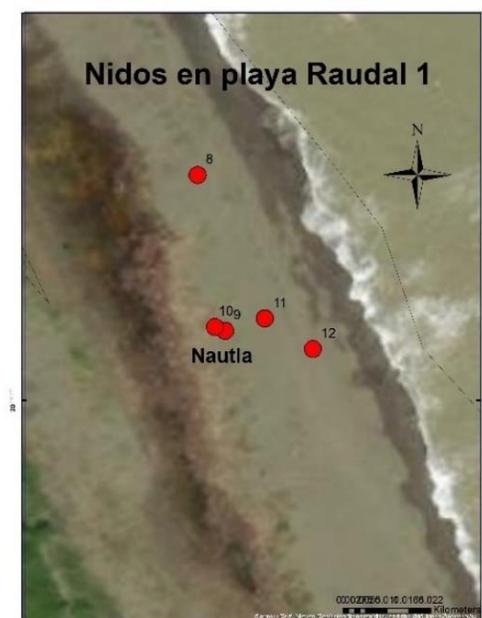


Figura 20. Nidos muestreados en la baliza 1 (playa Raudal 1).

Cuadro 3. Información de muestreo de la baliza 1.

Nido	Hora	Profundidad del nido (cm)	Profundidad macroplástico (cm)	Señalamiento	Coordenadas		Microplásticos encontrados
					Latitud	Longitud	
7	7:31	24	24	Cama	20.1615 85	- 96.708117	5
8	8:08	51	36	Estaca 16/07/2021	20.1607 09	- 96.708138	3
9	8:40	46	35	Cama	20.1603 57	- 96.708076	2
10	9:03	51	-	Cama	20.1603 66	- 96.708099	2
11	9:48	21	-	Cama	20.1603 85	- 96.707986	5
12	10:0 5	59	-	Cama	20.1603 16	- 96.707878	1



Figura 21. Presencia de contaminación plástica en playa El Raudal de las Flores, Nautla.



Figura 22. Huevos y cascarones encontrados en el nido 12, playa El Raudal de las Flores, Nautla.

Baliza 4: playa El Raudal de las Flores

La baliza 4, al igual que la baliza 1 se encuentra en la playa El Raudal de las Flores. Ésta se localiza a una distancia de 473 metros de las instalaciones del CVICTM, y a 2.235 km de la desembocadura del río Misantla, no cuenta con accesos públicos para turismo, existe la presencia de agricultura cerca de la zona y un riachuelo en la zona el cual desemboca en la playa cuando es temporada de lluvias (Figura 23). El muestreo se realizó el día 13 de noviembre de 2021 por la mañana. Para ello previamente se estableció un recorrido en la zona con la finalidad de buscar nidos y geolocalizarlos (Figura 24). Así mismo se tomó información del muestreo como la hora, la profundidad del nido, etc. (Cuadro 4). No se encontró la presencia de macroplásticos en los nidos, pero si existía contaminación plástica en la playa (Figura 25).

Cuadro 4. Información de muestreo de la baliza 4.

Nido	Hora	Profundidad del nido (cm)	Profundidad macroplástico (cm)	Señalamiento	Coordenadas		Microplásticos encontrados
					Latitud	Longitud	
19	7:04	45	-	Cama	20.14979 2	- 96.701424	6
20	7:15	48	-	Cama	20.15005 3	- 96.701477	1
21	7:45	38	-	Cama	20.14996 3	- 96.701538	7
22	9:08	34	-	Cama	20.14935 9	- -96.70092	2
23	9:39	53	-	Cama	20.14933 8	- 96.700851	5
24	10:1 9	45	-	Cama	20.15006 3	- 96.701401	8



Figura 25. Presencia de contaminación plástica en la baliza 4 (playa Raudal 2).

Cuadro 5. Información de muestreo de la baliza 13.

Nido	Hora	Profundidad del nido (cm)	Profundidad macroplástico (cm)	Señalamiento	Coordenadas		Microplásticos encontrados
					Latitud	Longitud	
13	16:50	31	-	Cama	20.12270 5	- 96.677734	2
14	16:58	35	-	Cama	20.12272 5	- 96.678177	13
15	17:08	55	14	Cama	20.12261 4	- 96.677902	27
16	17:28	51	-	Cama	20.12251 3	- 96.677612	7
17	17:40	49	-	Cama	20.12254 3	- 96.677521	4
18	17:52	54	-	Cama	20.12225 2	- 96.677284	7



Figura 27. Presencia de redes de pesca en el nido 14 (playa Laurel).

Baliza 31: playa Navarro

La baliza 31, se encuentra en la playa Navarro (Figura 28). Ésta se encuentra a una distancia de 14.04 km de las instalaciones del CVICTM, a 15.5 km de la desembocadura del río Misantla y a 169 metros de la desembocadura de la Laguna Grande, es una playa turística por lo que cuenta con acceso público, baños y comercios locales (Figura 29), existe ganadería, agricultura y pesca en la zona contando con 3 cooperativas pesqueras. El muestreo se realizó el día 11 de noviembre de 2021 por la tarde. Para ello previamente se estableció un recorrido en la zona con la finalidad de buscar nidos y geolocalizarlos (Figura 30). Así mismo se tomó información del muestreo como la hora, la profundidad del nido, etc. (Cuadro 6). Se encontró presencia de contaminación plástica en la playa (Figura 31).



Figura 28. Playa Navarro.



Figura 29. Comercio local playa Navarro zona turística.



Figura 30. Nidos muestreados en la baliza 31 (playa Navarro).

Cuadro 6. Información de muestreo de la baliza 31.

Nido	Hora	Profundidad del nido (cm)	Profundidad macroplástico (cm)	Señalamiento	Coordenadas		Microplásticos encontrados
					Latitud	Longitud	
1	15:13	45	-	Cama	20.05478 3	- 96.618973	25
2	15:28	62	-	Estaca 19/09/2021	20.05550 8	- 96.619553	25
3	15:40	82	53	Cama	20.05563 9	- -96.61982	6
4	16:00	19	19	Cama	20.05612 2	- 96.619987	7
5	16:08	78	55	Cama	20.05610 3	- 96.620064	1
6	16:11	39	27	Estaca 19/07/2021	20.05601 1	- 96.620026	4



Figura 31. Presencia de contaminación plástica en la baliza 31.

9.3 Fuentes de contaminación y actividades antropogénicas de la zona

Dentro de la zona de estudio existen fuentes de contaminación por residuos sólidos como las desembocaduras del río Misantla y la Laguna Grande, huracanes, descargas de aguas residuales y las corrientes marinas. Las actividades antropogénicas que se realizan en la zona y que podrían estar contribuyendo a la contaminación por residuos plásticos son la agricultura, la ganadería, la pesca extractiva, el comercio local y el turismo (Figura 32).



Figura 32. Fuentes de contaminación y actividades antropogénicas: A) comercio, B) turismo, C) actividades pesqueras, D) ganadería, E) agricultura.

Dentro de los recorridos se observó un corral de manejo para las nidadas el cual no pertenece al CVICTM debido a que usan botellas de plástico para marcar los nidos (Figura 33), lo que podría poner en riesgo el éxito de las nidadas en el corral o influir en el sexo de las crías, ya que el plástico aumenta la temperatura de la arena y por lo tanto podrían producirse más hembras que machos (Beckwith y Fuentes, 2018).



Figura 33. Uso de plásticos en corral de anidación.

A continuación, en el Cuadro 7 se enlistan las actividades antropogénicas y las fuentes de contaminación de la zona y como contribuyen con la contaminación plástica.

Cuadro 7. Información de muestreo de la baliza 31.

Fuente y/o actividad	Contribución a la contaminación plástica
Desembocaduras de ríos	Los ríos transportan residuos plásticos y otros contaminantes hacia el mar (Escobar, 2012), los cuales vienen de los poblados aledaños por los que pasa, estos pueden contener botellas, bolsas, ropa, recipientes, etc.
Fenómenos meteorológicos (lluvias, vientos, huracanes)	Al presentarse algún fenómeno meteorológico este contribuye con el transporte de desechos plásticos provenientes de zonas rurales y urbanas, ya sea mediante el viento o mediante escorrentías de aguas pluviales entre lo que pueden acarrear se encuentran también neumáticos de automóviles y pintura de carreteras (Rochman et al., 2019)
Descargas de aguas residuales	Al momento de realizar labores domésticas se generan residuos plásticos los cuales se liberan en las descargas de aguas residuales, estas pueden contener fibras las cuales se liberan mediante el lavado de telas sintéticas (Fendall, 2009; Browne et al., 2011), también se pueden liberar pellets o microperlas provenientes de productos de higiene personal (Lusher et al., 2013), entre muchos otros.
Accesos públicos	El que las playas sean de acceso público contribuye a la dispersión de residuos en las mismas, independientemente del turismo, el ir a realizar cualquier actividad humana puede generar residuos plásticos aunado a una mala educación ambiental estos se quedan en las playas.
Agricultura	En la agricultura se utiliza un sinnúmero de productos plásticos como pueden ser recipientes de agroquímicos, fertilizantes, y otros contenedores, tuberías, etc. Además, la escorrentía agrícola también puede incorporar residuos plásticos degradados de películas de invernadero, de mantillo plástico,

	sistemas de riego y maceteros (Rochman <i>et al.</i> , 2019).
Pesca extractiva	La pesca contribuye a la contaminación plástica mediante la generación de fibras a partir de la degradación de sogas y redes (Andrady, 2011), además que utilizan otros tipos de plásticos como contenedores y bolsas los cuales se degradan por la acción del sol y la sal y generan microplásticos a lo largo de su vida útil, una vez que se termina el tiempo de vida de las redes son abandonadas a la deriva provocando la llamada pesca fantasma.
Ganadería	En la ganadería utilizan productos plásticos como envases y contenedores de alimento, cuerdas, entre otros. Los cuales van a parar a tiraderos o mediante la acción del viento y las lluvias van directamente a las costas.
Comunidades	La zona de estudio cuenta con más de 3 comunidades, en las cuales se utilizan todo tipo de productos plásticos de uso doméstico, los cuales si no existe un buen manejo de los residuos sólidos urbanos van a parar a las costas.
Restaurantes y hoteles	Existen dos hoteles y 3 restaurantes dentro de la zona de estudio (INECOL, 2018), los cuales generan residuos sólidos urbanos y descargas de aguas residuales.
Turismo	Dentro del área de estudio por ser una zona de anidación de tortugas marinas llama al turismo, además de que playa Navarro es una playa recreativa con palapas y comercios locales.
Comercios	Al haber turismo dentro de la zona no pueden faltar los comercios locales, los cuales también son fuente de generación de residuos y por lo tanto de contaminación plástica.
Corrientes marinas	Las corrientes marinas son otra fuente de contaminación plástica, ya que los plásticos al tener una baja densidad son arrastrados fácilmente por las corrientes, y terminan acumulándose en islas de basura o directamente en las playas.
Uso de plásticos para marcar nidos	Se detectó el uso de plásticos como marcadores de nidos en un corral de manejo, esto además del daño que puede ocasionar a las nidadas también contribuye a la generación de contaminación plástica por macro y microplásticos.

9.4 Microplásticos en sedimento de nidos *in situ*

Todos los nidos muestreados presentaron al menos 1 microplástico presente a profundidades donde se realiza la incubación de los huevos de tortugas marinas. En la Figura 34 se puede observar que los nidos 1,2 y 5 presentaron mayor cantidad de microplásticos, los primeros ubicados en la baliza 31 en playa Navarro y el último ubicado en la baliza 13 playa Laurel. Los nidos que presentaron menor cantidad de microplásticos se localizan en la baliza 1 en playa El Raudal 1. En el Cuadro 8 se muestra la abundancia obtenida en cada uno de los sitios de muestreo y en el Cuadro 9 se muestra la concentración de microplásticos por kilo de sedimento seco en cada uno de los sitios de muestreo.

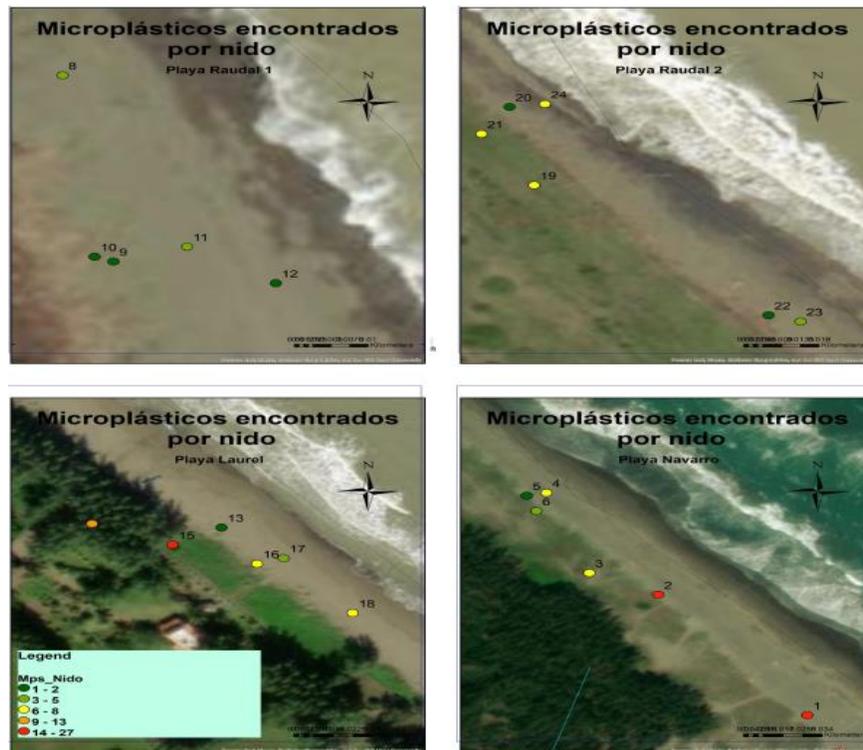


Figura 34. Microplásticos encontrados en nidos *in situ*.

Cuadro 8. Abundancia de microplásticos por sitio de muestreo.

Sitio	Piezas de microplásticos	Rango	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza
Baliza 1	18	0-3	1	1	0.84016805	0.70588235
Baliza 4	29	0-4	1.61111111	2	1.2432826	1.54575163
Baliza 13	60	0-11	3.33333333	2	3.10597148	9.64705882
Baliza 31	68	0-9	3.77777778	2	3.49041638	12.1830065

Cuadro 9. Concentración de microplásticos por sitio de muestreo.

Sitio	Mg de microplásticos	Rango	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza
Baliza 1	0.0543	0-0.03	0.00301667	0.00135	0.00691403	4.7804E-05
Baliza 4	0.0687	0-0.0107	0.00381667	0.00335	0.00374892	1.4054E-05
Baliza 13	0.1118	0-0.0274	0.00621111	0.00325	0.00783108	6.1326E-05
Baliza 31	0.2487	0-0.1913	0.01381667	0.0021	0.04451352	0.00198145

La playa que presentó una mayor abundancia y concentración de microplásticos fue playa Navarro, seguida de playa Laurel y finalmente de playa El Raudal (Figura 35).

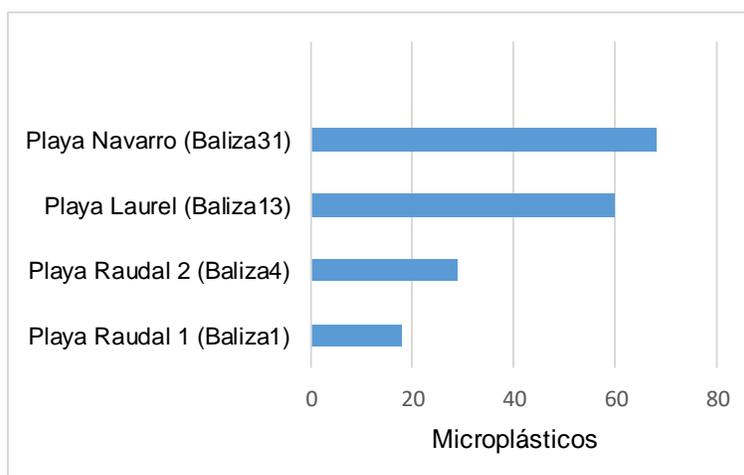


Figura 35. Microplásticos encontrados por playa.

En total se obtuvo una abundancia promedio de 2.430 ± 2.668 Mps/Kgss y una concentración promedio de 0.007 ± 0.023 grMps/Kgss. Si bien en México aún no se ha reportado otro estudio específicamente de la concentración y abundancia de microplásticos en sitios de anidación de tortugas a profundidades mayores a 30 cm, los valores obtenidos comparados con estudios similares en playas mexicanas estuvieron dentro del rango registrado por Cruz-Salas *et al.* 2020 quienes obtuvieron una abundancia de 1.06 Mps/Kgss. Así mismo, se encuentran los estudios realizados por Rosado *et al.* 2018 (93.27 Mps/Kgss), Piñón *et al.*, 2018 (135 ± 92 Mps/Kgss) y Retama *et al.*, 2016 los cuales, si bien presentan mayor abundancia por kilogramo de muestra seca, sus muestras se tomaron de arena superficial. Otros estudios realizados en zona de anidación de tortugas como el de Beckwith y Fuentes 2018 en el Norte del Golfo de México (Florida, E.U.), Duncan, *et al.*, 2018 en Chipre y Zhang 2022 en Qilianyu (China) registraron mayor abundancia de microplásticos a profundidades de 60 cm que las que se registraron en el presente estudio. Cabe mencionar que dichos estudios los realizaron en zonas de anidación de tortugas marinas a profundidades de 60 cm, pero no directamente en los nidos como se realizó en el presente estudio, ellos informaron su abundancia en Mps/m² y Mps/m³, por lo que no es posible comparar los resultados obtenidos.

9.4.1 Clasificación de microplásticos en nidos in situ

Los microplásticos extraídos de los nidos se agruparon por sitio de muestreo y se clasificaron por tamaño (Figura 36), por color (Figura 37) y por tipo de microplástico (Figura 38).

Clasificación por tamaño:

El rango establecido fue de 1 a 5 mm (Álvarez, *et al.*, 2020). Como se puede observar en la figura 36 los 4 puntos de muestreo presentaron en mayor porcentaje un tamaño de 1 a 2 mm lo cual coincide con lo reportado por Cruz *et al.*, 2020 en playa Zipolite Oaxaca, y

Álvarez, *et al.*, 2020 que reporta un mayor porcentaje de microplásticos en tamaño de 2 mm para 35 playas mexicanas.

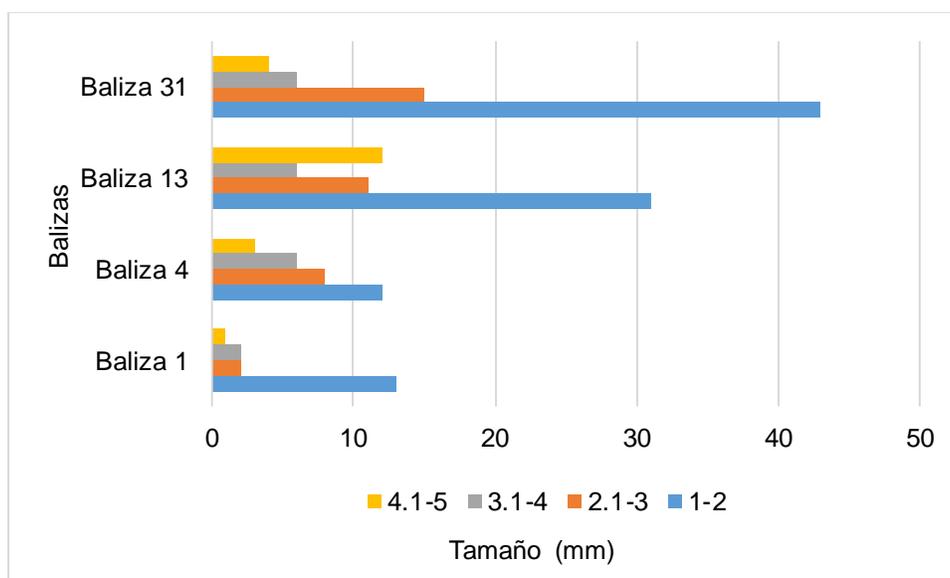


Figura 36. Clasificación de microplásticos por tamaño.

Clasificación por color:

Respecto a esta clasificación en la Figura 37 se puede observar que el color más abundante fue el blanco (principalmente de tipo espumado, el cual se puede relacionar a platos y vasos desechables) seguido del transparente (principalmente de tipo de película, el cual se relaciona con bolsas y envolturas). Es importante mencionar que los resultados de color correspondientes para las 4 playas, coinciden con lo reportado por Beckwith y fuentes, 2018, Beltrán *et al.*, 2019, Álvarez, *et al.*, 2019, Cruz, *et al.*, 2020, Álvarez, *et al.*, 2020, Ríos, *et al.*, 2021 y Zhang, *et al.*, 2022. Los colores con menor presencia fueron el verde, amarillo y azul (estos principalmente en forma de fragmentos).

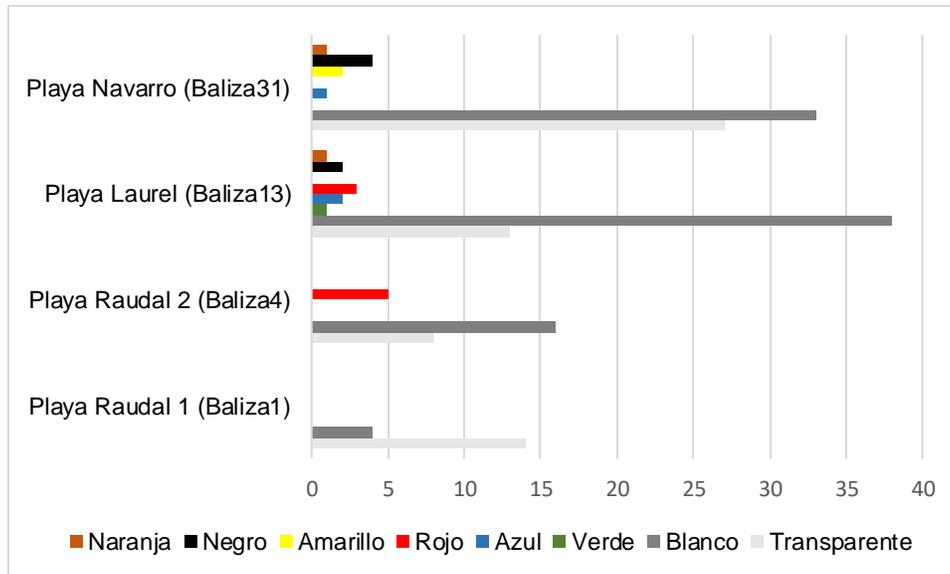


Figura 37. Clasificación de microplásticos por color.

Clasificación por tipo:

En cuanto a la clasificación por tipo, los más comunes fueron los tipos de espuma y de películas, a excepción de la baliza 1 en playa Raudal donde se observó el mismo porcentaje de pellets, películas y fragmentos, destacando los plásticos tipo espuma en menor porcentaje.

Por otro lado, los resultados para las playas Raudal 2, Laurel y Navarro concuerda con el estudio de Zhang, *et al.*, 2022 quienes encontraron espumas en mayor porcentaje, lo que nos indica que a mayor profundidad de muestreo en arena habrá mayor porcentaje de espumas acumuladas, esto puede deberse a que en la superficie por acción del viento son más fáciles de transportar, pero una vez que se acumulan en la arena permanecen por largos periodos de tiempo. El tipo de plástico con menor presencia en las 4 playas fueron las fibras. Así mismo, se ha observado que las fibras tienen mayor abundancia en estudios realizados en agua.

El resultado obtenido de la clasificación por tipo de microplástico no concuerda con lo establecido por Beltrán, *et al.*, 2019, Álvarez, *et al.*, 2019, Álvarez, *et al.*, 2020 y Ríos, *et*

al., 2021 quienes obtuvieron mayor presencia de fragmentos, Cruz, *et al.*, 2020 obtuvo mayor presencia de fibras en su estudio. Probablemente la diferencia radica en que ellos toman sus muestras de arena superficial, la cual tiene mayor influencia ante fenómenos naturales como el viento y la lluvia.

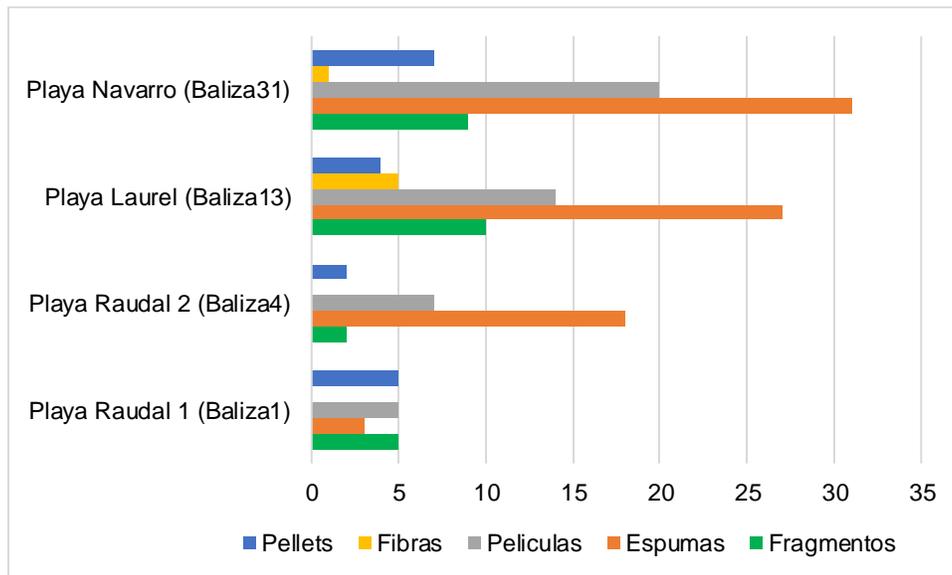


Figura 38. Clasificación de microplásticos por tipo.

En la Figura 39 se puede observar algunos de los microplásticos encontrados en nidos *in situ*.

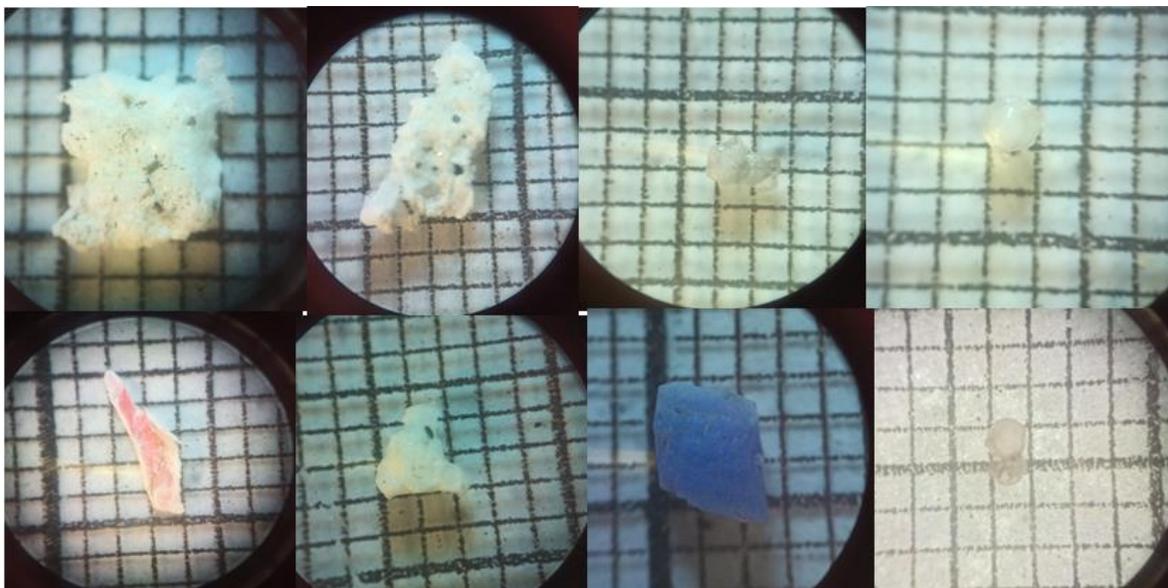


Figura 39. Microplásticos encontrados en nidos *in situ*.

9.5 Microplásticos en sedimento de nidos de corrales de manejo

Dentro de los resultados obtenidos, en el corral 1 se encontró la presencia de microplásticos en un 88.8% de las muestras con una abundancia promedio de 1.88 ± 2.37 Mps/kgss, mientras que en el corral 2, el 100% de las muestras presentó microplásticos con una abundancia de 1.81 ± 1.21 Mps/kgss (Cuadro 10 y Figura 40).

Cuadro 10. Microplásticos en nidos en corrales de anidación

Nidos	Corral 1	Corral 2
1	0	6
2	5	7
3	3	6
4	4	4
5	6	9
6	3	1
7	3	7
8	4	3
9	23	6
Total	51	49

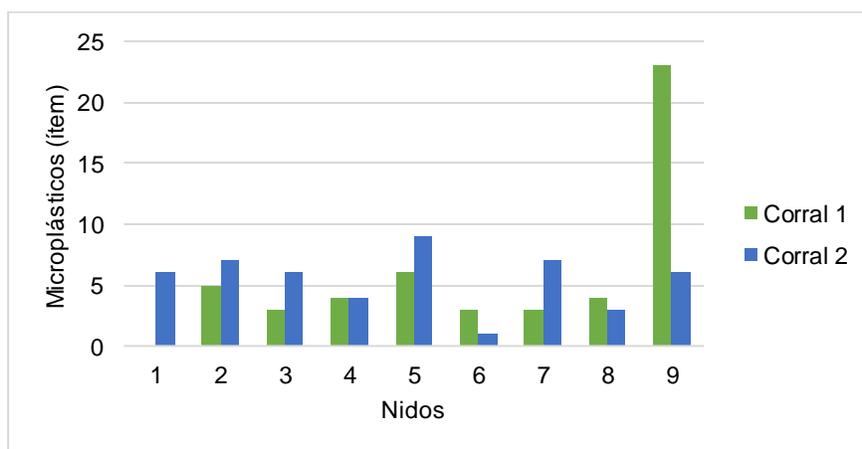


Figura 40. Microplásticos encontrados en nidos en corrales de anidación.

9.5.1 Clasificación de microplásticos en nidos de corrales de manejo

En cuanto a la clasificación se encontró que la mayoría de los microplásticos van de 1 a 2 mm de tamaño para ambos corrales (Cuadro 11), respecto a la forma y color del microplástico en el corral 1 predominaron las películas con un 43 % la mayoría en color negro (39%) y para el corral 2 la forma de espumas con un 37% predominando el color transparente (43%) (Figura 41 y 42).

Cuadro 11. Clasificación de microplásticos en corrales por tamaño

Tamaño (mm)	Corral 1	Corral 2
1 a 2	22	32
2.1 a 3	15	9
3.1 a 4	6	7
4.1 a 5	8	1

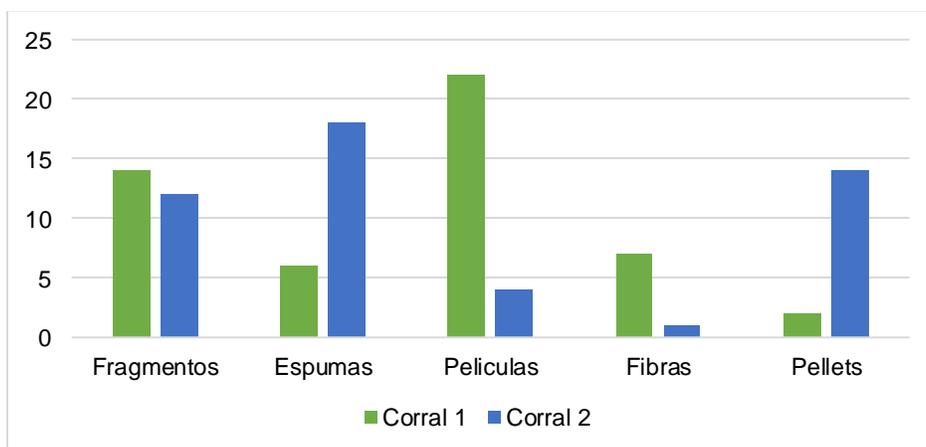


Figura 41. Clasificación de microplásticos en corrales por forma.

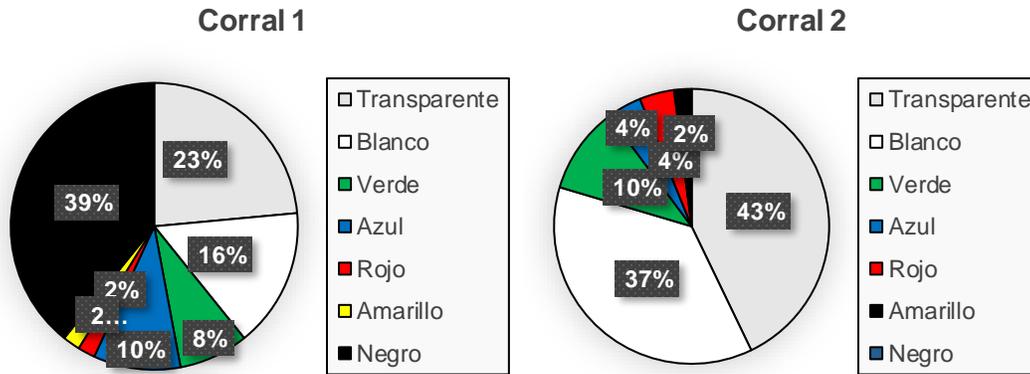


Figura 42. Clasificación de microplásticos en corrales por color.

Como se puede observar el tamaño predominante fue de 1 a 2 mm y los tipos de microplásticos más abundantes fueron películas y espumas al igual que en los nidos *in situ*, siendo el color transparente el de mayor presencia en el corral 2, pero difiere de los nidos *in situ*, ya que en el corral 1 predominan las películas en color negro.

En la Figura 43 se pueden observar algunos de los microplásticos encontrados en corrales de anidación.

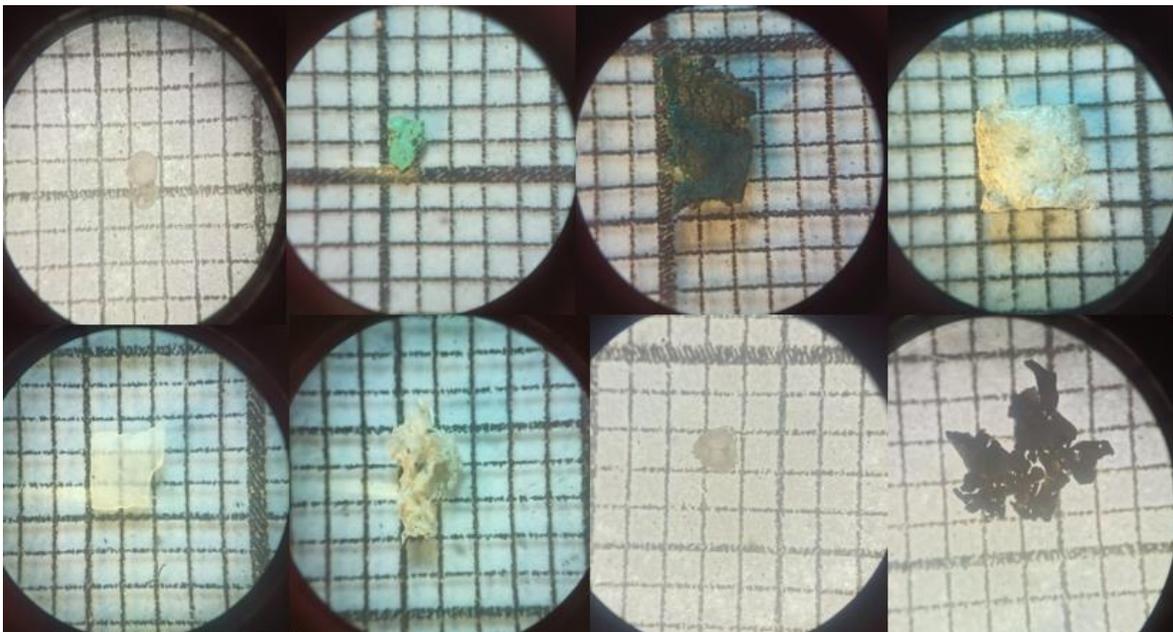


Figura 43. Microplásticos encontrados en corrales.

9.2 Macroplásticos encontrados en nidos

Dentro de los muestreos a medida que se iba cavando para llegar a la profundidad donde estaban los cascarones de huevos ya eclosionados, se observó la presencia de macroplásticos a diferentes profundidades (Cuadro 12) (Figura 44). Los sitios donde se encontraron los macroplásticos son la playa Navarro (baliza 31, donde se encontró su presencia en 4 nidos), playa Raudal 1 (baliza 1, donde se encontraron también en 4 nidos) y en playa Laurel donde se encontró su presencia en 1 nido. Los nidos que presentaron mayor cantidad de macroplásticos fueron el nido 7 y el nido 15 con 5 macroplásticos cada uno (Figura 45), cabe destacar que dichos nidos obtuvieron la mayor cantidad de microplásticos de sus sitios de muestreo, el nido 7 con 5 microplásticos de 18 obtenidos en el muestreo de los 6 nidos de la baliza 1, y el nido 15 con 27 microplásticos del total de 60 que se encontraron en la baliza 13. En la Figura 46 se pueden observar los macroplásticos encontrados en los nidos restantes.

Cuadro 12. Macroplásticos encontrados en nidos a diferentes profundidades.

Nido	Macroplástico	Profundidad (cm)
N3	1	53
N4	2	19
N5	1	55
N6	1	27
N7	5	24
N8	1	36
N9	2	46
N12	3	39
N15	5	14

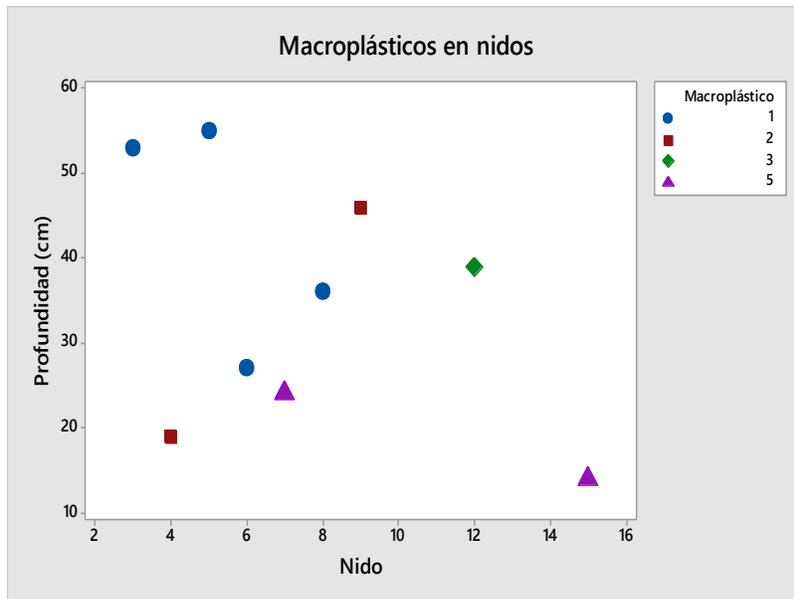


Figura 44. Macroplásticos encontrados en nidos a diferentes profundidades.

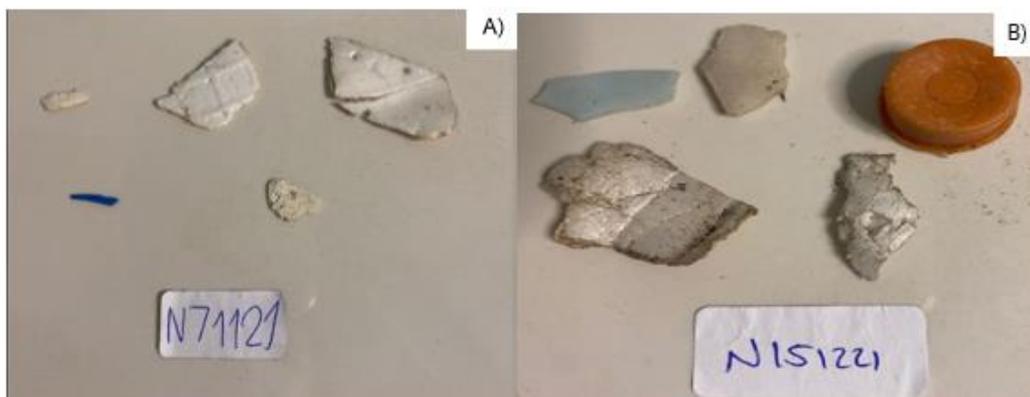


Figura 45. Macroplásticos encontrados con mayor cantidad: A) nido 7 y B) nido 15.



Figura 46. Macroplásticos encontrados en nidos: A) nido 4, B) nido 5, C) nido 8, D) nido 9 y E) nido 12.

9.6 Análisis estadístico de la información

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965) mediante el software PAST y Minitab 17 statistical software, para los datos de los nidos *in situ* confirmó una distribución normal en cada una de las playas (Figura 47), por lo que se procedió a realizar un análisis de varianza ANOVA el cual nos arrojó un valor de $p=0.173$ el cual por ser mayor a 0.05 nos demuestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los microplásticos de los sitios muestreados.

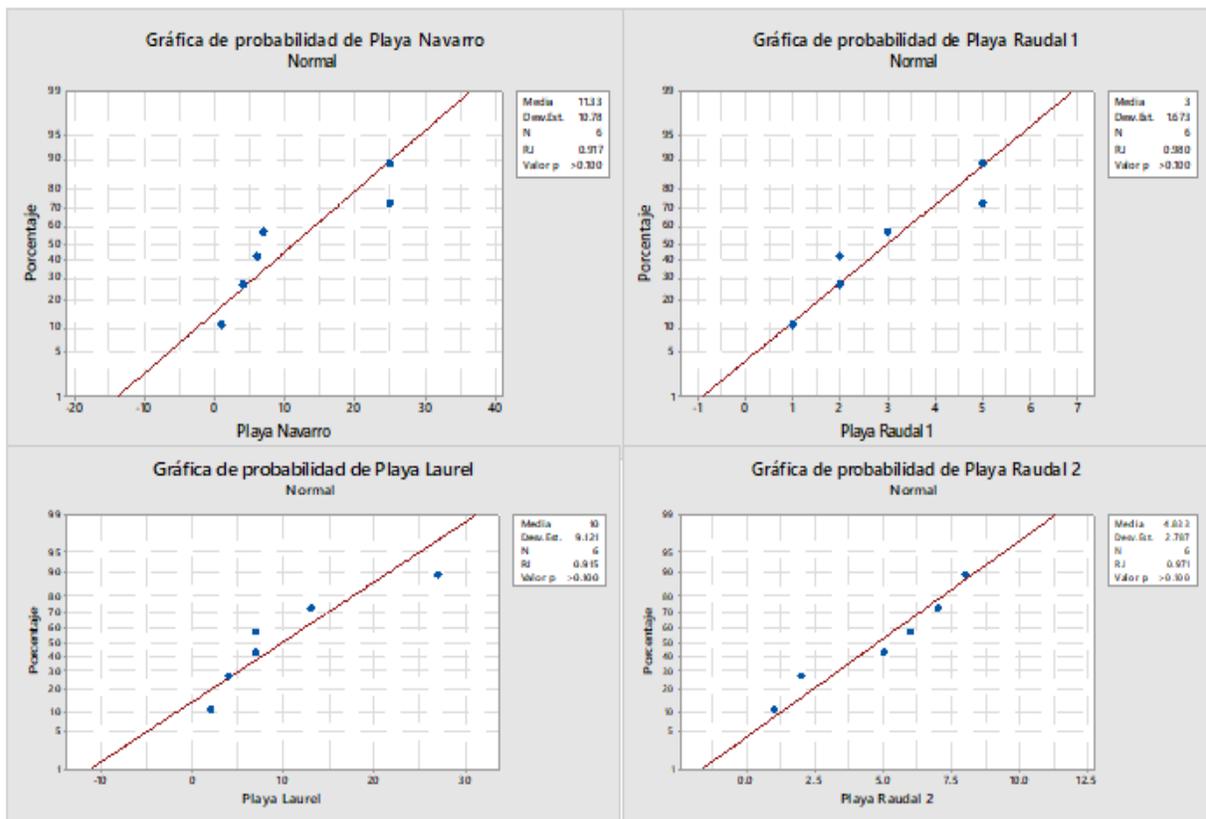


Figura 47. Graficas de normalidad para cada uno de los sitios de muestreo de nidos *in situ*.

Posteriormente se realizó el análisis ANOVA para cada uno de los sitios para observar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los microplásticos presentes en los nidos de cada uno de los sitios muestreados, para la playa el Raudal 1 (baliza 1), se obtuvo un valor de $p=0.25$ lo que nos indica que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Para la playa El Raudal 2 (baliza 4) se obtuvo un valor de $p=0.11$ lo que también confirma que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Para la playa Laurel (baliza 13) nos arroja un valor de $p=0.00016$ el cual es menor a 0.05 lo que indica que, si existen diferencias estadísticamente significativas entre los microplásticos presentes en los nidos de playa Laurel. A partir de este resultado se procedió a realizar una comparación Tukey la cual muestra que el nido 15 es estadísticamente diferente a los nidos 13, 14, 16, 17 y 18 (Cuadro 13).

Para la playa Navarro (baliza 31) nos arroja un valor de $p= 9.59E-07$ el cual es menor a 0.05 lo que confirma la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los microplásticos presentes en los nidos de playa Navarro por lo que se procedió a realizar una comparación Tukey la cual muestra que los nidos 1 y 2 presentan diferencias estadísticamente significativas respecto a los nidos 3, 4, 5, y 6 (Cuadro 14)

Para los datos de los corrales se encontró que los datos no se distribuyen de manera normal, por lo que se procedió a realizar una prueba no paramétrica Kruskal-Wallis obteniendo como resultado un valor de $p= 0.194$ el cual es mayor a 0.05 sugiriendo de esta manera, que no hay diferencias estadísticamente significativas en las medianas del número de piezas de microplásticos, es decir, que el número de microplásticos encontrados en cada corral son similares.

Cuadro 13. Comparación Tukey entre nidos de Playa Laurel

	Nido13	Nido14	Nido15	Nido16	Nido17	Nido18
Nido13		0.07813	0.0002865	0.7241	0.9919	0.7241
Nido14	4.371		0.01904	0.5643	0.1902	0.5643
Nido15	9.934	5.563		0.001327	0.000466	0.001327
Nido16	1.987	2.384	7.947		0.9532	1
Nido17	0.7947	3.576	9.139	1.192		0.9532
Nido18	1.987	2.384	7.947	0	1.192	

Cuadro 14. Comparación Tukey entre nidos de Playa Navarro

	Nido1	Nido2	Nido3	Nido4	Nido5	Nido6
Nido1		1	0.0002363	0.0002972	0.0001616	0.0001789
Nido2	0		0.0002363	0.0002972	0.0001616	0.0001789
Nido3	10.41	10.41		0.9986	0.4275	0.9669
Nido4	9.859	9.859	0.5477		0.2567	0.8462
Nido5	13.15	13.15	2.739	3.286		0.8462
Nido6	11.5	11.5	1.095	1.643	1.643	

10. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió evaluar la presencia de microplásticos en nidos de tortugas mediante su cuantificación y caracterización, dentro de la zona de anidación de tortugas marinas a cargo del Centro Veracruzano de Investigación y Conservación de la Tortuga Marina (CVICTM), ubicado en la zona costera de Nautla y Vega de Alatorre, Veracruz.

1.- Dentro de los resultados obtenidos se encontró la presencia de microplásticos en todos los nidos estudiados a profundidades donde los huevos de tortugas marinas son incubados, lo que nos indica, en primer lugar, que son partículas plásticas que llevan un largo periodo de tiempo en el sedimento, y en segundo lugar que estas podrían estar afectando el éxito de las nidadas.

2.- El sitio que obtuvo mayores concentraciones de microplásticos fue playa Navarro (baliza 31) con una abundancia promedio de 3.78 ± 3.50 Mps/Kgss, y la que presentó menores concentraciones fue playa El Raudal 1 (baliza 1) con 1 ± 0.84 Mps/Kgss.

3.- El análisis de varianza ANOVA nos arrojó un valor de $p=0.173$ (> 0.05) lo que nos indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los sitios de muestreo.

4.- En los nidos de las playas Laurel y Navarro se encontraron las mayores concentraciones de microplásticos, esto se relaciona con las actividades antropogénicas que se realizan en la zona, ya que las dos playas cuentan con accesos públicos, lo que da lugar a una mayor generación y acumulación de residuos en la zona.

5.- En los nidos de corrales se encontró que el corral 1 fue el que obtuvo una mayor concentración de microplásticos con una abundancia promedio de 1.88 ± 2.37 Mps/kgss, el análisis estadístico Kruskal-Wallis de los corrales nos dio una $p=0.194$ (> 0.05) lo que nos indica que no existen diferencias significativas entre los corrales.

6.- Respecto a las características de los microplásticos encontrados en los nidos la mayoría fueron de tamaño 1 a 2 mm (56%), espumas (38%) de color blanco (43%). Lo que nos indica que son partículas plásticas que han estado expuestas al medio durante mucho tiempo por lo que su tamaño se ha reducido considerablemente, por lo otro lado, el tipo y el color del microplástico nos indica que probablemente provienen de productos de unicel como vasos, platos o charolas desechables, los cuales se van acumulando a lo largo del tiempo en las capas de arena de las playas, por lo que se pudieron encontrar desde los 19 hasta los 82 cm de profundidad.

7.- Los nidos 1, 2 y 15 presentaron una mayor concentración de microplásticos, estos nidos son los más cercanos a los accesos públicos de su playa, lo que nos indica que los microplásticos presentes en los nidos están relacionados directamente a las actividades antropogénicas de la zona, lo que corrobora la hipótesis planteada al inicio de esta investigación.

Comparado con otros estudios realizados a profundidades alrededor de 60 cm, tenemos que las concentraciones de microplásticos obtenidas en la presente investigación son menores, pero esto no quiere decir que no sea un tema de preocupación, involucra intensificar las alternativas de manejo sustentables que eviten al máximo el uso de plásticos y así evitar la generación de microplásticos.

11.RECOMENDACIONES

1.- Promover la creación de políticas públicas y programas de concientización sobre el problema de los desechos marinos, plásticos y microplásticos en las zonas costeras que eviten las posibles implicaciones para especies en peligro de extinción, debido a que en la actualidad se carece de la participación conjunta del gobierno, el sector privado, el sector académico y la sociedad.

2.- Regular la producción y utilización de productos plásticos de un solo uso y de microplásticos primarios, ya que la generación y disposición final de dichos residuos se ha convertido en una gran problemática a nivel mundial.

3.- Estandarizar técnicas para el monitoreo de microplásticos que permitan comparar los resultados obtenidos en cada estudio realizado.

4.- Generar nuevas líneas de investigación sobre los microplásticos, como los efectos que pueden causar su presencia en el ambiente y el daño que provocan en los organismos y sus hábitats.

El estudio de los microplásticos en México es un área de oportunidad, ya que actualmente solo se enfoca en la presencia y caracterización de los microplásticos, sin embargo, hace falta conocer los impactos que pueden tener en los diferentes ecosistemas, su relación con otros contaminantes, su presencia en las especies de mayor consumo humano, así como en estudios de degradación.

Finalmente se recomienda continuar con la línea de estudios de microplásticos directamente en los nidos de tortugas, ya que estos podrían estar afectando las nidadas, mediante la toxicología, la proporción de sexos y el éxito de la nidada. Además de los problemas que le pueden causar a las crías para emerger de los nidos.

12. REFERENCIAS

- Ahmad, M., Li, J., Wang, P., Hozzein, W., and Li, W. (2020). Environmental perspectives of microplastic pollution in the aquatic environment: a review. *Marine Life Science & Technology* (2020) 2:414–430.
- Álvarez, J., Vázquez, A., Cruz, A., Ojeda, S., Beltran, M., Sotelo, S and Martínez, C. (2019). Microplásticos en ambientes marinos, obtención de datos iniciales para entender la problemática nacional. *Memorias de congreso nacional AMICA 2019*. 139-144.
- Álvarez, J., Ojeda, S., Cruz, A., Martínez, C. and Vázquez, A. (2020). Microplastics in Mexican beaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 155,104633, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104633>.
- Álvarez, J., Cruz, A., Vázquez, A., and Ojeda, S., (2020). Method for quantifying and characterization of microplastics in sand beaches. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 36 (1) 151-164. DOI: 10.20937/RICA.2020.36.53540.
- Andrady, A. (2011). Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596–1605.
- Bach, G. (2019). *Prácticas culturales ambientales de los gremios de surf y su influencia en la disminución de la contaminación marina en Huanchaco*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Trujillo. 94.
- Beckwith, V. and Fuentes, M. (2018). Microplastic at nesting grounds used by the northern Gulf of Mexico loggerhead recovery unit. *Marine Pollution Bulletin* 131. 32-37.
- Beg, M., Al-Muzaini, S., Saeed, T., Jacob, P., Beg, K., Al-Bahloul, M., Kurian, A. (2001). Chemical contamination and toxicity of sediment from a coastal area receiving industrial effluents in Kuwait. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 41(3), 289–297.
- Beltrán, M., Mendoza, N., Vázquez, A. y Álvarez, J. (2019). Presencia de hidrocarburos en microplásticos en una playa mexicana. *Memorias de congreso nacional AMICA 2019*. 83-87.
- Betancourt, A. (1980). *La metodología de sistemas y la solución de problemas sociales*. Instituto Colombiano de Estudios Superiores de INCOLDA, ICESI.
- Boerger C., Lattin G., Moore S. and Moore C. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 60 (12), 2275-2278.
- Bollaín, C., and Agulló, D. (2019). PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN AGUAS Y SU POTENCIAL IMPACTO EN LA SALUD PÚBLICA. *Rev Esp Salud Pública*. 93: 1 - 10.

- Botello, A. (2016). La contaminación marina y la urgencia de su legislación. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*.
- Bronfenbrenner, U. (1979). *The ecology of Human Development*. Cambridge, Harvard University Press. (Trad. Cast.: *La ecología del desarrollo humano*. Barcelona, Ediciones Paidós, 1987).
- Bronfenbrenner, U. (1992). Ecological systems theory. En R.Vasta (Ed.), *Six theories of child development: revised for mutations and current issues*. 187-249.
- Browne, M., Crump, P., Niven, S., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., and Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, 45(21), 9175–9179.
- Cabrera, M. (2018). EVALUACIÓN DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUA RESIDUAL (EDAR) EL TROCADERO DEL MUNICIPIO DE PUERTO REAL COMO RUTA DE ENTRADA DE MICROPLÁSTICO AL MEDIO ACUÁTICO. Memoria para obtener el grado de Máster. Facultad de ciencias del mar y ambientales. Cádiz, España. Universidad de Cádiz. 65p.
- Castro, S., Barrera, A., González, A., Pinot, A., Vargas, J., Sierra, I., y Huchin, J. (2021). Contaminación por microplásticos en ecosistemas acuáticos. *XXVI Verano de la ciencia*. 10: 1-9.
- Costa, L.; Vasco, O.; Galindo, A. Una mirada hacia los contaminantes emergentes “microplásticos” en Colombia. In *Proceedings of the Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería, Cartagena de Indias, Colombia, September 13 to 16 2022*.
- Crawford, C., and Quinn, B. (2017). The emergence of plastics. *Microplastic Pollutants*. 1-17.
- Cruz, A. (2020). Evaluación de la calidad ambiental y su relación con la presencia de microplásticos en cinco playas mexicanas. Tesis de posgrado. Maestría en ciencias e ingeniería ambientales. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. 224p.
- Cruz, A., Álvarez, J., Martínez, C., Enríquez, M., Gutiérrez, M., Vázquez, A., y Ojeda, S. (2020). Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca. *Ciencia y Mar*, XXIV (71): 3-21.
- Derraik, J. The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Mar. Pollut. Bull.* **2002**, 44, 842–852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
- Duncan, E., Arrowsmith, J., Bain, C., Broderick, A., Lee, J., Metcalfe, (...) and Godley, B. (2018). The true depth of the Mediterranean plastic problem: Extreme microplastic pollution on marine turtle nesting beaches in Cyprus. *Mar. Pollut. Bull.* 136:334–340.

- Elizalde, P. (2013). Aproximación a las ciencias de la complejidad. *Revista de la Universidad de La Salle*, 61 (3). 45-66.
- Escobar, J. (2012). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL, 68 p. Recuperado de: [La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar \(cepal.org\)](http://cepal.org)
- Fendall, L., y Sewell, M. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, 58(8), 1225–1228.
- Giraldez, L., Braz, F., Lacerda, A., Ferraz, L., Moura, D., y Gonçalves, D. (2020). Efeitos dos microplásticos no meio ambiente: Um macroproblema emergente. *RECyT 33*: 100–107.
- Gómez, M. (2020). Proyecto Plasmar. Bases para la planificación sostenible de áreas marinas en la macaronesia. *Revista de la sociedad atlántica de oceanógrafos. Okeanos*. 11p.
- Greenpeace. (2021). Plásticos. Recuperado de: [Plásticos - ES | Greenpeace España](http://greenpeace.org)
- Hernández, V., y Saldaña, C. (2016). Tipos y criterios de sustentabilidad. *Cultura Ambiental*. Universidad Autónoma de Nayarit. Ecorfan-México. 100.
- Herrera, A., Garrido, P., Martínez, I., Samper, M., López, J., Gómez, M., and Packard, T. (2018). Novel methodology to isolate microplastics from vegetal-rich samples. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 61–69.
- Herrera, A., Martínez, I., y Pinzón, P. (2019). Selección de sitios de ovoposición y éxito reproductivo en hembras de tortuga lora *Lepidochelys olivácea*. Universidad de La Salle Programa de Biología Bogotá D.C. Colombia. Retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/> 49.
- INECOL, Instituto de Ecología, (2018). La zona costera del municipio de Nautla, Veracruz. Recuperado de [\(10\) \(PDF\) LA ZONA COSTERA DEL MUNICIPIO NAUTLA, VERACRUZ \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/328111111)
- Juan, J, (2006). MANEJO DEL AMBIENTE Y RIESGOS AMBIENTALES EN LA REGIÓN FRESERA DEL ESTADO DE MÉXICO. 162p.
- Khuyen, V.T.K.; Le, D.V.; Le, H.A.; Fischer, A.R.; Dornack, C. Assessing Microplastic Prevalence and Dispersion from Saigon Urban Canals via Can Gio Mangrove Reserve to East Sea by Raman Scattering Microscopy. *Microplastics* **2022**, *1*, 536–553. [https://doi.org/ 10.3390/microplastics1030038](https://doi.org/10.3390/microplastics1030038).
- Laglbauer, B., Franco, R., Andreu, M., Brunelli, L., Papadatou, M., Palatinus, A., (...) and Deprez, T. (2014). Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia. *Marine pollution bulletin*, 89(1-2), 356-366.
- LGPGIR. 2018. Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. *Diario Oficial de La Federación*, 53.

- Lithgow, D., Martínez, M., Moreno, P., Martínez, R., Silva, R., Vázquez, G., (...) and Cáceres, J. (2020). La zona costera del municipio de Vega de Alatorre. INECOL. 75 p.
- Lithner, D., Larsson, A., Dave, G., (2011). Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Sci. Total Environ.* 409, 3309–3324.
- López, J. (2021). GESTIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS DOMICILIARIOS EN BOGOTÁ DESDE LA TEORÍA DE SISTEMAS COMPLEJOS. Fundación Universidad de América. Facultad de educación avanzada y continuada. Programa de especialidad en gestión ambiental Bogotá D.C. 118.
- Lusher, A., McHugh, M., and Thompson, R. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 67(1-2), 94-99.
- Maldonado, C. E. (2005). Ciencias de la complejidad: Ciencias de los cambios súbitos. Universidad Externado de Colombia.
- Maldonado, C. (2009). La complejidad es un problema, no una cosmovisión. UCM, *Revista de Investigación*, 42-54.
- Martínez, M., Lithgow, D., Moreno, P., Martínez, R., Silva, R., Vázquez, G., (...) and Cáceres, J. (2018). La zona costera del municipio de Nautla. INECOL. 50 p.
- Miranda, L. (2013). Cultura ambiental: un estudio desde las dimensiones de valor, creencias, actitudes y comportamientos ambientales. *Producción + Limpia* 8(2): 94-105.
- Mohamed Nor, N. y Obbard, J. (2014). Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 79: 278–283.
- Morales, J., (2013). Factores que influyen en la anidación de tortuga verde (*Chelonia mydas*) en Veracruz. Tesis doctoral. INSTITUTO DE NEUROETOLOGÍA. Universidad Veracruzana. 122p.
- Norén, F. (2007). Small Plastic Particles in Coastal Swedish Waters. KIMO Report, Sweden. Recuperado de [Sidan hittades inte – Marine consulting \(n-research.se\)](http://www.sidan.hittades.inte-Marineconsulting(n-research.se))
- Ochoa, O. (2009). Recolección y disposición final de los desechos sólidos, zona metropolitana. Caso: Ciudad Bolívar.
- Piñon, T., Rodríguez, R., Pastrana, M., Rogel, E., y Wakida, F. (2018). Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine pollution bulletin*, 131, 63-71.
- Posada, B. (1994). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30 (94), 67-86.

- Retama, I., Jonathan, M., Shruti, V., Velumani, S., Sarkar, S., Roy, P., and Rodríguez, P. (2016). Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico. *Mar. Pollut. Bull.* 113(1-2), 530-535.
- Ríos, L., Ontiveros, J., León, D., Ruiz, A., Rangel, M., Pérez, L., and Sánchez, J. (2021). Microplastic contamination and fluxes in a touristic area at the SE Gulf of California. *Mar. Pollut. Bull.* 170. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112638>.
- Rochman, C., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., (...) and Hung, C. (2019). Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(4), 703-711.
- Rondón, E., Szantó, M., Pacheco, J., Contreras, E. y Galvez, A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Manuales de la CEPAL N°2 211p.
- Rosado, V., Mendoza, N., Vázquez, A., Álvarez-Zeferino J., Beltrán, M. and Ojeda, S. (2018). Caracterización de microplásticos y muestreo de residuos sólidos urbanos de la playa de Tuxpan, Veracruz. *Proceedings. 90 Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos*. Guadalajara, Jalisco. 2018, pp. 64-72.
- Ruiz, L. (2018). Floating plastic debris in the Central and Western Mediterranean Sea: current status and its social perception. Thesis. Marine Sciences at the Polytechnic University of Catalonia. 391.
- São Miguel, R.; Anastacio, R.; Pereira, M. Sea Turtle Nesting: What Is Known and What Are the Challenges under a Changing Climate Scenario. *Open J. Ecol.* **2022**, 12, 1–35. <https://doi.org/10.4236/oje.2022.121001>.
- Shah, A.; Kato, S.; Shintani, N.; Ramudu, N.; Nakajima, T. Microbial degradation of aliphatic and aliphatic-aromatic co-polyesters. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2014**, 98, 3437–3447. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5558-1>.
- Shapiro, S. and Wilk, M. (1965). An analysis of variance test for normality (complete sampies). *Biometrika* 52 (3,4), 591-611.
- Secretaría de medio ambiente (SEDEMA), (2021). Centro veracruzano de investigación y conservación de la tortuga marina (CVICTM). Recuperado de: [Protección de la Fauna | SEDEMA \(veracruz.gob.mx\)](#).
- SEFIPLAN; Subsecretaría de Planeación; DGPE. (2021). Cuadernillos municipales 2021, Nautla. Recuperado de [NAUTLA_2021.pdf \(veracruz.gob.mx\)](#)
- SEFIPLAN; Subsecretaría de Planeación; DGPE. (2021). Cuadernillos municipales 2021, Vega de Alatorre. Recuperado de: [VEGA-DE-ALATORRE_2021.pdf \(veracruz.gob.mx\)](#)
- SESGE. (2022). Sociedad Española de Sistemas Generales. ¿Qué es la Teoría General de Sistemas? Recuperado de: [¿Qué es la Teoría General de Sistemas? - SESGE](#).

- Steward, J. (1955). El concepto y el método de la Ecología Cultural. Cap. 2, de Theory of Culture Changes, University of Illinois Press, Urbana.
- Tamayo A. (1999). Teoría general de sistemas. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. Revista del Departamento de Ciencias (8). pp. 84-89.
- Wen, J., (2007). Heat capacities of polymers. In: Mark, J.E. (Ed.), Physical Properties of Polymers Handbook. Springer New York. 145–154.
- Yang, C.Z., Yaniger, S.I., Jordan, V.C., Klein, D.J., Bittner, G.D., (2011). Most plastic products release estrogenic chemicals: a potential health problem that can be solved. Environ. Health Perspect. 119, 989–996.
- Zarfl, C. (2019). Promising techniques and open challenges for microplastic identification and quantification in environmental matrices. Analytical and Bioanalytical Chemistry, Springer. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01763-9>.
- Zavaleta, L. (2013). Factores que influyen en la anidación de tortuga verde (*Chelonia mydas*) en Veracruz, Tesis Doctoral. Universidad Veracruzana. 122p.
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74–86. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2017.09.032>.
- Zhang, T., Lin, L., Li, D., Wang, J., Liu, Y., Li, R., Wu, S. and Shi, H. (2022). Microplastic pollution at Qilianyu, the largest green sea turtle nesting grounds in the northern South China Sea. PeerJ 10:e13536 DOI 10.7717/peerj.13536.