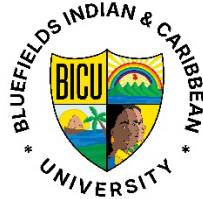


# **BLUEFIELDS INDIAN & CARIBBEAN UNIVERSITY**

**BICU**



## **AREA DEL CONOCIMIENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

Monografía para optar al título de Licenciado en Biología Marina

### **Caracterización de microplásticos en el ecosistema de la playa arenosa de Pic-Nic Beach de Corn Island, Nicaragua**

**Autores:**

**Br.** Ledy Alexander Aguilar Lanzas

**Br:** Bryan Jasser Martínez Joiner

**Tutor:**

**MSc.** Billy Francis Ebanks Mongalo

Bluefields, RACCS, Nicaragua

Febrero, 2025

**“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos”**

## DEDICATORIA

En primer lugar, agradecemos a Dios, por ser una guía incondicional en nuestro camino, por la fortaleza en los momentos de duda y la sabiduría concedida para preservar con excelencia hasta la culminación de este viaje académico.

A nuestros padres, pilares de nuestras vidas, dedicamos con profundo amor y gratitud este logro:

- A **Antonio Alexander Aguilar** y **María Duarte**, de parte de Ledy Alexander Aguilar.
- A **Pablo José Martínez** y **Noelia Verushka Joiner**, de parte de Bryan Jasser Martínez.

Este triunfo es el fruto de su inquebrantable apoyo, sacrificio y amor. Extendemos este sentimiento a nuestras queridas familias y amigos, cómplices de este sueño. Gracias por la comprensión durante nuestras ausencias, por celebrar cada pequeño avance como si fuera propio y por ser ese refugio constante donde podíamos descansar la mente y renovar las fuerzas. Su paciencia y alegría fueron vitales para mantener el equilibrio en los momentos de mayor presión.

Finalmente, rendimos un sincero homenaje a nuestro cuerpo docente. A aquellos maestros que trascendieron las aulas para convertirse en mentores, les agradecemos por su rigor académico y su calidad humana. Gracias por compartir su conocimiento con pasión, por desafiar nuestros pensamientos crítico y por su compromiso ineludible en formar no solo profesionales competentes, sino también personas íntegras, con un profundo sentido de la ética y la responsabilidad. Les debemos gran parte de la perspectiva profesional que hoy poseemos.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, expresamos nuestra profunda gratitud a Dios, por ser la guía espiritual y la fortaleza que nos ha permitido culminar con éxito esta importante etapa de nuestra formación profesional.

A nuestros padres, pilar fundamental de nuestra vida, extendemos un agradecimiento infinito. Su apoyo incondicional, los valores que nos inculcaron y los sacrificios realizados para asegurar nuestra educación han sido el motor que impulsó este logro. Su ejemplo de perseverancia es nuestra mayor inspiración.

En el ámbito académico, manifestamos un especial reconocimiento a nuestro tutor, MSC. Billy Francis Ebanks. Agradecemos su disposición, su guía metodológica y sus valiosos consejos, los cuales fueron cruciales durante los años finales de nuestra carrera y en la elaboración de este trabajo. Le decíamos bendiciones en su vida personal y profesional.

Hoy Así mismo, agradecemos la colaboración del Dr. Enoc Rivas, cuyos conocimientos y orientación puntual fueron de gran ayuda para superar los desafíos y enriquecer la calidad de esta investigación.

Finalmente, extendemos nuestra gratitud a todas aquellas personas que, con su confianza y palabras de aliento, nos motivaron a perseverar en los momentos difíciles. Este logro es también un reflejo de su apoyo.

# INDICE DE CONTENIDO

## Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE DE CONTENIDO.....	iii
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	5
3.1. Limitaciones y riesgos.....	6
IV. HIPÓTESIS.....	7
V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
VI. OBJETIVOS.....	9
6.1. Objetivo General.....	9
6.2. Objetivos Específicos.....	9
VII. ESTADO DEL ARTE.....	10
7.1 Conceptos introductorios.....	10
7.1.2. Microplásticos.....	10
7.1.3 Microplásticos primarios.....	10
7.1.4 Microplásticos secundarios.....	10
7.1.5 La plastifera.....	10
7.1.6 La pleamar.....	10
7.1.7 Zona supra litoral.....	11
7.2 Teorías.....	11
7.2.1 Teoría de la fragmentación.....	11
7.2.2 Teoría del transporte Hidrodinámico.....	11
7.2.3 Teoría del efecto vector.....	11
7.2.4 Teoría de la trasferencia trófica.....	12
7.3 Estudios nacionales.....	12
7.4 Estudios internacionales.....	13
7.5 Síntesis de la revisión.....	17
VIII. DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
8.1 Área de localización del estudio.....	19

8.2 Tipo de estudio según el enfoque, amplitud o período .....	19
8.3 Población, muestra.....	20
8.3.1 Tipo de muestra y muestreo.....	20
8.3.2 Técnicas e instrumentos de la investigación .....	21
8.4 Diseño .....	21
8.4.1 Recolección de Datos.....	22
8.4.2 Criterios de validez y confiabilidad.....	24
8.5 Operacionalización de variables.....	26
8.6 Análisis de datos.....	27
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
9.1. Resultado de la caracterización física de los microplásticos.....	28
9.2. Análisis de las Afectaciones por microplásticos .....	35
9.2.1 Vulnerabilidad por Biodisponibilidad, Obstrucción y Déficit Energético .....	35
9.2.2 Inmunotoxicidad y Fallo de Defensas .....	36
9.2.3 Estrés Oxidativo y Daño Enzimático.....	36
9.2.4 Riesgo de Genotoxicidad (Daño al ADN).....	36
9.2.5 Vulnerabilidad Taxonómica en la Zona Supralitoral.....	37
X. CONCLUSIONES.....	38
XI. RECOMENDACIONES.....	40
XII. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.....	42
XIII. REFERENCIAS.....	44
XIV. ANEXOS.....	48

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1- Limitaciones y riesgos .....</b>	<b>6</b>
Tabla 2- Técnicas e instrumentos de la investigación .....	21
<b>Tabla 3 - Operacionalización de variables.....</b>	<b>26</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura: 1 Mapa del área de muestreo de Microplásticos. ....	19
<b>Figura: 2, Distribución de Microplásticos por Zona Mareal y Geográfica según Rango de Tamaño .....</b>	<b>29</b>
Figura: 3, Distribución de Microplásticos por Zona Mareal y Geográfica según su tipo.....	31
<b>Figura: 4, Distribución de Microplásticos por Zona Mareal y Geográfica según Color.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura: 5, Distribución de Microplásticos por Zona Mareal y Geográfica según su Forma Geométrica.....</b>	<b>34</b>

## INDICE DE ANEXOS

Anexo: 2- Material de soporte grafico (, B, C y D) relacionado a la contextualización ambiental de la zona de muestreo en (Pic-Nic Beach). .....	50
Anexo: 3- Material de soporte grafico (A, B, C, y D), relacionado a los procesos de clasificación de los microplásticos en laboratorio. ....	51
Anexo: 4- Material gráfico (A, B, C, D, E, y F), de los instrumentos .....	52
<b>Anexo: 5 Datos primarios</b> .....	<b>53</b>

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo caracterizar la presencia de microplásticos en el ecosistema de Pic-Nic Beach, Corn Island, y describir sus afectaciones potenciales al medio natural mediante un enfoque cuantitativo, descriptivo y transversal. La metodología implementó un muestreo sistemático estratificado, delimitando cuadrantes de recolección tanto en la zona de pleamar como en la zona supra-litoral. El análisis de 1,050 partículas en Pic-Nic Beach revela una marcada heterogeneidad espacial, con una densidad de detritos significativamente superior en la zona supralitoral respecto a la de pleamar. En la variable granulométrica el rango <1 mm fue dominante con 386 unidades en la franja supralitoral frente a solo 12 en pleamar. Morfológicamente, los fragmentos rígidos y las formas amorfas fueron hegemónicos con 596 y 635 unidades en la zona alta, contrastando drásticamente con las 10 y 24 partículas identificadas en la zona baja. Cromáticamente, prevalecieron los tonos blanco (254) y transparente (119) en la sección supralitoral, frente a una incidencia mínima de 10 unidades blancas en pleamar. Estos resultados confirman que la zona seca de la playa actúa como el principal sumidero selectivo de contaminantes secundarios el cual configura un escenario de alta vulnerabilidad para la biota local, con riesgos críticos de ingestión accidental, bioacumulación y obstrucción mecánica para la macrofauna bentónica. Además, se describen potenciales efectos de inmunotoxicidad y estrés oxidativo derivados del Efecto Vector de los polímeros, comprometiendo la salud de los organismos filtradores. Los hallazgos evidencian una contaminación crónica que sugiere mejoras urgentes en la gestión integral de residuos.

**Palabras clave:** Microplásticos, Isla del Maíz, contaminación marina, zona supralitoral, toxicidad.

## ABSTRACT

This research aimed to characterize the presence of microplastics in the Pic-Nic Beach ecosystem, Corn Island, and to describe their potential impacts on the natural environment through a quantitative, descriptive, and cross-sectional approach. The methodology implemented a stratified systematic sampling, delimiting collection quadrants in both the high-tide (pleamar) and supra-litoral zones. The analysis of 1,050 particles reveals a marked spatial heterogeneity, with a debris density significantly higher in the supra-litoral zone compared to the high-tide line. Regarding the granulometric variable, the <1 mm range was dominant, with 386 units in the supra-litoral strip versus only 12 in the high-tide zone. Morphologically, rigid fragments and amorphous shapes were hegemonic, with 596 and 635 units in the upper zone, drastically contrasting with the 10 and 24 particles identified in the lower zone. Chromatically, white (254) and transparent (119) tones prevailed in the supra-litoral section, compared to a minimal incidence of 10 white units in the high-tide zone. These results confirm that the dry area of the beach acts as the primary selective sink for secondary pollutants, creating a high-vulnerability scenario for local biota, with critical risks of accidental ingestion, bioaccumulation, and mechanical obstruction for benthic macrofauna. Furthermore, potential effects of immunotoxicity and oxidative stress derived from the Vector Effect of polymers are described, compromising the health of filter-feeding organisms. The findings evidence chronic contamination, suggesting an urgent need for improvements in integrated waste management.

**Keywords:** Microplastics, Corn Island, marine pollution, supralittoral zone, toxicity

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación plástica se ha consolidado como una crisis ambiental global, donde la gestión deficiente de residuos transforma los océanos en sumideros finales. La degradación de estos materiales genera microplásticos (<5 mm) que, según Arthur et al. (2009), representan una grave amenaza para la biodiversidad marina debido a su persistencia en el medio.

Su alta biodisponibilidad y capacidad para actuar como vectores de sustancias tóxicas (Efecto Vector) convierten a estos contaminantes en un riesgo latente para los ecosistemas. Autores como Andrady (2011) señalan que estas características facilitan la transferencia de contaminantes químicos hacia la red trófica, comprometiendo la salud de los organismos costeros.

Esta problemática es crítica en el Caribe; sin embargo, en Nicaragua persiste un vacío de información científica en ecosistemas insulares clave como Corn Island. Específicamente en la playa de Pic-Nic Beach, un sitio de vital importancia económica y ecológica, la presión antropogénica visible sugiere una acumulación de residuos plásticos. No obstante, se desconoce la magnitud real de su fracción microscópica y sus efectos potenciales, lo que hace imperativo generar datos científicos que fundamenten la gestión sostenible de este recurso.

El presente estudio surge ante la necesidad de llenar este vacío de conocimiento. La carencia de datos sobre la presencia, abundancia y tipología de microplásticos en Pic-Nic Beach impide el desarrollo de estrategias de gestión ambiental fundamentadas y efectivas. Por tanto, esta investigación se plantea como objetivo principal caracterizar los microplásticos en el ecosistema de la playa arenosa de Pic-Nic Beach, analizando sus características físicas (tamaño, color, tipo y forma) para inferir sus posibles fuentes y evaluar el riesgo ecológico que representan para el ecosistema marino-costero.

La relevancia de este trabajo radica en su valor como línea base, al generar el primer registro cuantitativo de esta contaminación en la zona. Estos hallazgos constituyen una herramienta clave para autoridades como la Alcaldía y el MARENA, facilitando la focalización de esfuerzos de mitigación y educación ambiental en la isla. Asimismo, el estudio aporta evidencia técnica sobre la vulnerabilidad de la zona supra litoral y la influencia de actividades como la pesca artesanal en la carga de contaminantes. Al caracterizar estas dinámicas, se fortalece el sustento científico

necesario para el diseño de estrategias de conservación orientadas a proteger este ecosistema estratégico.

Metodológicamente, la investigación se abordó bajo un enfoque cuantitativo y descriptivo de corte transversal. Se implementó un diseño de muestreo sistemático estratificado en 30 estaciones, abarcando tanto la línea de Pleamar como la zona supra litoral, para garantizar una representatividad espacial completa. A través de técnicas estandarizadas como la separación por densidad y caracterización visual, este estudio no solo cuantifica la magnitud del problema, sino que, mediante una revisión sistemática de la literatura regional internacional, extrapola los efectos biológicos potenciales, proporcionando una visión integral del estado de salud ambiental de Pic-Nic Beach frente a la amenaza de estos componentes plásticos.

## II. ANTECEDENTES

Uno de los primeros estudios sobre micro plásticos en zonas costeras fue realizado por Purca y Henostroza (2017), quienes abordaron la temática sobre la presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. Los resultados de este estudio fueron los siguientes: fragmentos de plástico duro mayores a 1 mm los, cuales se encontraron en todas las playas, representando más del 80% de cada muestra. La Playa Vesique registró 40 ítems por metro cuadrado (0.95 g/m<sup>2</sup>), mientras que la playa Albúfera de Medio Mundo tuvo 4.67 ítems por metro cuadrado (0.50 g/m<sup>2</sup>).

La tercera paya estudiada mostró una alta concentración de microplásticos: 463.33 ítems por metro cuadrado (2.6 g/m<sup>2</sup>), y la Playa El Chaco presentó 11.33 ítems por metro cuadrado (0.86 g/m<sup>2</sup>). La composición de plásticos en la playa Costa Azul incluyó un 89% de plástico duro, 7% de estireno y 2% de pellets negros, junto con otras espumas, polímeros, fibras y láminas transparentes. El análisis espectral mediante FT-IR identificó principalmente poliuretano y estireno, con densidades específicas de 3.3 (PE) y 1.33 (PP), respectivamente. Este estudio sentó las bases para futuras investigaciones sobre microplásticos en las playas y su impacto ambiental.

Bajo la misma temática, Cabrera (2018) realizó un estudio sobre la determinación de la presencia de microplásticos en playas de Tenerife, durante el análisis de datos reflejó que prácticamente no se encuentran plásticos de un tamaño comprendido entre 0,5 y 5 mm, ni macro plásticos, sino solo algunas fibras con tamaños entre 2 y 5 mm. El análisis por espectroscopía infrarroja reveló que estos plásticos eran principalmente de polipropileno (PP) y polietileno (PE), dos tipos comunes en la actualidad.

Dentro del mismo contexto de micro plásticos, Pinedo y Lourdes (2019) realizaron una investigación sobre la evaluación del nivel de contaminación por microplásticos en las playas de Lima: Chorrillos (playa Pescadores), Ancón (playa D'onofrio) y Pucusana (playa Pucusana), en dicho estudio se identificaron polímeros específicos. Algunos de los microplásticos encontrados incluyeron láminas de colores como blanco, azul, verde y rojo. Se realizó un recuento de microplásticos en la que se encontró en promedio en la playa Pescadores 43,33 ítems, playa D'onofrio con una cantidad de 98,66 ítems y en la playa Pucusana con una cantidad de 34 ítems de microplásticos.

Según la investigación realizada por Iannacone et al. (2019) quienes realizaron análisis de microplásticos en la zona de marea alta y supra litoral de una playa arenosa del litoral costero del Perú, determinaron que en todas las muestras evaluadas se encontró más MP primario ( $< 1$  mm) (partículas·Kg-1 de arena seca) que MP secundario (1–5 mm) (partículas·Kg-1). Una comparación con la literatura académica a nivel mundial señala que los valores de contaminación por MP obtenidos en el presente estudio aún son bajos. El MP primario más abundante fue del tipo filamentoso, y con relación al color, otros colores, transparente/blanco y azul fueron los dominantes. El MP secundario más abundante fue del tipo otras formas, y con relación al color los dominantes fueron el transparente/blanco y azul.

Capparelli et al. (2021) también realizaron un estudio sobre la contaminación por microplásticos en ríos y aguas costeras de la provincia de Esmeraldas, Ecuador. En la metodología, se cuantificaron microplásticos en 14 playas costeras de diferente nivel de urbanización y en 10 ríos. Los resultados indicaron que las aguas costeras presentaban una mayor concentración de microplásticos en comparación con los ríos, y los tipos más abundantes fueron fibras transparentes, fragmentos marrones, grises, transparentes y negros, los cuales representaron el 84% del conteo total.

### III. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación sobre microplásticos en Pic-Nic Beach es de gran importancia debido al alto valor ecológico y económico de la zona. Al ser un ecosistema de playa arenosa sensible, un destino turístico clave y un área protegida, su manejo sostenible es prioritario. La contaminación por microplásticos representa una amenaza directa para su biodiversidad y equilibrio costero.

Este estudio generará la primera línea base sobre las características físicas (color, tamaño y forma) de los microplásticos presentes en la zona supra-litoral y describirá sus efectos potenciales en el ecosistema. Dicha información es fundamental para rastrear posibles fuentes de origen e implementar estrategias efectivas de mitigación.

En cuanto a los beneficiarios directos, los hallazgos de esta investigación son de relevancia primordial para varios grupos claves. Los comunitarios locales, y de forma particular los pescadores, cuya subsistencia depende directamente de la salud del ecosistema marino, dispondrán de evidencia científica sobre la magnitud de la amenaza que afecta sus recursos. Así mismo, los operadores turísticos y los turistas se beneficiarán, ya que la información generada es fundamental para promover un modelo de turismo sostenible y proteger la calidad paisajística que es el principal atractivo de la isla. Para todos estos grupos, los hallazgos servirán como una herramienta para fortalecer la educación ambiental y las iniciativas de conservación.

De forma indirecta, pero con un alcance estratégico mayor, los hallazgos beneficiarán a las instituciones gubernamentales y tomadores de decisiones, así como a organizaciones no gubernamentales de alcance nacional e internacional. Los datos constituirán una evidencia sólida para entidades como el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), la Alcaldía de Corn Island, la Secretaría de los Recursos Naturales (SERENA) y el Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA), proveyendo un fundamento técnico indispensable para optimizar las políticas públicas, mejorar la gestión de residuos sólidos, fundamentar nuevas estrategias de conservación y evaluar los riesgos sanitarios asociados a esta contaminación.

### 3.1. Limitaciones y riesgos

Tabla 1- Limitaciones y riesgos

<b>Limitantes</b>	<b>Acciones de corrección</b>
Temporales climáticas	o Implementar una programación de campo dinámica, supeditando las fechas de la recolección de muestras a las condiciones meteorológicas favorables.
Trasporte	Asegurar la movilidad autónoma del equipo de investigación mediante la disposición de un medio de transporte exclusivo del proyecto.
Riesgos físicos	Mitigar los riesgos para el personal mediante la implementación de un protocolo de seguridad ocupacional y el uso de equipos de protección personal (EPP).
Políticas de la municipalidad	Asegurar la conformidad regulatoria del estudio, gestionando de manera oportuna la autorización oficial requerida por las entidades gubernamentales competentes.

#### **IV. HIPÓTESIS**

Los sedimentos de Pic-Nic Beach presentan una contaminación, constante y diversa de microplástico, principalmente de (fragmentos y fibras), provenientes de basura dejadas por el turismo y materiales de pesca desechados o abandonados, permitiendo inferir un escenario de riesgo para el ecosistema marino- costero.

## V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación por plásticos se ha consolidado como una de las crisis ambientales más notoria en la actualidad. A nivel mundial, la producción masiva y la gestión inadecuada de los residuos han provocado la acumulación de plásticos en los ecosistemas marinos, donde la radiación solar y la acción mecánica los fragmenta en partículas menores a 5 mm, estas partículas como microplásticos, persistentes en el ambiente por siglos, presentando una amenaza de largo alcance para la biota marina.

Dicha problemática global encuentra una manifestación particular en ecosistemas de alto valor como Corn Island, en el caribe nicaragüense. La playa de Pic-Nic Beach, un centro vital para la economía turística y la vida comunitaria, sufre la presión de la actividad humana a través de la acumulación visible de residuos plásticos en sus costas. Este panorama refleja como los patrones de consumo y desechos impactan directamente un entorno natural de gran importancia ecológica y social.

Sin embargo, más allá de los desechos observables a simple vista, la amenaza más insidiosa reside en una fracción invisible y no cuantificada, existe un completo vacío de información científica sobre la presencia y abundancia de microplásticos en Pic-Nic Beach. Se desconoce por completo las características de estas partículas, como su forma, tamaño y color, lo que constituye una brecha de conocimiento crítica para la gestión ambiental de la isla. A raíz de esta problemática se plantea la siguiente pregunta:

**¿Cuál es la característica física de los microplásticos presentes en los sedimentos de la playa Pic-Nic Beach y sus implicaciones en el ecosistema marino-costero?**

## **VI. OBJETIVOS**

### **6.1. Objetivo General**

- Contribuir a la gestión de los recursos marino-costeros de Corn Island, a través de la caracterización de los micro plásticos en el ecosistema de la playa arenosa de Pic-Nic Beach.

### **6.2. Objetivos Específicos**

- Clasificar los micro plásticos de la playa Pic-Nic Beach, Corn Island, según sus características físicas (color, tamaño, tipo y forma).
- Describir la afectación por Microplásticos en los ecosistemas marino-costero de Pic-Nic Beach, Corn Island.

## **VII. ESTADO DEL ARTE**

### **7.1 Conceptos introductorios**

#### **7.1.2. Microplásticos**

Los microplásticos (MP) se definen como partículas plásticas de tamaño inferior a 5 mm, presentes en diversos entornos, como la atmósfera, el suelo y el agua. Se originan en fuentes primarias como cosméticos y textiles, así como en la descomposición de artículos plásticos de mayor tamaño mediante procesos físicos, químicos y biológicos (sciencedirect, 2023)

#### **7.1.3 Microplásticos primarios**

Según, Intecoastur (2022), afirma que los microplásticos primarios “son aquellos que después de ser utilizados para su cometido principal son desechados al medio ambiente en su estado original, es decir, en la misma forma que fueron utilizados”. Ejemplos de este tipo son: cremas, detergentes, gel de tipo exfoliante, pasta dentífrica, etc.

#### **7.1.4 Microplásticos secundarios**

En conformidad a Europarl (2018), los microplásticos secundarios “se originan a partir de la fragmentación y degradación de objetos plásticos de mayor tamaño”. Son la categoría más abundante en los ecosistemas marinos y provienen de fuentes como botellas, bolsas, artes de pesca y otros desechos plásticos.

#### **7.1.5 La plastifera**

Plastifera es un término utilizado para referirse a ecosistemas que han evolucionado para vivir en entornos hechos de plásticos producidos por humanos. Plástico que se ha introducido en hábitats marinos y que ha sido anfitrión de varios microorganismos (Reisser et al, 2018)

#### **7.1.6 La pleamar**

La pleamar es el punto más alto que alcanza la marea durante su ciclo diario. Es decir, es cuando el nivel del mar sube al máximo antes de comenzar a descender. Este fenómeno ocurre dos veces al día, de forma alterna con la *bajamar*, que es el nivel más bajo del mar (Oceanautic, 2025).

### **7.1.7 Zona supra litoral**

La zona supra litoral es una franja de costa por encima del nivel de la marea alta ordinaria, que está sujeta a la salpicadura y al rocío del mar, pero no se sumerge. También se conoce como "zona de salpicadura" o "zona de pulverización" y sus condiciones ambientales son más extremas, con sequedad, sol y cambios de temperatura más pronunciados que en las zonas inferiores, aunque su amplitud es variable (Regmurcia, 2023).

## **7.2 Teorías**

### **7.2.1 Teoría de la fragmentación**

Esta teoría postula que los micro plásticos (objetos plásticos de gran tamaño) no se biodegradan, sino que se descomponen en partículas progresivamente más pequeñas. Este proceso es impulsado por factores abióticos como la foto degradación (radiación UV del Sol), la oxidación térmica y la abrasión mecánica (acción de las olas y fricción con la arena). Como resultado, un solo objeto plástico puede generar millones de partículas micro plásticas, perpetuando su presencia en el ecosistema (Lopez & Franco , 2021).

### **7.2.2 Teoría del transporte Hidrodinámico**

Esta teoría establece que las características intrínsecas de las partículas, como su densidad, tamaño y forma interactúan con las fuerzas ambientales, incluyendo las corrientes marinas, el oleaje, las mareas y el viento. Los polímeros de baja densidad (ej. Polietileno) tienden a flotar y ser transportados a largas distancias, mientras que los de alta densidad (ej. PVC) se hunden hacia los sedimentos (Kumar et al, 2021).

### **7.2.3 Teoría del efecto vector**

Esta teoría describe la capacidad de los microplásticos para actuar como vectores de transporte para otros contaminantes. Debido a su naturaleza hidrofóbica y su elevada relación superficie-volumen, los micro plásticos absorben y concentran contaminantes orgánicos persistentes (COPs) y metales pesados presentes en el agua. Cuando un organismo ingiere una de estas partículas, los químicos adheridos pueden desorberse y bioacumularse en sus tejidos, introduciendo toxinas de forma concentradas en la cadena alimentaria y aplicando su impacto ecológico (Cverenkárová et al, 2021).

#### **7.2.4 Teoría de la transferencia trófica**

Esta teoría explica el movimiento ascendente de los micro plásticos a través de la red alimentaria. El proceso se inicia con la ingestión de partículas por parte de organismo en la base de la cadena trófica, como el zooplancton o pequeños invertebrados. Estos organismos son a su vez consumidos por depredadores de niveles superiores (peces, aves, mamíferos marinos) facilitando la transferencia trófica del plástico, aunque la biomagnificación del plástico en sí es compleja, el vertebrado riesgo radica en la biomagnificación de los contaminantes que transportan, cómo se describe en la teoría del efecto vector (López, 2025).

### **7.3 Estudios nacionales**

Uno de los estudios pioneros en la región fue el de Ebanks et al. (2024), quienes investigaron la presencia y características de los micro plásticos en el ecosistema lagunar de Bluefields. Su objetivo fue comprender la distribución de este contaminante emergente analizando tres matrices ambientales clave: la arena de la playa, el sedimento del fondo lagunar y la biota, representada por ostiones (*Crassostrea rhizophorae*).

La metodología empleada consistió en una muestra sistemática seguida de un análisis en laboratorio. Los resultados revelaron una concentración significativa de 23.282 gr de micro plásticos exclusivamente en la arena, con una notable predominancia de partículas de color blanco hueso y la presencia de poliestireno expandido. En contraste, no se detectó la presencia de micro plásticos en las muestras de sedimento ni en los tejidos de los ostiones analizados, sugiriendo que la zona intermareal actúa como el principal sumidero de estos contaminantes.

Una investigación complementaria en la misma región fue realizada por Moody et al. (2024), este estudio se enfocó en la contaminación por macro basura Marina en la barra Hong Sound, Bluefields, bajo el objetivo de cuantificar la abundancia y composición de los residuos sólidos. Este estudio es fundamental, ya que la macro basura, especialmente los plásticos de gran tamaño contribuyen a la principal fuente precursora de los micro plásticos a través de la fragmentación por procesos físicos y químicos.

Para ello, se delimitó un área de muestreo de 1025 m<sup>2</sup>, dónde se tomaron datos como el peso, posterior a eso se clasificó todas las basuras presentes en la zona. Los hallazgos fueron

contendientes: Se registró un total de 18.058 kg de residuos, de los cuales el 73% (13.1 91 kg) correspondía a material plásticos, evidenciando la alta presión antropogénica y de riesgo latente de generación de contaminación secundaria en este ecosistema costero.

Otro estudio nacional fue realizado por Díaz y Sarria (2019), el cual se centró en las costas del Pacífico de Nicaragua, en donde se analizaron muestras de la bahía de San Juan del Sur y estos datos revelaron la presencia de varios tipos de microplásticos. Se encontraron un total de 9 filamentos, distribuidos de la siguiente manera: 2 fibras transparentes, 1 fibra azul, 2 fibras verdes y 2 multicolores, con un peso total de 0.001 g. Además, se identificaron 315 fragmentos, con 20 transparentes, 25 azules, 23 blancos, 4 rojos, 12 verdes, 14 multicolores y 215 de colores diferentes, con un peso total de 5.33 gramos.

Otro tipo de microplásticos detectado fue el pellet, con un total de 5, distribuidos en varios colores y con un peso de 0.53 g, así mismo se, encontró film, con 28 fragmentos: 6 transparentes, 1 azul, 17 blancos, 1 verde y 2 multicolores, con un peso total de 0.97 g. Por último, se hallaron 23 fragmentos de goma espumosa, 21 de color blanco y 2 de color verde, con un peso de 0.47 g. En conjunto, estas partículas de plástico suman un total de 380 y un peso de 6.21 g.

#### **7.4 Estudios internacionales**

El estudio realizado por Sagot (2022), titulado “Monitoreo y caracterización de microplásticos en arenas de playas y aguas costeras de Costa Rica”, tenía como objetivo desarrollar un mapa de contaminación por microplásticos en las playas y aguas costeras del país. Esta investigación se centró en estudiar y cuantificar la presencia de microplásticos en las playas del Caribe y Pacífico costarricense, con el fin de conocer su composición y densidad.

Para ello, se tomaron muestras en la última línea de marea alta, correspondiente al ciclo de marea diario, estableciendo cinco puntos de muestreo a lo largo de un transecto de 100 metros. Se colectó la capa superficial de arena de 1,0 cm de espesor, delimitada dentro de un cuadrante de 50x50 cm, que equivalía a un área de 0,25 m<sup>2</sup>.

En cuanto a los resultados obtenidos, el estudio reveló hallazgos significativos sobre la presencia de microplásticos en las zonas costeras. Se identificaron fibras sintéticas, residuos de redes de pesca y una abundancia de micropartículas con tamaños inferiores a 1 milímetro. Además, los colores predominantes observados fueron azul, blanco, negro y verde. Desde el punto de vista de

la caracterización química, los plásticos más abundantes fueron el polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP), nylon y poliamidas.

Por otro lado, otro estudio realizado por Muñoz et al. (2023), el cual se centró en las “Biorregiones de las Galápagos y el problema del plástico”, con el objetivo de cuantificar y mapear la magnitud y los efectos biológicos de la contaminación por microplásticos (PP). En este caso, la investigación no solo buscó medir los efectos del plástico sobre la biodiversidad, sino también identificar los principales países de fabricación y los fabricantes predominantes, así como la dirección de la contaminación.

En la parte metodológica, se realizaron muestreos en 20 costas de las Galápagos, utilizando transectos de 50 metros paralelos al agua en ambos lados de las islas (sotavento y barlovento), para un total de 20 transectos. A través de imágenes satelitales obtenidas de Google Earth, se calculó el área de costa y se convirtió en densidad de microplásticos (ítems/m<sup>2</sup>) para cada transecto. Los resultados mostraron que todas las costas muestreadas contenían microplásticos.

La densidad de los residuos plásticos superficiales varió de 0,003 a 2,87 ítems/m<sup>2</sup>. Los fragmentos de plástico duro (HPF) fueron la categoría más prevalente, seguidos por artículos relacionados con la pesca y botellas de plástico para bebidas.

Con una metodología similar, otro estudio fue realizado por Ordóñez (2022) sobre la “Contaminación por microplásticos en manglares y playas del área marina protegida de Cispata”, ubicada en el Caribe colombiano. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el grado de contaminación por microplásticos en esta área marina protegida. Para ello, se recolectaron 150 litros de agua superficial de tres puntos a lo largo del borde del manglar-cuerpo de agua, y se tamizaron in situ en una red de 300 µm. El material retenido se transfirió a frascos de vidrio de 500 mL y se añadió NaClO al 10% para disolver la materia orgánica, facilitando su análisis en el laboratorio.

Los resultados mostraron que en el agua superficial del manglar de Boca de Corea se encontró una abundancia de 123 microplásticos/m<sup>3</sup>, mientras que en Caño Lobo se registraron 13 microplásticos/m<sup>3</sup>. En cuanto al sedimento de manglar, las abundancias variaron entre 72 y 1,668 microplásticos/m<sup>2</sup>, o de 42 a 1,825 microplásticos/kg de sedimento seco.

En la misma línea científica, Espinoza y Nolasco (2022) desarrollaron un estudio titulado “Caracterización, abundancia y distribución de microplásticos en tres playas arenosas del Balneario de Ancón, Bahía Blanca y Agua Dulce, Lima-Perú”, cuyo objetivo fue determinar las características físicas de los microplásticos en estas tres playas.

En cuanto a la metodología, se recolectaron muestras en cuatro estaciones de muestreo en cada playa, las cuales fueron llevadas al laboratorio para su secado, tamizado, flotación por densidad, filtrado y destrucción de la materia orgánica. Posteriormente, se identificaron los microplásticos según su tamaño, forma, color y peso, y se realizaron análisis químicos.

Los resultados mostraron que en el Balneario de Ancón predominaban las partículas de microplásticos de 3-4 mm con un peso de 0,0215 g/kg de sedimento seco, mientras que en Bahía Blanca la categoría predominante fue la de 4-5 mm, con un peso de 0,1908 g/kg de sedimento seco. En la playa de Agua Dulce, la categoría más frecuente fue la de 2-3 mm, con un peso de 0,1475 g/kg de sedimento seco.

De manera similar, el estudio realizado por Moctezuma et al. (2022 en Zipolite, Oaxaca, tuvo como objetivo determinar la concentración y características de los microplásticos en la playa y marisma de esta zona costera. En la metodología, se seleccionó un transecto de 30 m de largo, del cual se recolectaron cinco muestras aleatorias de sedimentos con un muestreador cilíndrico. Las muestras fueron tamizadas y los microplásticos separados por flotación con una solución salina de CaCl<sub>2</sub>, luego se clasificaron por tipo y color.

Los resultados mostraron concentraciones medias de 13.0 piezas/kg de sedimento seco en la playa y 20.1 piezas/kg en la marisma, siendo los colores blanco y espumado los predominantes, y el poliestireno el material más común.

Otro estudio relevante fue realizado por, Peralta et al. (2023) sobre los microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México, tuvo como objetivo cuantificar y caracterizar los microplásticos presentes en las playas de la región. Para ello, se realizó un muestreo utilizando cuadrantes en varias playas ubicadas en la costa de Veracruz.

Tras el secado y tamizado de la arena, las partículas de plástico fueron cuantificadas y caracterizadas mediante espectroscopía y microscopía. Los resultados mostraron un total de 180

piezas de plástico en el área de influencia del PNSAV, con un promedio de 4.5 piezas/m<sup>2</sup>. Las playas del Sendero y Chachalacas presentaron la mayor cantidad de piezas, y los principales polímeros encontrados fueron polietileno de alta y baja densidad (26.67% y 27.22%, respectivamente) y polipropileno (23.33%).

Cantarino et al. (2025) estudiaron los “Efectos de la contaminación por plásticos en los organismos marinos costeros: una revisión sistemática”, se centró en un tema crucial para la ecología marina: la evaluación del impacto del plástico. Su objetivo fundamental fue realizar una síntesis rigurosa de la literatura científica reciente para evaluar los efectos adversos de esta contaminación en los organismos que habitan ecosistemas marinos costeros, a transportar hábitats vitales como playas, estuarios y manglares.

La metodología se basó en una revisión sistemática exhaustiva, siguiendo los protocolos establecidos por la guía PRISMA. El proceso incorporó 936 artículos para su síntesis, un número que refleja la creciente atención al problema, evidenciada por un marcado aumento de publicaciones durante el periodo 2020-2025. Es notable que la mayor parte de la literatura revisada consistió en estudios observacionales (72,6%), subrayando el énfasis de la comunidad científica en la monitorización y el registro ambiental directo en las zonas costeras.

Los resultados arrojaron varias conclusiones clave. Se determinan que los microplásticos son la fracción de tamaño y concentración más frecuentemente reportada, siendo los polímeros polietileno (PE) y polipropileno (PP) los más predominantes, originados principalmente de artes de pesca y envases desechados. Los grupos taxonómicos más afectados fueron consistentemente los moluscos (n=425), peces (n=301) y crustáceos (n=197). En términos de impacto biológico, se identifican daños fisiológicos como el principal efecto adverso, simultáneamente vinculados a la ingestión y la consecuente disrupción metabólica. Este estudio resalta que la contaminación plástica sigue siendo ubicua, destacando la urgencia de implementar medidas institucionales de control para mitigar la acumulación crónica en estos hábitats esenciales.

El estudio de Plaul et al. (2023) aborda el tema de los Efectos toxicológicos de los microplásticos (MP) en vertebrados acuáticos de América Latina y el Caribe (ALC). El Objetivo central de la investigación fue sintetizar y analizar los efectos fisiológicos y subcelulares inducidos por la exposición a MP en el contexto geográfico latino-caribeño, con un enfoque primario en la clase

Peces (Pisces). Para lograrlo, la Metodología consistió en una rigurosa revisión sistemática de la literatura científica, recopilando evidencia empírica de experimentos toxicológicos en especies acuáticas de la región. En el marco toxicológico, el poliestireno (PS) y el polietileno (PE) se destacaron como los polímeros más frecuentemente referenciados.

Los Resultados generales identificaron un amplio espectro de efectos adversos a nivel biológico, incluyendo alteraciones inmunológicas y neurológicas, modificaciones en el comportamiento reproductivo y la ingestión de alimentos, y evidencia de genotoxicidad (daño genético). La investigación concluyó que la influencia de los microplásticos sobre la fisiología general de los animales es compleja y que los efectos son multifactoriales, dependiendo de variables clave como el tipo de polímero, el tamaño de la partícula y la concentración del contaminante.

Específicamente, se reportaron posibles efectos de MP en la osmorregulación y el sustrato energético del pez tropical *Astyanax lacustris*. En el caso de especies como *Auxis thazard* y *Scomber japonicus* en Ecuador, se observó que la ingestión, aunque inicialmente no generó efectos agudos, puede llevar a la obstrucción del tracto digestivo en exposiciones crónicas, resultando en una reducción de las reservas de energía y alteraciones endocrinas. Adicionalmente, la reducción de la actividad de enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa y catalasa) y la disminución en la producción de ácido nítrico sugieren que los MP comprometen significativamente el sistema antioxidante e inmunológico intestinal de los organismos acuáticos estudiados.

## **7.5 Síntesis de la revisión**

La revisión de los antecedentes nacionales e internacionales establece una base fundamental y, a la vez, exponen la necesidad crítica de este estudio.

Las investigaciones nacionales, como las de Ebanks et al. (2024) y Moody et al. (2024), son pilares clave, ya que confirman que la contaminación por plásticos y sus derivados (macro y micro) es un problema tangible y cuantificable en la Costa Caribe de Nicaragua, específicamente en el ecosistema lagunar de Bluefields. Por su parte, el trabajo de Díaz y Sarria (2019) demuestra que este fenómeno también está presente en el Pacífico nicaragüense. Estos estudios prueban que la contaminación plástica no es un problema ajeno, sino una realidad nacional.

A nivel internacional, los hallazgos en Perú ( Iannacone et al., 2019 ; Purca y Henostroza, 2017 ) y Costa Rica ( Sagot, 2022 ) son cruciales. No solo demuestra que ecosistemas de playa arenosa similares a Pic-Nic Beach son sumideros de microplásticos, sino que también proporciona el marco metodológico que esta investigación adapta (ej. la importancia de muestrear en la zona supralitoral y la predominancia de fragmentos y fibras).

No obstante, a pesar de esta sólida base contextual y metodológica, la literatura expone un vacío de información crítica y evidente: no existen estudios de caracterización de microplásticos en el ecosistema de Corn Island . La presión turística y la actividad pesquera de Pic-Nic Beach son únicas, y no se puede extrapolar la contaminación de Bluefields o del Pacífico a esta isla.

Por lo tanto, la presente investigación no parte de cero. Se fundamenta en las metodologías validadas por estos autores y en el contexto regional que ellos establecen, con el objetivo de aplicarlos para llenar, por primera vez, el vacío de conocimiento específico que existe para este ecosistema de vital importancia turística y ecológica en Nicaragua.

## VIII. DISEÑO METODOLÓGICO

### 8.1 Área de localización del estudio

Esta investigación se sitúa en el municipio de Corn Island, específicamente en la Playa, la cual está ubicada entre las coordenadas UTM 0276751-1345379. Pic-Nic Beach se sitúa en el lado oeste de la isla, entre el Puerto de Corn Island y el Puerto Naval (Figura 1)

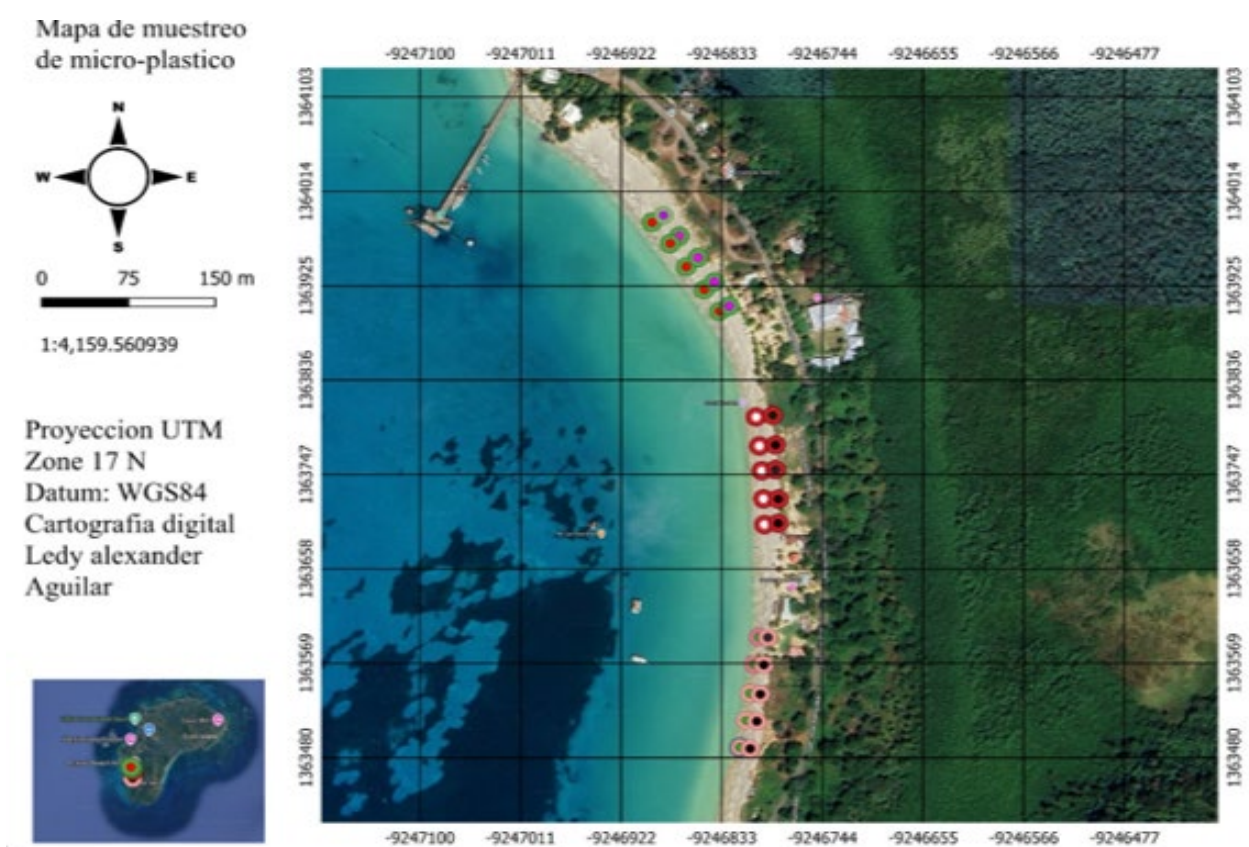


Figura: 1 Mapa del área de muestreo de Microplásticos.

### 8.2 Tipo de estudio según el enfoque, amplitud o período

Este estudio es de enfoque cuantitativo y de tipo descriptivo; se centra en la cuantificación y descripción cada una de las variables de los microplásticos (color, tamaño, tipo y forma). Es de corte transversal debido a que la recolecta en la muestra de arena se realizó en un único momento tanto en espacio y tiempo.

## 8.3 Población, muestra

- **La población** corresponde a todos los microplásticos presentes en el estrato de paya de 300 m sobre la zona supra litoral de la playa de Pic-Nic Beach.
- **La muestra** está compuesta por los microplásticos recolectados en 30 estratos, delimitados por cuadrantes de 50 x 50 cm, equivalentes a un área de 0.25 m<sup>2</sup>.

### 8.3.1 Tipo de muestra y muestreo

El muestreo implementado en este estudio es de tipo sistemático estratificado. Esta metodología se seleccionó para garantizar una recolección de datos representativa y una cobertura espacial uniforme del área de estudio.

El componente estratificado del diseño consistió en dividir la zona de estudio (Pic-Nic Beach) en subgrupos o estratos homogéneos, asegurando que las distintas condiciones ambientales de la playa estuvieran representadas. Los estratos se dividieron con base en dos criterios:

1. **Ubicación Geográfica:** Se dividieron 3 zonas geográficas principales (Zona I, Zona II y Zona III), separadas entre sí por una distancia de 100 m.
2. **Posición Mareal:** Dentro de cada zona, se establecen dos (2) sub-estratos paralelos: uno ubicado sobre la línea de la Pleamar y otro en la Zona Supra-litoral (a 10 m de distancia).

Dentro de cada uno de estos seis estratos, se aplicó un muestreo sistemático para establecer las estaciones de recolección. Este método, que implica la selección de puntos a intervalos fijos, se elige para asegurar una cobertura completa y ordenada de cada transecto. La implementación de este diseño se ejecutó de la siguiente manera, resultando en un total de 30 estaciones de muestreo:

#### **Zona I:**

- **Transecto A (Pleamar):** 5 estaciones sistemáticas (AI1 a AI5).
- **Transecto B (Supralitoral):** 5 estaciones sistemáticas (BI1 a BI5).

#### **Zona II:** (Ubicada a 100 m de la Zona I)

- **Transecto C (Pleamar):** 5 estaciones sistemáticas (CII1 a CII5).
- **Transecto D (Supralitoral):** 5 estaciones sistemáticas (DII1 a DII5).

#### **Zona III:** (Ubicada a 100 m de la Zona II)

- **Transecto E (Pleamar):** 5 estaciones sistemáticas (EIII1 a EIII5).
- **Transecto F (Supralitoral):** 5 estaciones sistemáticas (FIII1 a FIII5).

### 8.3.2 Técnicas e instrumentos de la investigación

Tabla 2- Técnicas e instrumentos de la investigación

<b>Matriz</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumentos</b>
Arena	Técnica visual: Delimitación de seis transectos de 100 m y establecimiento de cinco estaciones cada 25 m por transecto.	Cinta métrica (50 m), GPS Garmin, estacas de madera y libreta de campo.
Arena	Técnica volumétrica: Colecta superficial de sedimento (1.0 cm de espesor) mediante extracción en cuadrante.	Cuadrante de madera (50x50 cm), espátulas metálicas, y bolsas de polietileno.
Arena	Tamizado: Fraccionamiento de muestras secas para la separación granulométrica de partículas.	Tamiz con malla de acero inoxidable (luz de malla 5mm).
Arena	Fase de campo: Empaquetamiento, rotulación y georreferenciación de los puntos de muestreo.	Bolsas herméticas (tipo Ziploc), cinta masking tape, marcadores permanentes y GPS.
Arena	Separación física: Aislamiento de microplásticos mediante el método de diferencia de densidades (flotación).	Agitador magnético, solución saturada de NaCl (sal de mesa) y probetas.
Arena	Caracterización y Medición: Identificación morfológica bajo lupa y medición micrométrica de las partículas.	Estereomicroscopio, balanza de precisión, pinzas de punta fina y cristalería (vasos de precipitado, matraces).

### 8.4 Diseño

El diseño de esta investigación es de tipo no experimental. Se define como no experimental porque el estudio se limita a observar y medir las variables (característica de los microplásticos) en su ambiente natural, sin realizar ninguna manipulación de deliberada sobre ellas. Esta aproximación

metodológica permite obtener un diagnóstico puntual y preciso sobre el estado de la contaminación por micro, sin analizar la evolución del fenómeno a través del tiempo.

#### **8.4.1 Recolección de Datos**

Para la obtención de las muestras y datos, el protocolo se ejecutó en las siguientes fases:

**Fase 1: Recolección de Muestras en Campo:** En cada una de las 30 estaciones descrito en la sección de muestreo, se aplicó la siguiente técnica de recolección:

- Se utilizó un cuadrante de 50 x 50 cm para delimitar un área de 0,25 m<sup>2</sup>.
- Se recolectó la capa superficial de arena (1 cm de espesor) con una espátula metálica.
- Cada muestra se almacenó en una bolsa plástica debidamente rotulada y georreferenciada (GPS) para su traslado al laboratorio.

**Fase 2: Preparación de Muestras (Laboratorio):** Las 30 muestras de sedimento se sometieron a un proceso de secado al aire durante un período de 20 días. Este paso fue crucial para eliminar la humedad residual y asegurar una separación por densidad más eficiente.

**Sub fase: Separación por Densidad (Flotación):** Para la extracción de los microplásticos se adoptó la metodología del INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andreis").

- Se preparó una solución hipersalina con una concentración de 300 g de NaCl por cada litro de agua.
- La muestra de sedimento seco se transfirió a un vaso de precipitado que contenía dicha solución y fue sometida a agitación magnética continua durante 10 minutos. Este proceso utilizó la alta densidad de la solución para facilitar la flotación de los polímeros plásticos y la sedimentación del material inorgánico.

**Sub fase: Recolección del Sobrenadante y Clasificación:** Concluida la agitación, el sobrenadante (la capa líquida que contenía los microplásticos) fue cuidadosamente retirado. Una vez aisladas, las partículas plásticas fueron clasificadas atendiendo a sus características físicas y morfológicas:

- **Clasificación por Color:** Se utilizó la observación directa y un estereoscopio óptico para agruparlas por coloración (blanco, transparente, rojo, etc.).

- **Clasificación por Tamaño:** Se utilizó un micrómetro digital para medir cada partícula y categorizarla en los rangos definidos (<1 mm, 1-2 mm, >2-3 mm, >3-4 mm y >4-5 mm).
- **Clasificación por Tipo (Morfología):** Se clasificaron visualmente (con estereoscopio) en: fragmentos, fibras, espumas, láminas, pellets y gránulos.
- **Clasificación por Forma (Geométrica):** Se asignó una forma geométrica tridimensional (cilindros, paralelepípedos, esferas, etc.) a cada tipo, según la metodología implementada.

Para el cumplimiento del objetivo enfocado en describir la afectación por Microplásticos en los ecosistemas marino-costero de Pic-Nic Beach, Corn Island, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura científica. Ese proceso de recolección de datos documentales se estructuró en las siguientes sub-fases:

**Fase 3: Estrategia de búsqueda de información:** La búsqueda se centró en bases de datos científicos y repositorios académicos, incluyendo Google scholar, Scopus, SciELO, Latindex y los repositorios institucionales de universidades nicaragüenses (como BICU y UNAN). Se definieron y combinaron palabras claves en español e inglés tales, como: "microplastics", "efectos ecológicos" (ecological effects), "ecosistemas marino-costeros" (marine coastal ecosystems).

- **Criterios de selección inclusión y exclusión:** La información recolectada fue sometida a un proceso de filtrado. Se incluyeron artículos de investigación, revisiones y tesis que analizarán efectos toxicológicos, físicos o ecológicos de los micro plásticos en organismos (como invertebrados, peces, tortugas) o hábitat (como playas arenosas, arrecifes de corales y pastos marinos) similares a los de Corn Island. Se excluyeron los estudios enfocados únicamente en agua dulce, contaminación atmosférica o aquellos que solo cuantificaban la presencia sin analizar los efectos.
- **Extracción y síntesis de datos:** De la literatura seleccionada, se extrajo la información relevante en una matriz de análisis. Esta matriz permitió sistematizar datos claves como: autores, año de publicación, ubicación del estudio, tipo de ecosistema, organismos afectados y un resumen de los principales efectos reportados (ejemplo. Ingestión, estrés oxidativo, bloqueo físico y bioacumulación de toxinas).
- **Análisis comparativo y extrapolación:** Finalmente, se realizó una síntesis cualitativa de los hallazgos. Dada la limitada literatura específica sobre los efectos en Pic-Nic Beach, el

análisis consistió en comparar los resultados de esta investigación con los efectos documentados en ecosistemas análogos a nivel global y regional. Esto permitió extrapolar los riesgos y efectos potenciales más probables para la biota y los ecosistemas marino-costeros de la zona de estudio.

#### **8.4.2 Criterios de validez y confiabilidad**

**La validez** del muestreo se garantizó mediante la aplicación del protocolo estandarizado de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), siguiendo los criterios de control validados por Sagot (2022). Este procedimiento asegura el cumplimiento de los "Métodos de Muestreo y de Laboratorio para el Análisis de Microplásticos en el Entorno Marino" en la recolección y tratamiento de sedimentos.

Bajo este marco, la validez del diseño se fundamentó en un muestreo sistemático estratificado para mitigar el sesgo del observador en la selección de puntos. Al predefinir zonas, transectos y estaciones a intervalos fijos, se garantizó una cobertura espacial objetiva y representativa de la línea de pleamar y la zona supra-litoral, fortaleciendo la validez interna de los datos.

Asimismo, la validez de los procedimientos se aseguró mediante la estandarización de la recolección en las 30 estaciones de estudio. En cada una se utilizó un cuadrante de 50 por 50 cm y se extrajo una profundidad homogénea de 1 cm de sedimento superficial. Esta uniformidad metodológica permite que las muestras sean directamente comparables entre sí y posean rigor científico.

**Control de contaminación:** Para garantizar la integridad de las muestras, se aplicaron los protocolos de la Red de Investigadores de Estresores Marinos-Costeros en Latinoamérica y el Caribe (REMARCO), siguiendo los criterios de Hernández et al. (2024). Asimismo, se integraron las directrices estandarizadas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), validadas técnicamente por Rodrigues et al. (2019).

Bajo estos marcos metodológicos, se priorizó el uso de materiales inertes como el acero inoxidable y el vidrio, empleando espátulas metálicas para eliminar la introducción de polímeros sintéticos

durante el muestreo. Estas medidas preventivas aseguran que las partículas cuantificadas correspondan exclusivamente a la carga antropogénica presente en el sedimento de Pic-Nic Beach.

La prevención de la contaminación cruzada se reforzó mediante el uso riguroso de vestimenta de fibras naturales (algodón) y la descontaminación del instrumental con agua destilada entre cada estación. Durante la fase analítica en laboratorio, las muestras se mantuvieron en cajas Petri de vidrio y protegidas con papel de aluminio para mitigar el depósito de partículas atmosféricas.

Este estricto control de calidad, que incluyó la exposición mínima de las muestras al entorno, garantiza la representatividad de los resultados obtenidos. Al estandarizar tanto la indumentaria como el manejo de las herramientas, se fortalece la validez interna del estudio y se asegura la comparabilidad de los datos con otros registros regionales del Caribe.

**La confiabilidad** se fundamenta en la adhesión a protocolos estandarizados y en la precisión de los instrumentos.

El pilar de la confiabilidad del del estudio se refuerza al seguir la metodología implementada por el Instituto colombiano de investigación Marina-costera "Jose Benito Vives de Andreis" (INVEMAR, 2017). Este protocolo, diseñado específicamente para el estudio de micro plástico y utilizado ampliamente en diversas regiones del mundo, ha sido concebido teniendo en cuenta las características únicas de esta particular y su impacto en el medio ambiente. Su adopción como guía para los procedimientos de laboratorio garantiza la obtención de datos precisos, fiables y comparables con otras investigaciones a nivel nacional e internacional.

Adicionalmente la confiabilidad se reforzó mediante:

**Precisión instrumental en campo:** El uso de un sistema de posicionamiento global (GPS) para la georreferenciación de cada esta estación y de cinta métrica para definir los transeptos asegura la exactitud y la posibilidad de replicar el muestreo en futuras investigaciones.

**Consistencia del análisis:** se utilizaron criterios unificados y consistentes para la caracterización de las partículas (color, tamaño, tipo y forma) en todas las muestras, los que reduce la variabilidad del análisis y garantiza que las mediciones sean reproducibles.

## 8.5 Operacionalización de variables

**Tabla 3 - Operacionalización de variables**

Variable	Definición	Nivel de medición	Categoría
<b>Objetivo 1. Clasificar los micro plásticos de la playa Pic-Nic Beach, Corn Island, según sus características físicas (color, tamaño, tipo y forma)</b>			
Tamaño	Dimensión máxima longitudinal expresada en milímetros (mm).	Cuantitativa (Razón)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Partículas menores a 1 mm.</li> <li>• Partículas de 1 a 2 mm</li> <li>• Partículas mayores a 2 mm y menores que 3 mm</li> <li>• Partículas mayores a 3mm y menores a 4 mm</li> <li>• Partículas mayores a 4 mm y menores a 5 mm</li> </ul>
Forma	Configuración geométrica y morfología externa de la partícula	Cualitativa (Nominal)	Cilíndrica, paralelepípedo, esférica, cúbica, prismática, amorfa.
Color	Propiedad óptica (tonalidad) de la partícula observada bajo estereomicroscopio.	Cualitativa (Nominal)	Negro, blanco, transparente, rojo, amarillo, verde, azul, otros
Tipo	Clasificación según el origen físico y	Cualitativa (Nominal)	Fragmento, fibra, espuma, laminas, pellets, gránulos

Variable	Definición	Nivel de medición	Categoría
	estructura del polímero.		
<b>Describir la afectación por Microplásticos en los ecosistemas marino-costero de Pic-Nic Beach, Corn Island.</b>			
Efecto	Consecuencia potencial derivada de la interacción del polímero con el ecosistema.	Cualitativa (Ordinal)	Riesgo potencial: Bajo, Medio, Alto (según criterios de biodisponibilidad e ingesta).

## 8.6 Análisis de datos

Se utilizó programas informáticos para crear y organizar las bases de datos

- **Microsoft Excel:** Se empleó para organizar y analizar los datos de caracterización física de micro - plásticos
- **QGIS (Quantum GIS):** QGIS se empleó para elaborar mapas de la zona de muestreo. El uso de esta herramienta permitió representar geográficamente la distribución de microplásticos y destacar áreas de interés.

El análisis de la información se estructuró bajo un enfoque cuantitativo y descriptivo, diseñado para sistematizar la complejidad de los hallazgos mediante un riguroso procesamiento de datos. Este proceso se desglosó en fases específicas para garantizar la trazabilidad de cada variable, comenzando con la categorización y clasificación frecuencial:

En esta etapa, cada partículas recuperadas fue sometida a una clasificación taxonómica física, evaluando sistemáticamente cuatro variables críticas: tipo, color, forma y tamaño. A través del cálculo de frecuencias absolutas y relativas, se logró determinar la composición integral de la muestra, lo que permitió establecer con precisión el perfil de contaminación predominante y la naturaleza de los polímeros en el área de estudio.

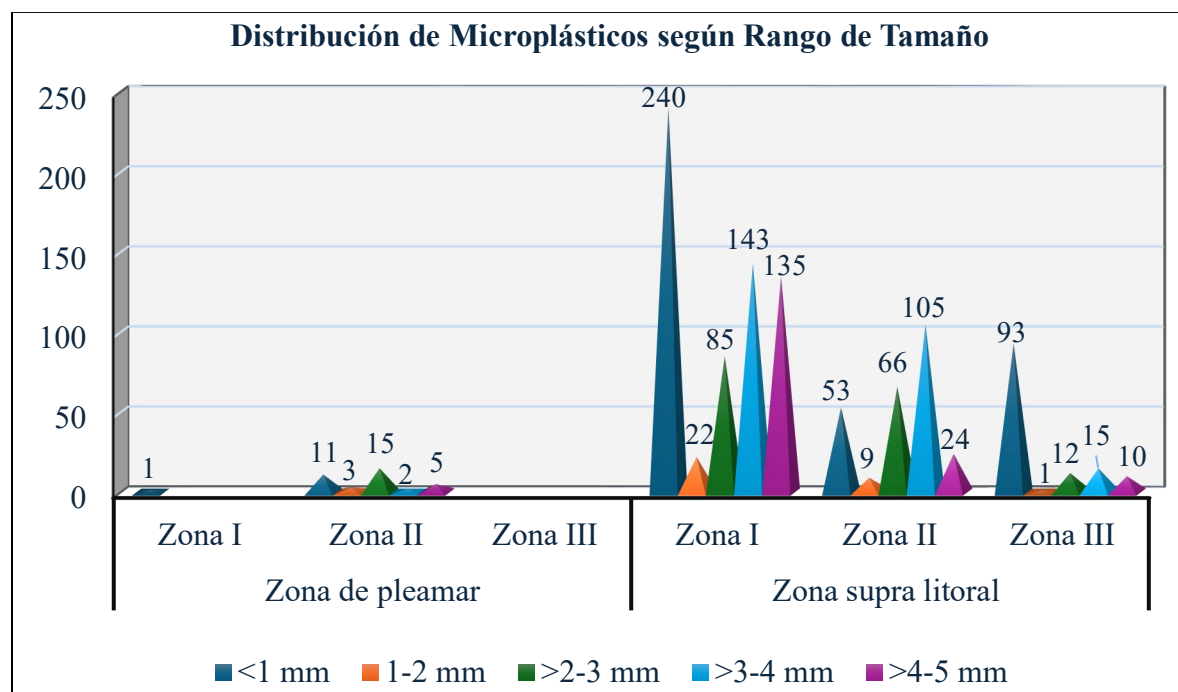
## IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los hallazgos obtenidos tras el análisis de las muestras recolectadas en Pic-Nic Beach. En primer lugar, se detallan los resultados correspondientes a la caracterización física de los microplásticos (tamaño, tipo, color y forma) y su distribución espacial. Posteriormente, se discuten estos datos a la luz de la literatura científica para describir las posibles afectaciones y riesgos ecológicos que estos contaminantes representan para el medio natural de Corn Island.

### 9.1. Resultado de la caracterización física de los microplásticos

El análisis de las 30 estaciones de muestreo en Pic-Nic Beach permitió la clasificación de los microplásticos según sus características físicas (tamaño, tipo, color y forma), en cumplimiento del primer objetivo específico de esta investigación.

El primer hallazgo relevante del estudio, es la diferencia en la acumulación de microplásticos a través del perfil transversal de la playa. El análisis de datos reveló que la contaminación no se distribuye de manera homogénea, sino que se concentra masivamente en la zona supra-litoral (área seca sobre la línea de marea alta), tal como se muestra en la Figura 2, donde se distribuye esta frecuencia según los rangos de tamaño.



**Figura: 2,** Distribución de Microplásticos por Zona Mareal y Geográfica según Rango de Tamaño

La distribución de microplásticos en Pic-Nic Beach revela una marcada heterogeneidad espacial, con una densidad de partículas significativamente superior en la Zona Supralitoral frente a la Zona de Pleamar. En el estrato supralitoral, la fracción granulométrica dominante correspondió al rango <1 mm, con una frecuencia de 386 fragmentos; de estos, la Estación I registró la incidencia máxima (240 unidades), mientras que las Estaciones II y III reportaron 53 y 93 unidades, respectivamente. Si bien el patrón general exhibe una correlación inversa entre el tamaño y la frecuencia de los polímeros, se identificó un repunte secundario en el intervalo de >3-4 mm. En esta categoría, la carga disminuyó progresivamente desde la Estación I (143 partículas) hacia la II (105) y la III (15).

Un comportamiento análogo se observó en las partículas de mayor envergadura (4-5 mm), las cuales se concentraron predominantemente en la Estación I con 135 unidades, reduciéndose drásticamente en las Estaciones II (24) y III (10). Esta distribución sugiere una dinámica de transporte y depósito diferenciada, donde la zona alta de la playa actúa como un sumidero selectivo para detritos plásticos de distintas dimensiones.

En contraste, la Zona de Pleamar presentó una incidencia mínima de contaminantes. En la fracción <1 mm, solo se identificaron 1 y 11 partículas en las estaciones I y II, respectivamente. El rango de 2-3 mm registró una frecuencia de 15 fragmentos, mientras que para las dimensiones mayores (4-5 mm) solo se contabilizaron 5 unidades. En términos globales, de las 1,050 partículas analizadas granulométricamente en ambas franjas de la playa, la categoría de <1 mm resultó ser la más representativa con 398 fragmentos, seguida por el intervalo de >3-4 mm con 265 partículas y, finalmente, por la fracción de mayor envergadura (4-5 mm) con un total de 174 unidades.

El dominio de (MP) con dimensiones menores a 1 mm en la zona supra litoral de Pic-Nic Beach (386 partículas) coincide con los hallazgos de Iannacone et al. (2019) en el litoral peruano, quienes determinan una mayor abundancia de MP primario y secundario de tamaño reducido (< 1 mm) en comparación con las dimensiones de 1 a 5 mm. Esta tendencia hacia la fragmentación extrema sugiere que la playa está sujeta a procesos de degradación acelerados. Según la Teoría de la Fragmentación, factores abióticos como la radiación UV y la abrasión mecánica por el oleaje descomponen los objetos plásticos en partículas progresivamente más pequeñas.

A diferencia de lo reportado por Cabrera (2018) en Tenerife, donde prácticamente no se encontraron plásticos en el rango de 0,5 a 5 mm, los resultados en Corn Island muestran una presencia mayor y heterogénea. Mientras que en Tenerife solo se identifican algunas fibras aisladas, en Pic-Nic Beach la acumulación en la zona supralitoral alcanzó picos de hasta 240 partículas en una sola estación (Zona I). Esta diferencia podría explicarse por la Teoría del Transporte Hidrodinámico, que establece que la densidad y forma de las partículas interactúan con las mareas y el viento, facilitando que los polímeros de baja densidad se acumulen en las zonas altas y secas de la playa.

La concentración masiva de partículas en la Zona Supra-litoral de Pic-Nic Beach en comparación con la Zona de Pleamar (donde la presencia racticamente mínima) respalda la investigación nacional realizada por Ebanks et al. (2024) en Bluefields, las cuales sugieren que la zona intermareal y las áreas de depósito supralitorales actúan como el principal sumidero de estos contaminantes en el Caribe nicaragüense. Este patrón de acumulación a mayor escala en la parte seca de la playa refuerza la hipótesis de que el origen está directamente vinculado a la degradación in situ de macrobasura generada por el consumo turístico y artes de pesca, similar a lo observado por Moody et al. (2024), donde el 73% de los residuos sólidos en zonas aledañas eran materiales plásticos.

Los rango de >3-4 mm en las estaciones de la zona supralitoral tiene similitud con lo reportado por Espinoza y Nolasco (2022) en el Balneario de Ancón, donde predominaron partículas de 3-4 mm. La presencia de estas partículas más jóvenes o menos fragmentadas junto a la fracción dominante de <1 mm confirma la presencia persistente y heterogénea planteada en la hipótesis de investigación, indicando que el ecosistema de Pic-Nic Beach recibe constantes aportes de desechos plásticos que se encuentran en diferentes etapas de fragmentación física.

La caracterización morfológica de los microplásticos en Pic-Nic Beach, detallada en el presente gráfico (figura 3), confirma la marcada heterogeneidad espacial previamente descrita, con una prevalencia de detritos en la Zona Supralitoral frente a la Zona de Pleamar.

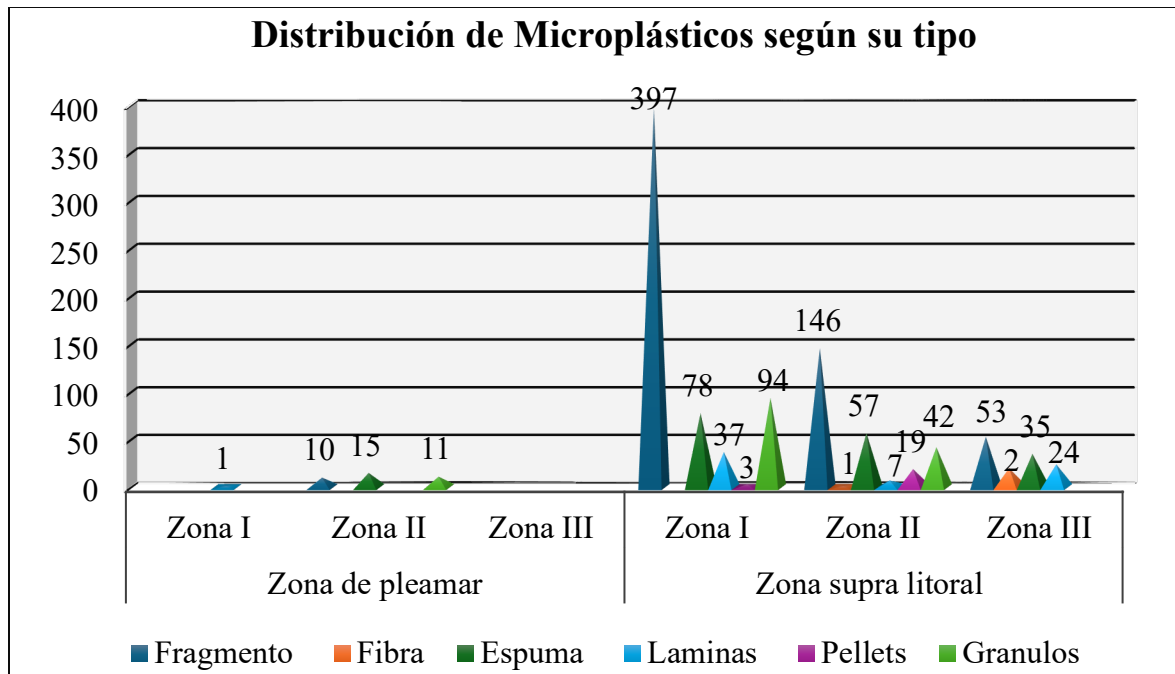


Figura: 3, Distribución de Microplásticos por Zona Mareal y Geográfica según su tipo

En el estrato supralitoral, los "Fragmentos" constituyeron la morfología dominante, alcanzando una incidencia crítica en la Estación I con 397 unidades, seguida de 146 en la Estación II y 53 en la Estación III. Otras categorías, como "Gránulos" y "Espuma", mostraron frecuencias significativas en la Estación I (94 y 78 partículas, respectivamente), disminuyendo progresivamente hacia las estaciones restantes.

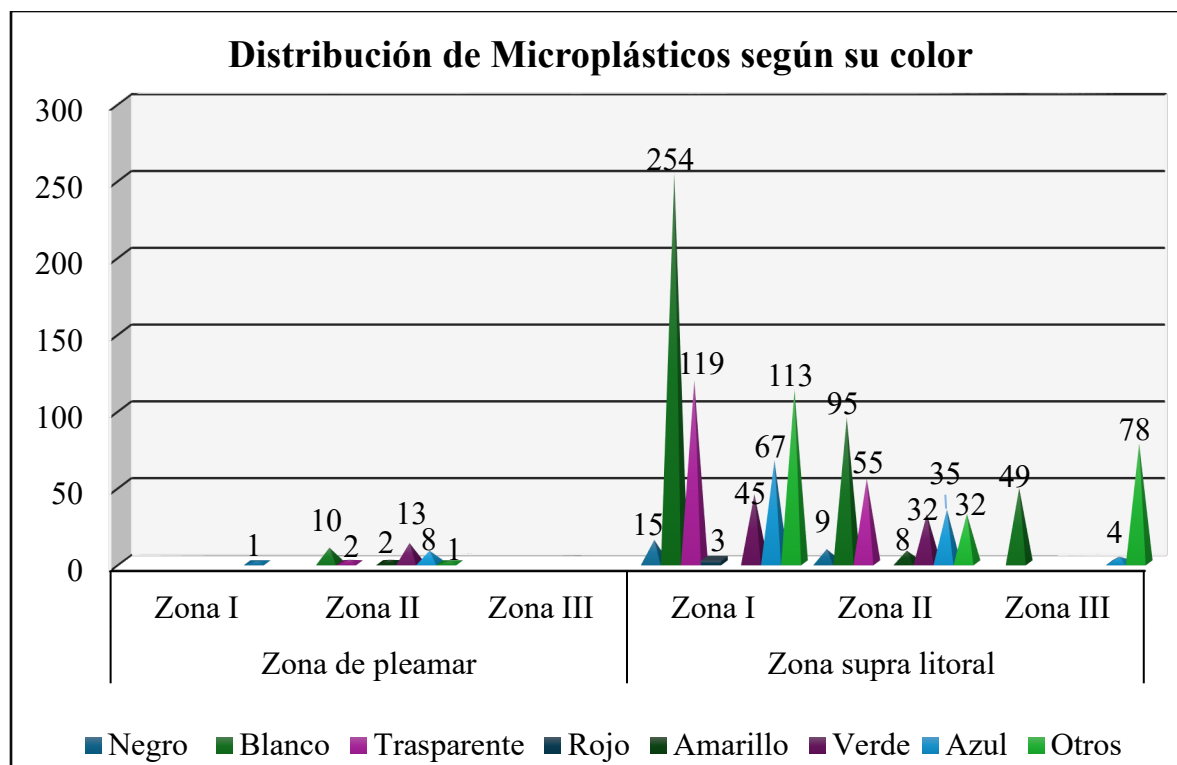
En contraste, la Zona de Pleamar exhibió una carga contaminante mínima y simplificada, donde únicamente se registraron fragmentos aislados en la Estación II (10), junto con una presencia marginal de espumas (15) y gránulos (11) en esta última. Globalmente, la predominancia de fragmentos rígidos sumaron 606 partículas el cual sugiere un proceso de degradación *in situ* de macrolásticos de mayor tamaño, mientras que la diversidad de formas en la franja alta de la playa refuerza la hipótesis de que la Zona Supralitoral actúa como un sumidero de alta energía donde convergen múltiples tipologías de polímeros debido al transporte eólico y mareal.

La prevalencia de fragmentos que muestra en la figura 3, coincide con los hallazgos de Purca y Henostroza (2017) en playas de Perú, donde los fragmentos de plástico duro representaron más del 80% de las muestras. Esta similitud sugiere que, al igual que en las costas peruanas, la principal fuente de contaminación en Pic-Nic Beach proviene de la fragmentación de objetos de mayor tamaño (macro plásticos), lo cual se alinea con la Teoría de la Fragmentación.

A nivel nacional, los resultados tienen una estrecha relación con lo reportado por Díaz y Sarria (2019) en el Pacífico de Nicaragua, quienes también identifican una mayoría de fragmentos (315 piezas) sobre otros tipos como filamentos o películas. Sin embargo, un hallazgo distintivo en Corn Island es la presencia de gránulos y espumas en la zona supra litoral, lo cual apoya la hipótesis del impacto por consumo turístico, posiblemente vinculado a envases de poliestireno expandido y desechos de alimentos, similar a los precursores de macro basura analizados por Moody et al. (2024).

La baja presencia de fibras en comparación con los fragmentos difiere de los hallazgos reportados por Iannacone et al. (2019), donde el tipo filamentoso fue el más abundante. En Pic-Nic Beach, las fibras se encontraron en cantidades mínimas (máximo de 2 en Zona II supra-litoral), lo que indica que, para este sitio específico, el desgaste de artes de pesca, aunque presente es un factor secundario frente a la degradación de plásticos rígidos de origen urbano y turístico. Esta distribución espacial, concentrada en la zona seca, refuerza la definición de microplásticos secundarios de Europarl (2018) y confirma que la zona supra litoral actúa como el principal sumidero y reactor de degradación polimérica en la isla.

El análisis cromático en Pic-Nic Beach reveló una notable prevalencia de colores claros, siendo el blanco el tono predominante en todas las estaciones de la Zona Supra-litoral (figura 4). En la Zona I de esta franja, se contabilizaron 254 partículas blancas, seguidas de una cantidad significativa de partículas de color transparente (119) y otros colores (113).



**Figura:** 4, Distribución de Microplásticos por Zona Mareal y Geográfica según Color.

En contraste, la Zona de Pleamar mostró una presencia cromática mínima, donde el blanco apenas alcanzó las 10 unidades en la Zona II. Otros colores como el azul, verde y negro se presentan con frecuencias mucho menores en ambas zonas, destacando una mayor diversidad cromática en las estaciones de la zona alta (supra-litoral), lo que sugiere una procedencia de residuos plásticos con distintos orígenes y niveles de exposición ambiental.

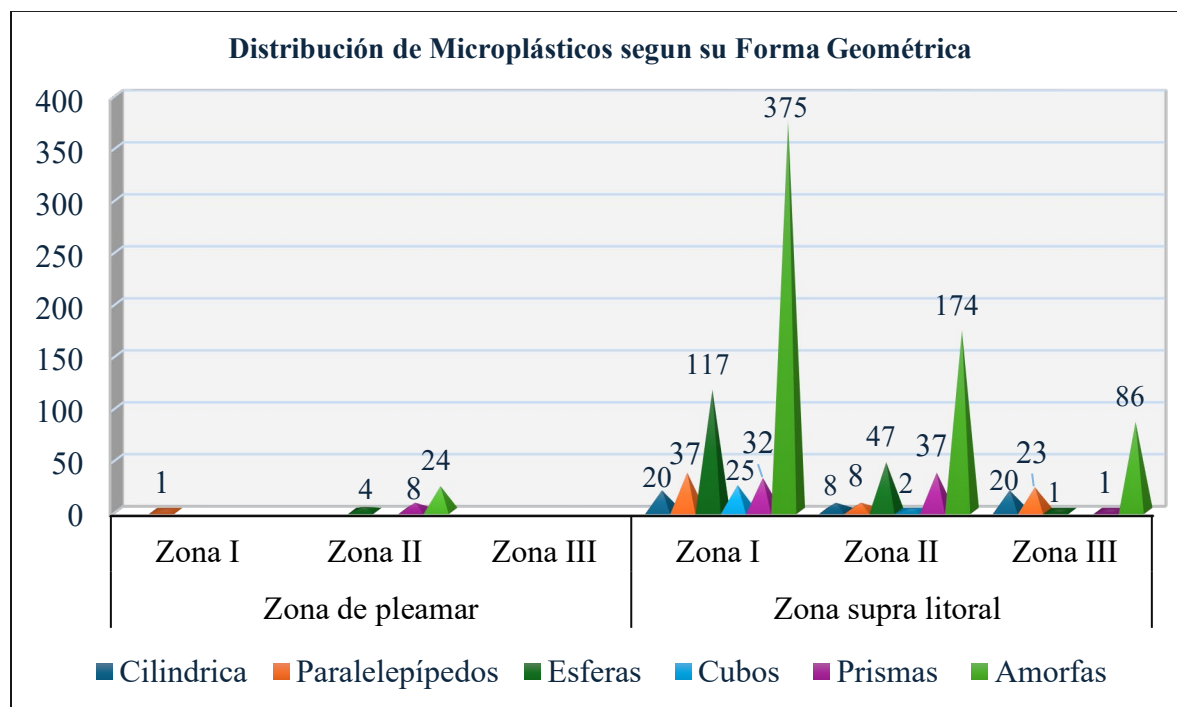
La predominancia de los colores blanco y transparente en Pic-Nic Beach guarda una relación con los resultados de Iannacone et al. (2019), quienes se identifican en estos mismos tonos como dominantes en playas del Perú. Esta coincidencia refuerza la idea de que los microplásticos presentes son mayoritariamente de origen secundario, derivados de la pérdida de pigmentación y fragmentación de polímeros comunes como el polietileno y polipropileno, utilizados frecuentemente en envases desechables.

A nivel regional, la presencia de partículas blancas concuerda con el estudio nacional de Ebanks et al. (2024), donde se reportó una notable predominancia de color blanco hueso en la arena de Bluefields vinculada al poliestireno expandido. Esto sugiere que el ecosistema de Corn Island

comparte una contaminación similar a otras zonas del Caribe nicaragüense, donde los residuos de consumo turístico actúan como la fuente precursora principal.

La baja frecuencia de colores como el azul o verde, asociados a artes de pesca (redes y cabos), contrasta con los estudios de Sagot (2022) en Costa Rica, donde estos colores fueron predominantes junto a residuos de redes. En el caso de Pic-Nic Beach, la escasez de estos tonos en comparación con el blanco y transparente indica que la presión pesquera aporta un volumen menor de microplásticos que la actividad turística y urbana, validando nuevamente la presencia heterogénea planteada en la hipótesis.

Con relación al análisis de la forma geométricas (figura 5), reveló una hegemonía de las formas amorfas sobre cualquier otra configuración geométrica en el área de estudio



**Figura:** 5, Distribución de Microplásticos por Zona Mareal y Geográfica según su Forma Geométrica.

En la Zona Supralitoral, estas partículas alcanzaron su frecuencia máxima en la Zona I con 375 unidades, seguida de la Zona II (174) y la Zona III (86). Otras formas con presencia significativa en la zona alta incluyen las esferas (117 en Zona I) y los paralelepípedos (37 en Zona I).

Por el contrario, la Zona de Pleamar mostró una diversidad geométrica mínima, donde las formas amorfas apenas alcanzaron 24 unidades en la Zona II. La escasez de formas regulares (como cubos o cilindros) en todo el perfil de la playa destaca que la mayoría de los polímeros han perdido su estructura original debido a factores ambientales.

La prevalencia de formas amorfas en Pic-Nic Beach es un indicador de procesos de fragmentación prolongado. Según la Teoría de la Fragmentación, los objetos plásticos pierden su geometría original y adoptan formas irregulares o amorfas debido a la foto degradación y la abrasión mecánica contra los granos de arena. Este hallazgo coincide con lo reportado por Iannacone et al. (2019), quienes asociaron las otras formas (irregulares) con microplásticos secundarios derivados de residuos de consumo.

La presencia de esferas (117 partículas), particularmente en la zona supralitoral, podría estar vinculada a dos fuentes: microplásticos primarios (como agentes exfoliantes) o, más probablemente en este contexto insular, a la degradación de poliestireno expandido (espumas), cuyas celdas individuales tienden a adoptar formas esferoidales. Esto guarda relación con el estudio de Ebanks et al. (2024) en el Caribe nicaragüense, donde el poliestireno fue un componente clave en la arena de playa.

## **9.2. Análisis de las Afectaciones por microplásticos**

Siguiendo la metodología de revisión sistemática y extrapolación de riesgos, se procedió a describir las afectaciones potenciales de los microplásticos caracterizados sobre el ecosistema de Pic-Nic Beach. Dado que este estudio no contempló análisis histológicos in situ, la siguiente discusión se fundamenta en la correlación directa entre la tipología de contaminantes hallados y la evidencia toxicológica reciente para la región del Gran Caribe y Latinoamérica.

### **9.2.1 Vulnerabilidad por Biodisponibilidad, Obstrucción y Déficit Energético**

La caracterización física dimensional reveló que, de las 1,050 partículas analizadas, (398 ítems) pertenecen al rango de tamaño <1 mm. Al contrastar este hallazgo con la revisión sistemática de Cantarino et al. (2025), se identifica un escenario de alto riesgo, debido a que esta fracción dimensional es la que presenta la mayor tasa de ingestión accidental por parte de la meiofauna y los organismos filtradores bentónicos en los ecosistemas costeros.

Basado en los estudios de Plaul et al. (2023) sobre vertebrados acuáticos, se extrapola que la fauna de Pic-Nic Beach enfrenta un riesgo crónico de obstrucción mecánica del tracto digestivo. La ingestión de estas partículas milimétricas no suele causar mortalidad aguda inmediata, sino que induce una falsa saciedad. Esto sugiere que las poblaciones locales de peces juveniles y crustáceos podrían estar sufriendo un déficit energético silencioso, limitando su capacidad de crecimiento y éxito reproductivo a largo plazo.

### **9.2.2 Inmunotoxicidad y Fallo de Defensas**

El hallazgo morfológico de Fragmentos (606 partículas) y Espumas (185 partículas) envejecidas sugiere un riesgo químico activo. La evidencia regional presentada por Plaul et al. (2023) establece que la exposición crónica a estos polímeros induce una respuesta de inmunotoxicidad.

Específicamente, se infiere que la biota de Pic-Nic Beach está sufriendo una disminución en la producción de óxido nítrico, un componente vital para la respuesta inmune innata. Al fallar este mecanismo de defensa, la barrera intestinal de los organismos se ve comprometida, volviéndolos más susceptibles a infecciones bacterianas y virales. Esto significa que los microplásticos hallados no solo actúan como contaminantes físicos, sino que debilitan la capacidad natural de los organismos locales para defenderse de enfermedades.

### **9.2.3 Estrés Oxidativo y Daño Enzimático**

Un impacto crítico, derivado de la adsorción de contaminantes en los microplásticos (Efecto Vector), es la alteración del equilibrio celular. Basado en los estudios de Plaul et al. (2023), se extrapola que la ingestión de las partículas halladas en la playa está provocando una reducción significativa en la actividad de enzimas antioxidantes, tales como la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT).

Estas enzimas son la primera línea de defensa del organismo contra los radicales libres. Su inhibición implica que las células de los peces y crustáceos de Corn Island estarían entrando en un estado de estrés oxidativo severo, lo que conduce a daño tisular, inflamación crónica y un envejecimiento celular acelerado.

### **9.2.4 Riesgo de Genotoxicidad (Daño al ADN)**

La revisión de **Cantarino et al. (2025)** alerta sobre un efecto aún más profundo asociado a los tipos de polímeros encontrados (PE y PP): la **genotoxicidad**. La exposición continua a los aditivos

químicos lixiviados por los plásticos fragmentados tiene el potencial de causar daño directo al ADN de las células. En el contexto de Corn Island, esto representa una amenaza para la estabilidad genética de las poblaciones a largo plazo, pudiendo derivar en defectos en el desarrollo embrionario de especies clave.

### **9.2.5 Vulnerabilidad Taxonómica en la Zona Supralitoral**

La concentración de partículas encontradas en las muestras de sedimentos ( 1,050 partículas totales) afecta directamente a la macrofauna bentónica. Coincidiendo con Cantarino et al. (2025), quienes identifican a crustáceos y moluscos como los grupos más afectados, se determina que especies como el cangrejo *Ocypode quadrata* están expuestas a la máxima carga de contaminantes. Al ser detritívoros, estos organismos procesan grandes cantidades de arena contaminada, actuando como bioacumuladores primarios que transfieren tanto el plástico como el daño celular asociado a los niveles superiores de la red trófica.

## X. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis de investigación, confirmando que los sedimentos de la playa de Pic-Nic Beach presentan una contaminación constante y diversa por microplásticos, dominada por tipos secundarios cuyo origen converge entre la presión del consumo turístico y la actividad pesquera artesanal. Esta validación se sustenta en la predominancia absoluta de partículas amorfas y fragmentos derivados de la degradación *in situ* de macrobasura, así como en la identificación de fibras en zonas específicas de la playa, lo que evidencia la coexistencia de una dinámica de contaminación crónica masiva por residuos sólidos y otra localizada ligada a las actividades náuticas de Corn Island.

La distribución de microplásticos en Pic-Nic Beach evidencia una marcada heterogeneidad espacial, con una densidad crítica en la Zona Supralitoral frente a la mínima presencia en Pleamar. El perfil granulométrico está dominado por detritos <1 mm (398 unidades), aunque se identificó un repunte secundario en el rango de >3-4 mm, sugiriendo una dinámica de depósito diferenciada en la franja alta. Morfológicamente, prevalecen los fragmentos rígidos (606 unidades) seguidos de espumas y gránulos, lo que indica una degradación *in situ* de macroplásticos. Estos hallazgos confirman que la zona seca de la playa funciona como el principal sumidero y reactor de fragmentación polimérica del área.

El análisis cromático y geométrico refuerza la hipótesis de un origen secundario vinculado principalmente a la actividad turística y urbana sobre la presión pesquera. El color blanco predominó en todas las estaciones, especialmente en la Zona I supralitoral con 254 partículas, reflejando una pérdida de pigmentación por exposición ambiental. Geométricamente, existe una hegemonía de formas amorfas (375 unidades en Zona I), resultado de procesos prolongados de fotodegradación y abrasión mecánica. La presencia de esferas y colores transparentes valida la persistencia de polímeros degradados, consolidando a la zona supralitoral como un depósito heterogéneo de detritos plásticos en diferentes etapas de meteorización.

La afectación en el ecosistema marino-costero, se concluye que la alta densidad de partículas de tamaño milimétrico genera un escenario de elevado riesgo en el ecosistema por biodisponibilidad. La presencia masiva de estos contaminantes en la zona de mayor actividad biológica de la playa

expone a la macrofauna bentónica y organismos detritívoros a una ingestión crónica, con el consecuente riesgo de obstrucción del tracto digestivo y déficit energético.

Asimismo, la naturaleza química de los polímeros y su condición fragmentada validan la existencia del "Efecto Vector", infiriéndose que estos microplásticos actúan como vehículos de contaminantes químicos que pueden inducir estrés oxidativo, inmunotoxicidad y daño genético, comprometiendo la estabilidad de las poblaciones nativas y la integridad de la red trófica en este ecosistema insular clave.

## XI. RECOMENDACIONES

Considerando los hallazgos de esta investigación y la urgencia de mitigar la contaminación por microplásticos en Pic-Nic Beach, se proponen las siguientes líneas de acción dirigidas a las autoridades, la comunidad y el sector académico:

### **A las Autoridades Municipales y Ambientales (Alcaldía de Corn Island y MARENA):**

- **Focalizar la Limpieza en la Zona Supralitoral:** Dado que mas del 96% de los microplásticos se acumulan en la arena seca (zona supralitoral), se recomienda reestructurar las jornadas de limpieza de playa. No basta con recoger la basura visible en la orilla; es necesario implementar periódicos tamizados de la arena en la zona de descanso turístico para retirar los fragmentos pequeños que ya están enterrados.
- **Regulación de Plásticos de Un Solo Uso:** Ante el predominio de fragmentos y espumas (derivados de envases y poliestireno), se insta a fortalecer las ordenanzas municipales para reducir o prohibir el uso de recipientes de poliestireno expandido (termos, platos) y plásticos desechables en los negocios costeros de Corn island.
- **Gestión de Residuos Pesqueros en la Zona III:** Debido al hallazgo de fibras y residuos de pesca en la Zona III, se recomienda establecer un programa de gestión de residuos para el sector pesquero artesanal . Esto incluye instalar puntos de acopio específicos para redes viejas y cabos, evitando que sean abandonados o lavados en la playa.

### **Al Sector Turístico y Comunitario:**

- **Educación Ambiental "Cero Rastro":** Implementar campañas visuales en la playa que eduquen al turista sobre el concepto de "micro-basura". Es vital concienciar de que dejar una tapa de botella o un vaso de espuma en la arena termina convirtiéndose en millas de microplásticos que dañan la playa que disfrutan.

### **A la Comunidad Académica (BICU / Universidades):**

- **Monitoreo Estacional:** Dado que este estudio fue de corte transversal (un solo momento), se recomienda realizar nuevas investigaciones en la época lluviosa . Esto permitirá evaluar

si el escurrimiento pluvial aumenta la carga de microplásticos o si los cambios en el oleaje modifican los patrones de acumulación.

- **Análisis en Biota y Química:** Para profundizar en el Objetivo 2, se sugiere realizar estudios que incluyan la disección de organismos bioindicadores (como el cangrejo *Ocypode quadrata* o peces locales) para confirmar la ingestión física. Asimismo, sería ideal realizar análisis químicos (FTIR) para identificar con exactitud el tipo de polímero y rastrear su origen industrial.
- **Estudios en la Columna de Agua:** Complementar el análisis de sedimentos con muestreos en la columna de agua superficial, para determinar qué cantidad de microplásticos está flotando y siendo transportado hacia los arrecifes de coral cercanos.

## XII. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

### 8.2 Presupuesto

N°	Concepto	Fase	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (C\$)	Costo total (C\$)
<b>PRIMERA FASE</b>						
1	Viatico	I	Días	15	1,400.00	21,000.00
2	Transporte Bluefields – Corn Island – Bluefields	I	Unidad	3	620.00	1,860.00
<b>Subtotal Fase I</b>						<b>22,860.00</b>
<b>FASE II: INSUMOS Y CONTINGENCIA</b>						
3	Bolsas plásticas	II	Unidad	13	31	400.00
4	Sal	II	Lb	15	20	300.00
5	Imprevisto	II	Unidad	N/A	N/A	5,000.00
<b>Subtotal Fase II</b>						<b>5,700.00</b>
<b>TOTAL, GENERAL</b>						<b>28,560.00</b>

### 8.3 Cronograma de actividades

<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b>														
Años	2024						2025							
Mes	Junio			Noviembre			Febrero		Abril	Junio	Agosto	Octubre	diciembre	
Días	27	28	29	2	6	7	20	21	9	10-20	1-15	1-23	1-29	1-30
Selección de tema y objetivos	X													
Redacción de antecedentes		X												
Redacción de justificación			X											
Planteamiento de la			X											

<b>hipótesis y problema</b>																				
<b>Redacción del estado del arte</b>				X																
<b>Redacción del diseño metodológico</b>					X															
<b>Entrega de protocolo</b>						X														
<b>Muestreo en campo</b>					X	X														
<b>Análisis en laboratorio</b>							X	X	X	X	X									
<b>Análisis de datos</b>													X	X						
<b>Discusiones</b>															X					
<b>Conclusiones</b>																				X
<b>Revisión y correcciones</b>																				X

### XIII. REFERENCIAS

- Arthur, C., Baker, J., & Holly, B. (30 de Enero de 2009). Recuperado el 02 de Febrero de 2026, de repository.library:  
<https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/2509#:~:text=Courtney%20et%20al.%20%22-,%20Proceedings%20of%20the%20International%20Research%20Workshop%20on%20the%20Occurrence%2C%20Effects,pollutants%20in%20marine%20plastic%20debris.>
- Andrady, A. (14 de Agosto de 2011). Microplásticos en el medio marino. *sciencedirect*, 62.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Cabrera, D. (12 de junio de 2018). Recuperado el 22 de septiembre de 2025, de  
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/8703/Determinacion%20de%20la%20presencia%20de%20microplasticos%20en%20las%20playas%20de%20Tenerife.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cantarino Costa, T., Corrêa, B., Altomari, L., & Jaqueline Cardoso, S. (2025). The effect of plastic pollution on coastal marine organisms – A systematic review. *researchgate*.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-025-14444-1>
- Cantarino, T., Altomari, L., Corrêa, B., & Cardoso, S. J. (30 de Agosto de 2025). Efectos de la contaminación por plásticos en los organismos marinos costeros: una revisión sistemática. *Researchgate*. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14444-1>
- Capparelli, M., Molinero, J., Moulatlet, G., & Barrado, M. (2021). Microplásticos en ríos y aguas costeras de la provincia de Esmeraldas, Ecuador. *Revista sciencedirect*, 173, parte B. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113067>
- Cverenkárová, K., Valachovičová, M., Mackulák, T., & Bírošová, L. (06 de Diciembre de 2021). Microplásticos en la cadena alimentaria. *Revista nacional*, 3.  
<https://doi.org/https://translate.google.com/website?sl=en&tl=es&hl=es&client=sge&u=https://doi.org/10.3390/life11121349>
- Díaz Domínguez, J., & Sarria Sacasa, K. (2019). Microplastics on the Pacific coast of Nicaragua. *semanticsscholar*. Obtenido de  
<https://pdfs.semanticscholar.org/9dfa/84d487d59d99d01ddc59d0f9a2cfd4265cdf.pdf>

- Díaz, J. M., & Sarria, K. d. (12 de Diciembre de 2019). Microplásticos en las costas del Pacífico de Nicaragua. *Revista compromiso social, 1 Núm. 2*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.5377/recoeso.v1i2.13327>
- Ebanks, B. F., Rivas , E. G., Siu, E. A., & Flores, J. A. (2024). Microplásticos en un ecosistema lagunar del trópico húmedo nicaragüense y su incidencia en poblaciones de *Crassostrea rhizophorae*. *Revista Científica Esteli, 50*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.5377/esteli.v13i50.18483>
- Espinoza, D. B., & Nolasco, E. o. (12 de Febrero de 2022). Recuperado el 11 de Octubre de 2025, de alicia.concytec.gob:  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSS\\_bed6bae763b8a2a0f0fd45744900e90d](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSS_bed6bae763b8a2a0f0fd45744900e90d)
- Europarl. (22 de Noviembre de 2018). Recuperado el 11 de Octubre de 2025, de  
[https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20181116STO19217/microplasticos-causas-efectos-y-soluciones#:~:text=Micropl%C3%A1sticos%20secundarios%20\\*%20Se%20originan%20a%20partir,micropl%C3%A1sticos%20que%20se%20encuentran%20en%20los%20oc%C3%A9anos.](https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20181116STO19217/microplasticos-causas-efectos-y-soluciones#:~:text=Micropl%C3%A1sticos%20secundarios%20*%20Se%20originan%20a%20partir,micropl%C3%A1sticos%20que%20se%20encuentran%20en%20los%20oc%C3%A9anos.)
- Hernández, A., Barrientos, E. E., & Carrasco, D. (11 de Diciembre de 2024). Recuperado el 10 de Febrero de 2026, de remarco.org: <https://remarco.org/manual-de-procedimientos-tecnicos-contaminacion-por-microplasticos/#:~:text=Manual%20de%20Procedimientos%20T%C3%A9cnicos:%20Contaminaci%C3%B3n%20por%20Micropl%C3%A1sticos.>
- Iannacone, O., Huyhua, J. A., Alvariño , L., & Valencia , F. (2019). Microplásticos en la zona de marea alta y supralitoral de una playa arenosa del litoral costero del Perú. *Revista UNFV*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.24039/rtb2019172369>
- Intecoastur. (03 de Junio de 2022). Recuperado el 11 de Octubre de 2025, de  
<https://www.intecoastur.com/blog/microplasticos/>
- INVEMAR. (12 de Noviembre de 2017). Recuperado el 13 de Octubre de 2025, de  
<https://es.scribd.com/document/431726656/Protocolo-de-Muestreo-y-Analisis-de-Microplasticos-en-Aguas-Marinas-Superficiales-Sedimentos-de-Playas-y-Tracto-Digestivo-de-Peces>

- Kumar, R., Sharma, P., & Verma, A. (13 de septiembre de 2021). Efecto de las características físicas y las condiciones hidrodinámicas en el transporte y la deposición de microplásticos en el ecosistema ribereño. *13*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w13192710>
- Lopez, M., & Franco, A. (11 de octubre de 2021). Indagación sobre la degradación de plásticos con estudiantes de secundaria. *Revista científica Scielo*, *32*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.2.76553>
- López, S. (21 de Agosto de 2025). Recuperado el 11 de Octubre de 2025, de <https://agencia.unq.edu.ar/?p=30994>
- Moctezuma, K. Y., Cruz, A. A., & Alvarez, J. C. (15 de Octubre de 2022).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15469.36327>
- Moody, S. N., Ebanks, B. F., & Rivas, E. G. (2024). Contaminación por macrobasura marina en la barra de Hong Sound, Bluefields, Costa Caribe Sur de Nicaragua. *Revista científica Wani*, *80*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/wani.v40i80.17761>
- Muñoz, J. P., Ruales, D. A., & Rivera, R. (02 de Marzo de 2023). Galápagos y el problema del plástico. *Revista pfontera*, *4*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1091516>
- Oceanautic. (02 de Septiembre de 2025). Recuperado el 11 de Octubre de 2025, de [https://www.oceanautic.es/blog/que-es-la-pleamar/#%C2%BFQue\\_es\\_la\\_pleamar\\_y\\_por\\_que\\_es\\_importante\\_saberlo](https://www.oceanautic.es/blog/que-es-la-pleamar/#%C2%BFQue_es_la_pleamar_y_por_que_es_importante_saberlo)
- Ordóñez, O. G. (2022). Microplastic pollution in mangroves and beaches of the Cispatá marine protected area, Colombian Caribbean Coast. *Revista revmar*, *14*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.15359/revmar.14-2.1>
- Pavesio, L. (16 de 11 de 2025). *Noticias Ambientales*. Obtenido de Noticias Ambientales: <https://noticiasambientales.com/ciencia/microplasticos-una-amenaza-invisible-que-asciende-en-la-cadena-alimentaria-de-los-ecosistemas-marinos-de-america-latina/>
- Peralta, L. A., Peña, C., Castellanos, L. H., & Huerta, O. (22 de Octubre de 2023). Microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México. *Revista hidrobiologica*, *33*.  
<https://doi.org/http://orcid.org/0000-0002-7027-0909>
- Pinedo, V., & Lourdes, J. (22 de Agosto de 2019). Recuperado el 22 de Septiembre de 2025, de repositorio.ucv.edu: <https://repositorio.ucv.edu/handle/20.500.12692/69748>

- Plaul, F., Cecchetto, F., Fernández, F., Gallo, L., Grondona, S., Lourido, M., . . . Miglioranza, K. (2024). Efectos de microplásticos en vertebrados acuáticos de América Latina y el Caribe. Obtenido de <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/1634>
- Plaul, F., Cecchetto, F., Gallo, L., & Grondona, S. (13 de Diciembre de 2023). Recuperado el 20 de Noviembre de 2025, de <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/1634/1617>
- Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista peruana de biología*, 24 Núm. 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>
- Regmurcia. (15 de Mayo de 2023). Recuperado el 11 de Octubre de 2025, de [https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365,m,2624&r=ReP-16344-DETALLE\\_REPORTAJESPADRE](https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365,m,2624&r=ReP-16344-DETALLE_REPORTAJESPADRE)
- Reisser, J., Shaw, J., & Denise, B. (18 de Junio de 2018). <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100289>
- Rodrigues, S., Almeida, M., & Ramos, S. (16 de Agosto de 2019). Adaptación de un protocolo de laboratorio para cuantificar la contaminación por microplásticos en aguas estuarinas. 6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.03.027>
- Sagot , J. G. (16 de Diciembre de 2022). Monitoreo y caracterización de microplásticos en arenas de playas y aguas costeras de Costa Rica. *Revista internacional de comunicacion y desarrollo*, 4. [https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.15304/ricd.4.17.8807](https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.15304/ricd.4.17.8807)
- Sagot Valverde, J. G. (16 de Diciembre de 2022). Monitoreo y caracterización de microplásticos en arenas de playas y aguas costeras de Costa Rica. *Revista internacional de comunicacion*, 4 num. <https://doi.org/https://doi.org/10.15304/ricd.4.17.8807>
- sciencedirect. (25 de Abril de 2023). Recuperado el 11 de Octubre de 2025, de [https://www-sciencedirect-com.translate.google/topics/materials-science/microplastics?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es&\\_x\\_tr\\_pto=sge](https://www-sciencedirect-com.translate.google/topics/materials-science/microplastics?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge)

## XIV. ANEXOS

Anexo 1: Material de soporte grafico:

Esta sección se detallan la logística operativa y la secuencia de muestreo en campo. Se incluyen las plantillas de registro de datos in situ como coordenadas, hora de la recepción de las muestras y el esquema de zonificación de la playa. Estos elementos sustentan la metodología aplicada para la recolección de muestras de sedimento en la zona costera de Pic-Nic Beach.

<b>ZONA I</b>					
<b>Transectos</b>			<b>Pleamar</b>		
<b>Estaciones</b>	<b>AI1</b>	<b>AI2</b>	<b>AI3</b>	<b>AI4</b>	<b>AI5</b>
<b>Fecha</b>	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024
<b>Hora</b>	8:51 a. m.	9:00 a. m.	9:05 a. m.	9: 25 a. m.	9: 30 a. m .
<b>Coordenadas</b>	0275176-1345138	0275187-1345117	0275197-1345089	0275209-1345066	0275217-1345047
<b>Tiempo</b>	Nublado	Nublado	Nublado	ll- Ligera	Nublado
<b>Transectos</b>			<b>Supra-litoral</b>		
<b>Estaciones</b>	<b>BI1</b>	<b>BI2</b>	<b>BI3</b>	<b>BI4</b>	<b>BI5</b>
<b>Fecha</b>	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024
<b>Hora</b>	9:51 a. m.	9:50 a. m.	9:49 a. m.	9:49: a. m.	9: 35 a. m.
<b>Coordenadas</b>	275183-1345141	0275196-1345118	0275202-1345092	0275218-1345071	0275226-1345046
<b>Tiempo</b>	claro	Nublado	Nublado	claro	claro

<b>ZONA II</b>					
<b>Transectos</b>			<b>Pleamar</b>		
<b>Estaciones</b>	<b>CI1</b>	<b>CI2</b>	<b>CI3</b>	<b>CI4</b>	<b>CI5</b>
<b>Fecha</b>	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024
<b>Hora</b>	10:55 a. m.	10:50 a. m.	10:44 a. m.	10:37 a. m.	10:36 a. m.
<b>Coordenadas</b>	0275251-1344950	0275257-1344922	0275254-1344900	0275255-1344877	0275251-1344847
<b>Tiempo</b>	Soleado	Soleado	Soleado	Soleado	Soleado
<b>Transectos</b>			<b>Supra-litoral</b>		
<b>Estaciones</b>	<b>DI1</b>	<b>DI2</b>	<b>DI3</b>	<b>DI4</b>	<b>DI5</b>
<b>Fecha</b>	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024	21/11/2024
<b>Hora</b>	10:05 a. m.	10:10 a. m.	10:16 a. m.	10:26 a. m.	10:28 a. m.

<b>Coordenadas</b>	0275240-134950	0275242-1344924	0275241-1344898	0275244-1344874	0275246-1344849
<b>Tiempo</b>	Soleado	Soleado	Soleado	Soleado	Soleado

<b>ZONA III</b>					
<b>Transectos</b>			<b>Pleamar</b>		
<b>Estaciones</b>	<b>EI1</b>	<b>EI2</b>	<b>EI3</b>	<b>EI4</b>	<b>EI5</b>
<b>Fecha</b>	22/11/2024	22/11/2024	22/11/2024	22/11/2024	22/11/2024
<b>Hora</b>	10:30 a. m.	10:36 a. m.	10:38 a. m.	10:40 a. m.	10:44 a. m.
<b>Coordenadas</b>	0275234-1344650	0275242-1344671	0275244-1344700	0275245-1344720	0275252-1344746
<b>Tiempo</b>	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado
<b>Transectos</b>			<b>Supra-litoral</b>		
<b>Estaciones</b>	<b>FI1</b>	<b>FI2</b>	<b>FI3</b>	<b>FI4</b>	<b>FI5</b>
<b>Fecha</b>	22/11/2024	22/11/2024	22/11/2024	22/11/2024	22/11/2024
<b>Hora</b>	10:52 a. m.	10:55 a. m.	10:59 a. m.	11:03 a. m.	11:08 a. m.
<b>Coordenadas</b>	0275229-1344650	0275240-1344673	0275242-1344698	0275242-1344721	0275247-1344748
<b>Tiempo</b>	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado	Nublado
<b>AREAS DE MUESTREO</b>					
Longitud tola de la playa de Pic-Nic Beach.				680 metros	
Primera zona muestreada				Desde 90mt a 190mt	
Segunda zona muestreada				Desde 290mt a 390mt	
Tercera zona muestreada				Desde 490mt a 590 mt	
Coordenadas del inicio del muestreo (muelle comercial)				Sur: 0275088-1345248	
Coordenadas final del muestreo (muelle militar)				Norte: 0275210-1344559	

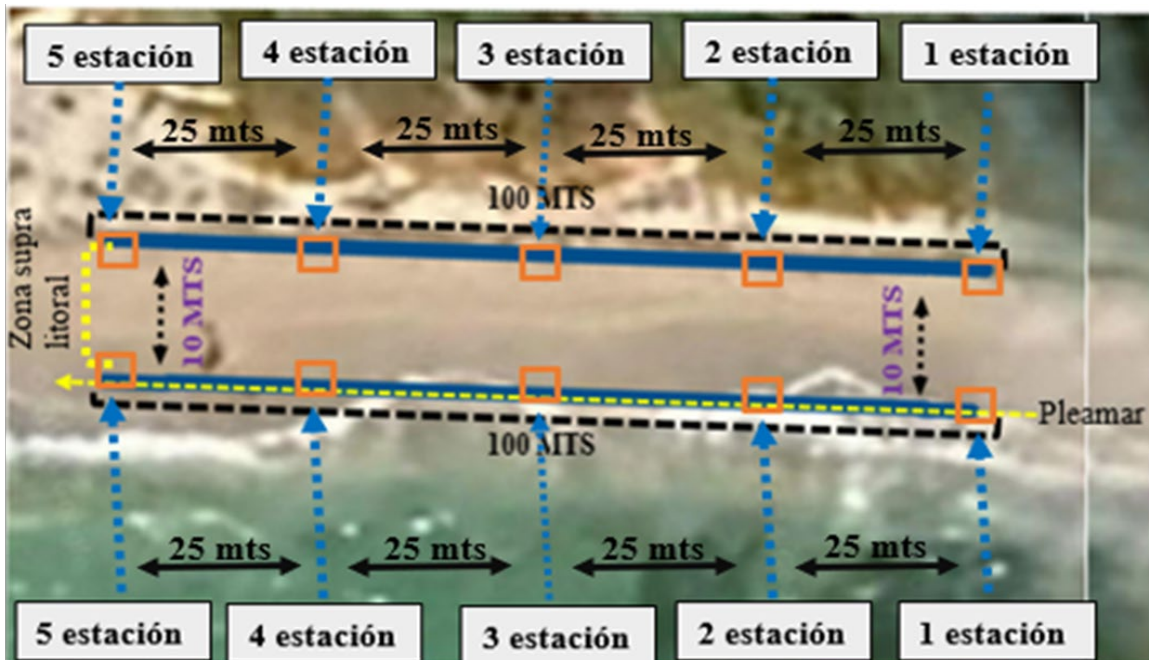
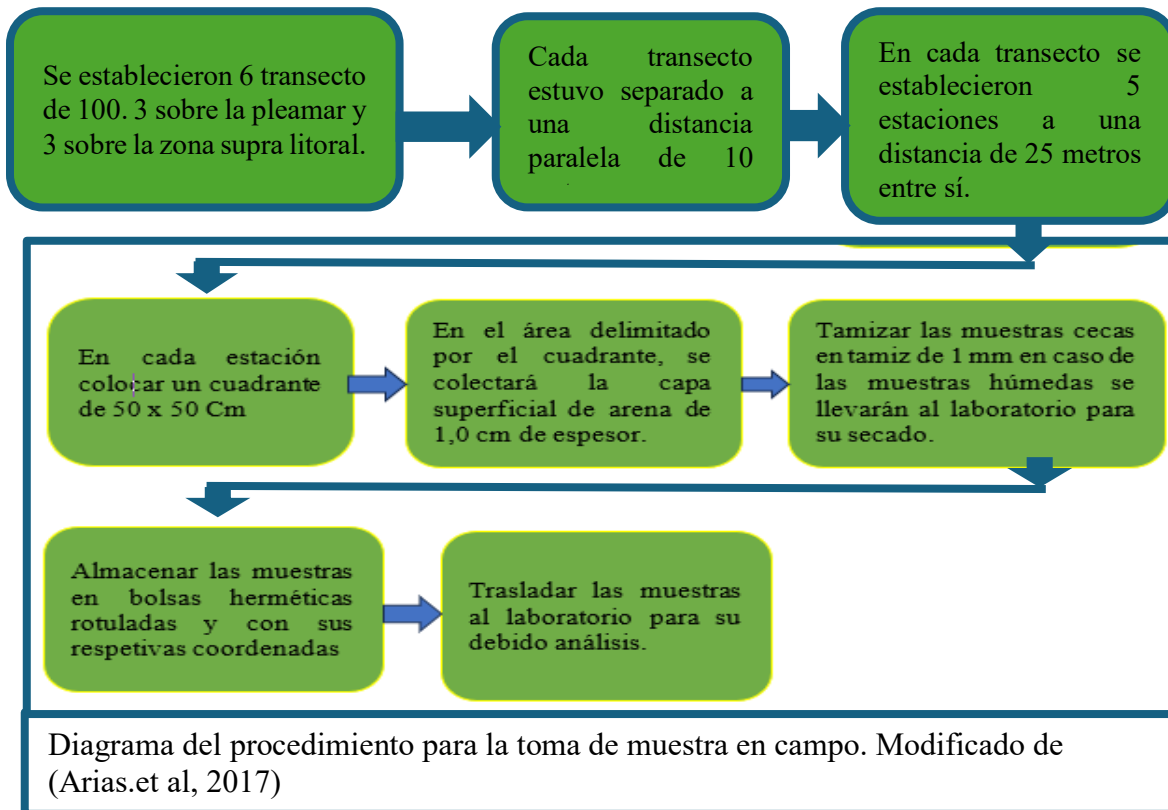


Figura ilustrativa que muestra de la distribución de estaciones por transecto

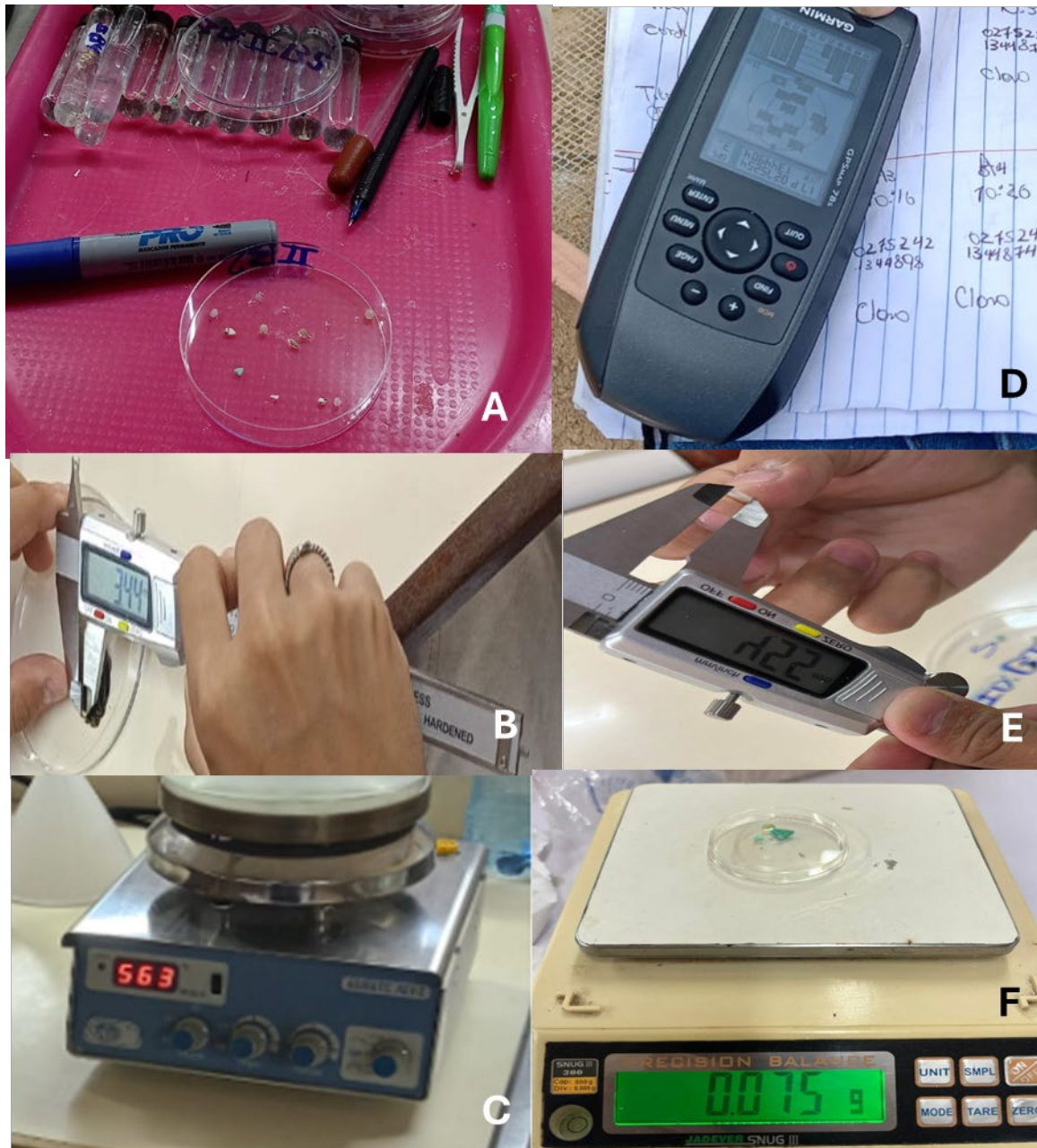
Anexo: 1- Material de soporte grafico (, B, C y D) relacionado a la contextualización ambiental de la zona de muestreo en (Pic-Nic Beach).



Anexo: 2- Material de soporte grafico (A, B, C, y D), relacionado a los procesos de clasificación de los microplásticos en laboratorio.



Anexo: 3- Material gráfico (A, B, C, D, E, y F), de los instrumentos



**Anexo: 4 Datos primarios**

El presente anexo constituye el soporte fundamental y la evidencia primaria de los hallazgos reportados en el Capítulo IV (Resultados) y discutidos en el Capítulo V. Su inclusión asegura la transparencia y la trazabilidad de los datos. Aquí se exponen las tablas de datos sin procesar del conteo de microplásticos, detallando el registro individual de las partículas analizadas por muestra, zona y morfología. Adicionalmente, se incluye el proceso de consolidación de datos que sustenta los totales de partículas.

Variable	Zona de pleamar			Zona supra litoral		
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona I	Zona II	Zona III
<1 mm	1	11		240	53	93
1-2 mm		3		22	9	1
>2-3 mm		15		85	66	12
>3-4 mm		2		143	105	15
>4-5 mm		5		135	24	10

Variable	Zona de pleamar			Zona supra litoral		
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona I	Zona II	Zona III
Negro				15	9	
Blanco		10		254	95	49
Trasparente		2		119	55	
Rojo				3		
Amarillo		2			8	
Verde		13		45	32	
Azul	1	8		67	35	4
Otros		1		113	32	78

Variable	Zona de pleamar			Zona supra litoral		
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona I	Zona II	Zona III
Fragmento		10		397	146	53
Fibra					1	20
Espuma		15		78	57	35
Laminas	1			37	7	24
Pellets				3	19	
Granulos		11		94	42	

Variable	Zona de pleamar			Zona supra litoral		
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona I	Zona II	Zona III
Cilindrica				20	8	20
Paralelepípedos	1			37	8	23
Esferas		4		117	47	1
Cubos				25	2	
Prismas		8		32	37	1
Amorfas		24		375	174	86