

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL BAHÍA BLANCA**



**TESIS: CARRERA DE MAESTRÍA EN  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DETECCIÓN Y MONITOREO DE  
MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS  
COSTEROS DE MARISMAS DE LA COSTA  
NORTE DEL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA**



**Tesista: Lic. Guadalupe Muriel Alvarez**

**Tutor: Dr. Marcelo Pereyra**

**Año 2020**



**DEDICATORIA**

*A Larita, mi hija, que me acompañó en la toma de muestras y el trabajo de laboratorio desde el momento de su concepción, y aún lo hace...*

*Al Dr. Marcelo Pereyra, cuya paciencia y acompañamiento fueron de gran importancia, ya que este trabajo se efectuó en el transcurso de momentos muy duros de mi vida.*

*A Ariana Pezzutti, Jorge Patoco, Damián Galera, Rodolfo Sarria, a mi familia y amigos, que me alentaron siempre a seguir adelante con mis sueños, pese a los avatares de la vida.*

## ÍNDICE

<b>I - RESUMEN</b>	<b>6</b>
<b>II - LISTA DE CUADROS</b>	<b>7</b>
<b>III - LISTA DE IMÁGENES / FOTOGRAFÍAS / GRÁFICOS</b>	<b>9</b>
<b>IV - GLOSARIO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS</b>	<b>17</b>
<b>V - INTRODUCCIÓN</b>	<b>18</b>
<b>VI - OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TESIS</b>	<b>20</b>
<b>VII - HIPÓTESIS DE LA TESIS</b>	<b>20</b>
<b>VIII - ESTRUCTURA DE LA TESIS</b>	<b>20</b>
<b>IX - METODOLOGÍA</b>	<b>21</b>
<b>X - ACOTAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>22</b>
<b>CAPÍTULO 1 - MARCO TEÓRICO</b>	<b>24</b>
<b>1.1 LOS PLÁSTICOS</b>	<b>25</b>
1.1.1 TIPOS DE PLÁSTICOS	25
1.1.2 LOS BIOPLÁSTICOS Y TERMINOLOGÍAS ASOCIADAS	27
1.1.3 ADITIVOS	28
1.1.4 PRODUCCIÓN Y DEMANDA DE PLÁSTICOS	29
1.1.5. MARCO LEGAL	31
<b>1.2. LOS MICROPLÁSTICOS</b>	<b>37</b>
1.2.1 LOS MICROPLÁSTICOS EN EL AMBIENTE MARINO	38
1.2.2 ORIGEN DE LOS MICROPLÁSTICOS EN EL AMBIENTE MARINO	41
1.2.3 LOS PLÁSTICOS COMO CONTAMINANTES EN EL MEDIO MARINO	42
1.2.4 DEGRADABILIDAD DE LOS PLÁSTICOS EN EL MEDIO MARINO	44
1.2.5 IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN CON MICROPLÁSTICOS EN EL MEDIO MARINO	48
<b>1.3 LAS MARISMAS COMO AMBIENTES COSTEROS RECEPTORES DE MICROPLÁSTICOS</b>	<b>56</b>
1.3.1 EL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA COMO CASO DE ESTUDIO	61
<b>1.4 TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS</b>	<b>64</b>
1.4.1 DESAFÍOS TÉCNICOS EN LA DETECCIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN AMBIENTES COSTEROS DE MARISMAS	66
<b>1.5 ESTADO DEL ARTE</b>	<b>67</b>
<b>CAPÍTULO 2 - DETECCIÓN Y MONITOREO</b>	<b>78</b>
<b>2.1 LA BIOCOPLEJIDAD EN EL MONITOREO AMBIENTAL (ADAPTADO Y TRADUCIDO DE ARTIOLA ET, AL. 2004)</b>	<b>79</b>
2.1.1 PRINCIPALES FACTORES AMBIENTALES EN EL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA	80
<b>2.2 EMISIONES DE MATERIALES PLÁSTICOS EN LA ZONA COSTERA</b>	<b>88</b>

2.2.1 TIPOS DE PLÁSTICOS _____	88
2.2.2 TAMAÑOS DE MICROPLÁSTICOS _____	89
<b>2.3 DEFINICIÓN DE SITIOS PARA EFECTUAR LA TOMAS DE MUESTRAS ____</b>	<b>90</b>
2.3.1 DISPOSICIÓN FÍSICA DE LA TOMA DE MUESTRAS EN LA ZONA COSTERA _____	93
2.3.2 EL FACTOR TIEMPO EN EL MONITOREO _____	96
2.3.3 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS _____	97
<b>2.4 DESARROLLO DE LA TÉCNICA PARA LA SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS LARGE DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS COSTEROS DE MARISMAS SALADAS DEL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA _____</b>	<b>98</b>
2.4.1 ENSAYO N° 1: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LA NOAA _____	99
2.4.2 ENSAYO N° 2: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MARIE-THERES NUELLE ET AL., 2014 _____	106
2.4.3 ENSAYO N° 3: TÉCNICA COMBINADA CON AGUA DE LA NOAA Y SEPARACIÓN POR REBASE _____	113
2.4.4 ENSAYO 4: SEPARACIÓN EN CONO IMHOFF CON TAMIZADO PREVIO _____	121
<b>2.5 PROTOCOLO DE LABORATORIO PARA LA SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS LARGE DE MUESTRAS DE SEDIMENTO COSTERO DE MARISMAS DEL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA (MARISMA SALADA) _____</b>	<b>137</b>
2.5.1 DIAGRAMA DE FLUJOS PARA LA SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS LARGE DE SEDIMENTOS COSTEROS DE MARISMAS SALADAS _____	138
2.5.2 ELEMENTOS NECESARIOS: _____	139
2.5.3 CONSIDERACIONES GENERALES _____	140
2.5.4 CONSIDERACIONES PARA LA TOMA DE MUESTRAS _____	140
2.5.5 (1) PREPARACIÓN DE LA MUESTRA _____	142
2.5.6 (2) TAMIZADOS SUCESIVOS _____	144
2.5.7 (3) PRIMER SEPARACIÓN POR DENSIDADES _____	149
2.5.8 (4) SEGUNDA SEPARACIÓN POR DENSIDADES _____	153
2.5.9 (5) SEPARACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS _____	155
2.5.10 APÉNDICE: FOTOGRAFÍAS ORIENTATIVAS PARA LA SEPARACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS _____	156
<b>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____</b>	<b>167</b>
<b>3.1 MUESTREOS PRELIMINARES _____</b>	<b>167</b>
3.1.1 SITIO 1 - MUESTREO PRELIMINAR EN ARROYO PAREJA: _____	169
3.1.2 SITIO 2 - MUESTREO PRLIMINAR EN ZONA FRANCA – GALVÁN _____	170
3.1.3 SITIO 3 - MUESTREO PRELIMINAR EN BASE NAVAL BATERÍAS (BNIM) _____	172
<b>3.2 RESULTADOS DE LOS MUESTREOS PRELIMINARES _____</b>	<b>174</b>
3.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS MUESTRAS _____	174
3.2.2 CONTEO DE MICROPLÁSTICOS _____	175



<b>3.2.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS MUESTREOS PRELIMINARES</b>	<b>179</b>
3.2.3.1 ANÁLISIS POR TIPOS DE MICROPLÁSTICOS	182
3.2.3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE MICROPLÁSTICOS SECUNDARIOS CON MACRO RESIDUOS PLÁSTICOS	184
3.2.3.3 ANÁLISIS DE LOS MICROPLÁSTICOS PRIMARIOS	187
<b>3.2.4 CONCLUSIONES DE LOS MUESTREOS PRELIMINARES</b>	<b>190</b>
<b>3.3 MUESTREO 2 EN ARROYO PAREJA</b>	<b>191</b>
3.3.1 RESULTADOS	194
3.3.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	195
3.3.2.1 VARIABILIDAD EN LA DENSIDAD DE LAS MUESTRAS	195
3.3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS	196
<b>3.4 MUESTREO 3: ISLA EMBUDO</b>	<b>205</b>
3.4.1 RESULTADOS:	209
3.4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	210
3.4.2.1 VARIABILIDAD EN LA DENSIDAD DE LAS MUESTRAS	210
3.4.2.2 CUANTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS	211
<b>3.5 DISCUSIÓN</b>	<b>216</b>
<b>CAPÍTULO 4 - CONCLUSIONES</b>	<b>220</b>
<b>CAPÍTULO 5 - BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>224</b>
<b>ANEXO I: CENSO DE RESIDUOS DE LA COSTA ATLÁNTICA BONAERENSE</b>	<b>233</b>

## **I - RESUMEN**

La problemática ambiental de los microplásticos en ambientes marinos (o de transición como son las costas) es relativamente nueva, y se encuentra atravesando una etapa de desarrollo científico, tanto de las metodologías analíticas de identificación y cuantificación, como de los procesos de tomas de muestras.

Vivimos en una sociedad de consumo, donde el plástico es el medio de embalaje, conservación, y parte constitutiva de la mayoría de los productos que consumimos a diario. La utilización de este material no renovable, en forma de descartables de un solo uso, no hizo más que magnificar el consumo excesivo e innecesario de este precioso material, y de acentuar su presencia en el medio marino y costero.

Las consecuencias de la presencia de éstos polímeros en el medio marino y costero son inquietantes, y algunas de ellas apenas se conocen.

Al momento del desarrollo y elaboración de esta tesis, no existen en Argentina estudios de microplásticos en ambientes costeros, por lo que éste trabajo no sólo es pionero en la temática sino que desarrolla una nueva técnica de laboratorio para poder extraerlos de muestras de ambientes costeros de marismas.

En esta tesis se abordan detalles respecto a la técnica de toma de las muestras en los ambientes costeros de marismas, realizando un análisis de los factores ambientales que interactúan en este sitio y efectuando un sondeo preliminar que abarca sectores de la boca, centro y cabecera del Estuario de Bahía Blanca. Además, como se comentó en el párrafo precedente, se expone una nueva forma de extraer los microplásticos de estas muestras tan particulares. Por último, de los microplásticos extraídos de dichas muestras se efectúa un análisis de los materiales obtenidos y un análisis estadístico, que permiten abordar a conclusiones preliminares para este particular sitio de Argentina.

## II - LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Clasificación de los aditivos plásticos según su función (Beltrán y Marcilla, 2012).	28
Cuadro 2: Clasificación de los aditivos plásticos según su constitución química (UNEP, 2016)	28
Cuadro 3: Clases de plásticos, gravedad específica, porcentaje de producción al año 2007, y productos y orígenes típicos.	38
Cuadro 4: Registros de búsqueda de publicaciones nacionales, con las palabras clave “microplástico”, “microplastic”, “micro plástico”, “fragmentos plásticos”, y “micro residuos plásticos”. Elaboración propia.	70
Cuadro 5: Resultados de las mediciones Registro N°1 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.	124
Cuadro 6: Resultados de las mediciones Registro N° 2 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.	127
Cuadro 7: Resultados de las mediciones Registro N° 3 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.	129
Cuadro 8: Resultados de las mediciones Registro N° 4 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.	131
Cuadro 9: Resultados de las mediciones Registro N° 5 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.	133
Cuadro 10: Registros del relevamiento preliminar en Arroyo Pareja.	176
Cuadro 11: Registros del relevamiento preliminar en la Base Naval Baterías.	177
Cuadro 12: Registros del relevamiento preliminar en Zona Franca, Puerto Galván.	178
Cuadro 13: Resultados del Censo de Residuos de la Costa Atlántica Bonaerense, Arroyo Pareja, Año 2018. Información provista por la ONG HAPIC. Clasificados según microplásticos secundarios.	184
Cuadro 14: Elaboración propia. Detalle de los sectores muestreados en Isla Cantarelli (muestras 1 a 19 inclusive)	191
Cuadro 15: Elaboración propia. Registros del relevamiento efectuado en Arroyo Pareja e Isla Cantarelli.	194
Cuadro 16: Resultados del Censo de Residuos de la Costa Atlántica Bonaerense, Arroyo Pareja, Año 2019. Información provista por la ONG HAPIC. Clasificados según microplásticos secundarios.	199



Cuadro 17: Elaboración propia. Adaptación de la publicación de la Tabla N° 10 de la publicación de Besley. A et al. 2016.	202
Cuadro 18: Elaboración propia. Cantidad de Microplásticos (MP) cada 50 grs de muestra recolectada de la costa de la marisma de Arroyo Pareja e Isla Cantarelli.	203
Cuadro 19: Elaboración propia. Registros del relevamiento efectuado en la Isla Embudo, Estuario de Bahía Blanca.	209
Cuadro 20: Elaboración propia. Cantidad de Microplásticos (MP) cada 50 grs de muestra recolectada de la costa de la marisma de la Isla Embudo.	214
Cuadro 21: Elaboración propia. Resultados de los censos e Residuos de la Costa Atlántica Bonaerense. Adaptación de los datos provistos por la ONG HAPIC, para los años 2016 a 2019.	234



### III - LISTA DE IMÁGENES / FOTOGRAFÍAS / GRÁFICOS

Imagen 1: Extraída de Van Cauwenberghe, 2015: El tamaño importa. Sugerencia para la nomenclatura de los microplásticos basada en el tamaño, como la propone el Subgrupo Técnico de Residuos Marinos de Europa, 2013. (...)	23
Imagen N° 2: Tendencias en la producción mundial de plásticos (extraída de UNEP, 2016).	29
Imagen N° 3: Demandas de plásticos en Europa según los distintos sectores de la industria (extraído de Plastics Europe, 2016).	30
Imagen N° 4: Principales campos de aplicación de los plásticos, según los tipos de polímeros (extraído de Plastics Europe, 2016).	31
Imagen N° 5 (Extraída de UNEP, 2016): Microplásticos primarios (...)	39
Imagen N° 6: LDPE expuesto a un meteorómetro durante 800 horas. Extraída de (Andrady, 2011).	45
Imagen N° 7: Extraída de Stolte, 2015: Panel izquierdo: partículas ingeridas de microplásticos en tejidos de moluscos producidos para consumo humano (Van Cauwenberghe & Janssen 2014). (...)	52
Imagen N° 8: Permeabilidad constante de núcleos sedimentarios artificialmente construidos, con un tamaño de grano estandarizado y variando la composición de los fragmentos plásticos (en peso). (...)	53
Imagen N° 9: Propiedades aislantes del plástico en núcleos sedimentarios construidos artificialmente (...)	54
Imagen 10: Distribución de vegetación y resaca en la zona utilizada como caso de estudio: Humedal Arroyo Pareja – Isla Cantarelli, Ciudad de Punta Alta. Elaboración propia.	57
Imagen 11: Extraída de Bortolus, 2008: Principal patrón biogeográfico de las marismas del Mar Patagónico y zonas aledañas.	58
Imagen 12: Extraída de Perillo y Piccolo, 2004. Mapa general del Estuario de Bahía Blanca. (...)	60
Imagen 13: Comparación de sedimento costero de una playa arenosa y una marisma. Elaboración propia.	61
Imagen 14, Extraída de UICN 2014: Esta imagen muestra el incremento en el número de publicaciones científicas durante la última década dedicadas a los impactos de los residuos plásticos marinos (...).	67
Imagen 15, Extraída de Van Cauwenberghe et al, 2015: Evolución en las publicaciones vinculadas a “microplásticos en sedimentos” (...)	67

Imagen 16, Extraída de Stolte, 2015: Mapa mundial de todas las mediciones de microplásticos publicadas hasta mediados del 2013, compiladas según Ivar do Sul et al. (2014). (...)	68
Imagen 17: Rosa de los vientos para Bahía Blanca - Izquierda: Frecuencia por direcciones. Derecha: Frecuencia por velocidad. Fuente: Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.	80
Imagen 18: Extraídas de (Piccolo y Perillo, 1990) (...)	84
Imagen 19: Extraída de Perillo et al., 2001: Distribución de la temperatura media en la línea media del canal principal del estuario de Bahía Blanca.	85
Imagen 20: Extraída de Bértola, 2016, partes de la playa.	87
Imagen 21: Elaboración propia. Imagen Satelital Google Earth. Ubicación de los puntos para la toma de muestras (amarillo) en el estuario de Bahía Blanca, y sitios de referencia (verde).	92
Imagen 22: Elaboración propia. Grilla para muestreo sistemático en el intermareal.	93
Imagen 23: Elaboración propia. Fotografía del volumen de una muestra de 400 grs de sedimentos costeros de marismas del Estuario de Bahía Blanca.	100
Imagen 24: Elaboración propia. Fotografía de muestra de sedimento costero de marisma, en una solución 5M de NaCl. Proceso de flotación en Cono Imhoff.	101
Imagen 25: Elaboración propia. Fotografías con distintos acercamientos del tamiz de 5 mm de abertura de malla, con los residuos de costa de marisma y microplásticos retenidos en él. (...)	102
Imagen 26: Elaboración propia. Fotografía con distintos acercamientos del tamiz de 1 mm de abertura de malla, con los residuos de costa de marisma y microplásticos retenidos en él. (...)	103
Imagen 27: Elaboración propia. Fotografía del proceso de WPO calentándose la solución a 75 °C durante 30 min.	104
Imagen 28: Elaboración propia. Fotografía del resultado del proceso de WPO agregándole 20ml de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 50%. Puede observarse la coloración amarronada de la solución.	104
Imagen 29: Elaboración propia. Fotografía del resultado del proceso de WPO agregándole 20ml de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 50%. Puede observarse que los residuos orgánicos no se degradaron.	105
Imagen 30: Elaboración propia. Fotografía del volumen ocupado por 100 grs de muestra.	107

Imagen 31: Elaboración propia. Fotografías del proceso: Izquierda: Calentamiento de la muestra en mechero. Centro: Proceso de enfriado de la muestra. Derecha: Resultado del proceso de separación de los microplásticos con vestigios de resaca.	109
Imagen 32: Elaboración propia. Fotografías de los resultados obtenidos durante el proceso de degradación del material biogénico en una solución al 35% de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> durante una semana, se muestran a continuación día a día.	110
Imagen 33: Elaboración propia. Fotografía del resultado de la degradación de la muestra con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 35% durante 7 días.	111
Imagen 34: Elaboración propia. Fotografía de la adaptación de una botella de vidrio para la separación por densidades.	113
Imagen 35: Elaboración propia. Fotografías Izquierda, material con flotabilidad positiva en salmuera de la NOAA, llevada a mechero. Derecha, material decantado en salmuera de la NOAA luego de una semana de reposo.	114
Imagen 36: Elaboración propia. Fotografías Izquierda, lavado del material decantado en salmuera de la NOAA, con agua corriente, en el tamiz de 1mm de abertura de malla.(...)	115
Imagen 37: Elaboración propia. Fotografía de la construcción de las muestras artificiales para el ensayo comparativo entre el agua de mar y la salmuera de la NOAA	116
Imagen 38: Elaboración propia. Fotografía de vaso de precipitados de la izquierda, contiene una muestra luego de la ebullición y posterior decantación de los materiales en agua de mar. Derecha, mismo proceso pero con utilizando salmuera de la NOAA.	116
Imagen 39. Elaboración propia. Fotografía Izquierda, microplásticos extraídos de la muestra artificial utilizando agua de mar. Derecha, microplásticos extraídos utilizando salmuera de la NOAA.	117
Imagen 40: Elaboración propia. Fotografía Izquierda, resultado de la extracción de microplásticos de una muestra artificial utilizando agua de mar. (...)	118
Imagen 41: Elaboración propia. Fotografías del proceso de tamizado sucesivo. Izquierda, tamizado en malla >1cm. Centro, tamizado en malla 5mm. Derecha, tamizado en malla 1mm.	118
Imagen 42: Elaboración propia. Fotografía de la ubicación del vaso de precipitados, para el procedimiento de rebase	119
Imagen 43: Elaboración propia. Fotografía del procedimiento de separación por rebase. Obsérvese que se tuvo que recurrir al uso de una varilla de vidrio, ya que el material se eleva en bloque y no permite una	119

separación eficaz.

Imagen 44: Elaboración propia. Fotografías Izquierda: ensayo 1 en Cono Imhoff sin tamizar (la fracción sedimentable ocupó aproximadamente 100 ml) y Derecha: ensayo 4 en Cono Imhoff con tamizado previo (la fracción sedimentable ocupó menos de 40 ml)	122
Imagen 45: Elaboración propia. Registro fotográfico del Registro N° 1 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.	125
Imagen 46: Elaboración propia. Registro fotográfico del Registro N° 2 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.	128
Imagen 47: Elaboración propia. Registro fotográfico del Registro N° 3 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.	130
Imagen 48: Elaboración propia. Registro fotográfico del Registro N° 4 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.	132
Imagen 49: Elaboración propia. Registro fotográfico del Registro N° 5 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.	134
Imagen 50: Elaboración propia. Diagrama de flujos para la separación de microplásticos large de sedimentos costeros de marismas del Estuario de Bahía Blanca.	138
Imagen 51: Elaboración propia. Fotografía del aspecto físico de la resaca costera del Estuario de Bahía Blanca.	140
Imagen 52: Elaboración propia. Fotografía de la Extracción de muestras utilizando un molde cuadrado. Se clava el molde en el sedimento, y se extrae del interior del mismo la muestra con ayuda de una cuchara metálica.	140
Imagen 53: Elaboración propia. Fotografía del recorte de la resaca de los laterales del molde para extraer las muestras, con un cuchillo.	141
Imagen 54: Elaboración propia. Fotografía de una muestra bruta seca. En este caso, es de estructura arenosa.	143
Imagen 55: Elaboración propia. Fotografía de una muestra bruta seca. En este caso, se observa abundante resaca.	143
Imagen 56: Elaboración propia. Fotografía del material retenido en el tamiz de 1000 $\mu$ .	145
Imagen 57: Elaboración propia. Fotografía de la remoción del material retenido en las aberturas del tamiz de 1000 $\mu$ .	145
Imagen 58: Elaboración propia. Fotografía de materiales secos con alto contenido en arcillas. Puede observarse la gran cohesión y dureza de los materiales.	146

Imagen 59: Elaboración propia. Fotografía de la disgregación de las arcillas con agua de mar.	146
Imagen 60: Elaboración propia. Fotografías del tamizado húmedo en malla de 5660 $\mu$ .	147
Imagen 61: Elaboración propia. Fotografía del material retenido en la malla de 1000 $\mu$ , se lo seca al sol dentro del mismo tamiz.	148
Imagen 62: Elaboración propia. Izquierda: esquema del corte de la manga, la línea muestra la ubicación del alambre galvanizado, y de la costura de la manga. Derecha: fotografía del corte de la manga, y ubicación del alambre con doblez.	149
Imagen 63. Elaboración propia. Fotografía de la ubicación de la manga dentro del Cono Imhoff.	149
Imagen 64: Elaboración propia. Fotografía con descripción del funcionamiento del separador por densidades.	150
Imagen 65: Elaboración propia. Fotografía del comportamiento del material en el sedimentador por densidades.	151
Imagen 66: Elaboración propia. Fotografías del proceso de remoción de los materiales con flotabilidad positiva. (...)	153
Imagen 67: Elaboración propia. Fotografía del volumen de la muestra con flotabilidad positiva.	154
Imagen 68: Elaboración propia. Fotografías al microscopio de pellets, sobre hoja milimetrada.	156
Imagen 69: Elaboración propia. Fotografías al microscopio de microplásticos secundarios, sobre hoja milimetrada.	159
Imagen 70: Elaboración propia. Fotografías al microscopio de materiales que suelen encontrarse durante el proceso de separación de microplásticos, de sedimentos costeros del Estuario de Bahía Blanca.	164
Imagen 71: Elaboración propia. Grilla para la toma de muestras sistemáticas, con codificación.	168
Imagen 72: Elaboración propia. Fotografía del trazado de la línea A en el intermareal en Arroyo Pareja.(...)	169
Imagen 73: Elaboración propia. Fotografía del aspecto del intermareal en Zona Franca, Galván.	170
Imagen 74: Elaboración propia. Fotografía de la berma de tormentas en Zona Franca, Galván.	171

Imagen 75: Elaboración propia. Fotografía de las acumulaciones de microplásticos en la berma de tormentas sin resaca. Base Naval Baterías.	172
Imagen 76: Elaboración propia. Fotografía del proceso de toma de muestras en el sector de baja mar, BNIM.	172
Imagen 77: Elaboración propia. Fotografía del proceso de marcado de la grilla sistemática para la toma de muestras en la BNIM. (...)	173
Imagen 78: Elaboración propia. Registro fotográfico del aspecto físico de las muestras, según el sector en el que fue extraída.	174
Imagen 79: Elaboración propia. Gráfico lineal comparativo de la distribución de los microplásticos en Arroyo Pareja, según los distintos sectores.	179
Imagen 80: Elaboración propia. Gráfico lineal comparativo de la distribución de los microplásticos en la Base Naval Baterías, según los distintos sectores.	179
Imagen 81: Elaboración propia. Gráfico lineal comparativo de la distribución de los microplásticos en Zona Franca, Puerto Galván, según los distintos sectores.	179
Imagen 82: Elaboración propia. Fotografía de la berma de tormentas en BNIM luego de una sudestada.	180
Imagen 83: Elaboración propia. Gráfico de barras comparativo de cantidades de microplásticos por litro de muestra, según sectores A1, B1 y C1 de los distintos puntos de toma de muestra del Estuario de Bahía Blanca.	181
Imagen 84: Elaboración propia. Gráficos de torta porcentuales, según composición de microplásticos. Superior Arroyo Pareja, medio Base Naval Baterías, inferior Zona Franca, Galván.	182
Imagen 85: Elaboración propia. Gráficos de torta para comparación porcentual de los macro residuos plásticos y microplásticos secundarios, relevados en la zona de Arroyo Pareja, en el año 2018.	185
Imagen 86: Elaboración propia. Fotografías de la comparación de los microplásticos primarios hallados en el muestreo preliminar del Estuario de Bahía Blanca.	187
Imagen 87: Elaboración propia. Fotografías de las vistas en detalle de los pellets. Obsérvese los tamaños de los microplásticos, hay presencia de algunos muy pequeños (cerca de 1mm de tamaño).	188
Imagen 88: Elaboración propia. Muestra de la Base Naval Baterías, sin presencia de pellets de tamaño pequeño.	189

Imagen 89: Elaboración propia. Imagen Satelital de Google Earth indicando el Sitio de Muestreo en la parte central del estuario de Bahía Blanca: Arroyo Pareja, con una marca de posición verde.	192
Imagen 90: Elaboración propia. Imagen Satelital de Google Earth con vista general de los puntos de muestreo (31 en total) en el Sitio Arroyo Pareja.	192
Imagen 91: Elaboración propia. Imagen satelital con el detalle de la distribución de las muestras tomadas en el sector costero de Arroyo Pareja, sitio sin afloramientos rocosos.	193
Imagen 92: Elaboración propia. Imagen satelital de Google Earth con el detalle de la distribución de las muestras tomadas en la Isla Cantarelli, sectores Norte, Este y Oeste.	193
Imagen 93: Elaboración propia. Imagen satelital de Google Earth con el detalle de la distribución de las muestras tomadas en la Isla Cantarelli, sector Sur.	193
Imagen 94: Elaboración propia. Gráfico de dispersión que muestra la distribución de los microplásticos (totales) en las distintas muestras obtenidas de Arroyo Pareja	197
Imagen 95: Elaboración propia. Gráfico de tortas con distribución porcentual por tipos de microplásticos, muestras extraídas de Arroyo Pareja e Isla Cantarelli.	198
Imagen 96: Ídem Imagen 84. Gráfico de tortas con distribución porcentual por tipos de microplásticos, muestreo preliminar en Arroyo Pareja.	198
Imagen 97: Elaboración propia. Gráficos de torta para comparación porcentual de los macro residuos plásticos y microplásticos secundarios, relevados en la zona de Arroyo Pareja, en el año 2019.	200
Imagen 98: Elaboración propia. Toma de muestras en Isla Embudo.	205
Imagen 99: Elaboración propia. Imágenes satelitales de Google Earth. Superior: Ubicación de la Isla Embudo en el Estuario de Bahía Blanca (marca de posición verde). (...)	207
Imagen 100: Elaboración Propia. Imagen Satelital de Google Earth con vista general de los puntos de muestreo preliminares, Isla Embudo, Estuario de Bahía Blanca. Obsérvese la geometría de la costa en la zona de las muestras 1 a 4 (vértice de un ángulo).	208
Imagen 101: Elaboración propia. Gráfico de dispersión que muestra la distribución de los microplásticos (totales) en las distintas muestras obtenidas de la Isla Embudo.	211
Imagen 102: Elaboración propia. Gráfico de tortas con distribución	212



porcentual por tipos de microplásticos, muestreo de Isla Embudo.





#### **IV - GLOSARIO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS**

- **ABS:** Acrilonitrilo Butadieno Estireno.
- **BNIM:** Base Naval Baterías.
- **GESAMP:** Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection
- **HDPE:** (O PEAD en español), Polietileno de Alta Densidad.
- **MERI:** Marine & Environmental Research Institute (EE.UU)
- **MP:** Microplástico
- **NOAA:** National Oceanic and Atmospheric Administration (EE.UU)
- **PA:** Poliamida.
- **PAH:** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (HAP en español, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)
- **PE:** Polietileno
- **PET:** Polietileno Tereftalato
- **POP:** Persistent Organic Pollutants (COP en español: Contaminantes Orgánicos Persistentes).
- **PP:** Polpropileno
- **PS:** Poliestireno
- **PUR:** Poliuretano Reticulado.
- **PVC:** Policloruro de Vinilo
- **UICN:** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
- **UNEP:** United Nations Environmental Programme (Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente).

## **V - INTRODUCCIÓN**

Vivimos rodeados de un maravilloso material, un polímero que cambió nuestras vidas y que marcó una huella en el planeta, en nuestra era, la era del plástico. Sin ir más lejos, en este momento si el lector se detiene un momento y levanta la vista encontrará más objetos plásticos de los que podría imaginar. El plástico está en todos lados, vivimos inmersos en un mundo donde este material sin precedentes nos permite contar con innumerables comodidades a bajo costo económico, pero a un alto costo ambiental. Es difícil pensar en un mundo sin plásticos, no obstante, como humanidad, deberíamos replantearnos la búsqueda exhaustiva de alternativas a este material, de limitar los productos descartables y de iniciarnos en una seria cultura del reciclaje.

De la misma forma que el plástico se encuentra presente en cada aspecto de nuestras vidas, está colonizando cada compartimento de los ecosistemas marinos. Históricamente el medio marino ha sido reservorio de muchos de los residuos que generaron las ciudades, en especial de aquellas asentadas en zonas costeras, y aunque los primeros reportes de plásticos en el ambiente marino datan de 1970 (Stolte, 2014), no fue hasta hace unos 20 años que la comunidad científica comenzó a entender y poner énfasis en este problema que se desencadena a escala global (Ballent, 2016). De hecho, hace tan solo 5 años que los microplásticos fueron definidos como tales (NOAA, 2015; Van Cauwenberghe et al, 2015)

Las particularidades del medio marino, tales como estabilidad térmica, poco ingreso de la luz solar, poca presencia de oxígeno y crecimiento de biofilm en la superficie de los materiales plásticos, hacen que los polímeros persistan en el ambiente tiempos (que aún no se conocen con exactitud) que varían de cientos a miles de años (Barnes et al., 2009). Se considera que (excepto por los materiales que han sido incinerados) todo el plástico convencional que alguna vez ha ingresado en el medioambiente, aún permanece sin mineralizarse ya sea como el ítem en su totalidad, o como fragmentos (Barnes et al., 2009). Esto que favorece el desplazamiento de los polímeros grandes distancias, y favorece también una fragmentación a nivel micrométrico de los plásticos que posibilita la ingestión por parte de la biota marina. Los microplásticos son contaminantes del medio marino, y la dispersión de estos polímeros por todo el ecosistema, genera consecuencias en la fauna, ya que al ser ingeridos los afecta de diversas formas: desde bloqueando los apéndices alimentarios, hasta generando pseudo saciedad o micro lesiones internas; los aditivos químicos interactúan de diversas formas con los

organismos (Stolte, 2014), de la misma forma que aquellas sustancias químicas que aunque en niveles traza en el mar, tienden a acumularse en la superficie de los microplásticos y luego se bioacumulan y biomagnifican en la fauna marina (Barnes et al., 2009). También los microplásticos, por estar presentes en toda la columna de agua, ingresan a la fauna a través de las branquias. Además la acumulación de microplásticos en el sustrato costero afecta las propiedades físicas de la arena (transmisión y conservación de calor, humedad, granulometría, entre otros) (Carson et al., 2011).

Luego de efectuarse una revisión bibliográfica pormenorizada de la problemática de los microplásticos en ambientes marinos y costeros, se observó que no existían estudios en el ambiente costero de la Argentina. Por otra parte, cuando se practicaron diversas pruebas experimentales para implementar las técnicas de extracción de microplásticos en el ambiente del Estuario de Bahía Blanca, se pudo comprobar cuáles eran algunas de las dificultades que lo impedían. En este ambiente, al igual que en muchos sitios de nuestro país, se desarrolla un ecosistema denominado marisma, que se caracteriza por la presencia de vegetación halófila, la cual interfiere con las técnicas de extracción de microplásticos para muestras en ambientes costeros. En este sentido, en esta tesis se ha podido desarrollar una metodología que no sólo se adapta a estos particulares ambientes costeros, sino que por su sencillez y bajo costo, permite su implementación por parte de personal no especializado, en laboratorios de baja complejidad (en comparación con otras metodologías ya desarrolladas en la bibliografía de referencia).

Además de haber desarrollado una nueva técnica de laboratorio, se implementó en el Estuario de Bahía Blanca como área de estudio, y sitio de gran relevancia ecológica, arribándose a conclusiones y observaciones muy interesantes y novedosas. Esta tesis se constituye como una de las primeras contribuciones científicas de la Argentina, en detección de microplásticos de ambientes costeros de marismas.

Desde el punto de vista del monitoreo, cuestión de alta complejidad en las ciencias ambientales, se arribaron a importantes conclusiones y observaciones a tener en cuenta a futuro. Aún queda mucho por hacer, no obstante se han realizado grandes avances en la materia, y más aún como antecedente en nuestro país.

## **VI - OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TESIS**

- Desarrollar una metodología para la detección y cuantificación de microplásticos large en muestras extraídas de ambientes costeros de marismas.
- Formular principios para efectuar el monitoreo de los microplásticos large en ambientes costeros de marismas del Estuario de Bahía Blanca.
- Evaluar la metodología más adecuada para el monitoreo de microplásticos en zonas costeras de marismas tomando como caso de estudio el Estuario de Bahía Blanca.

## **VII - HIPÓTESIS DE LA TESIS**

Para el desarrollo de esta tesis, se tomaron como base dos hipótesis principales:

- 1- Es posible el desarrollo de una metodología experimental para la separación y cuantificación de microplásticos large de muestras costeras, extraídas de ambientes de marismas saladas del Estuario de Bahía Blanca.
- 2- Un análisis pormenorizado del intermareal, permite definir un criterio riguroso para efectuar la toma de muestras, lo que resulta necesario para el monitoreo de microplásticos en ambientes de marismas saladas del Estuario de Bahía Blanca.

## **VIII - ESTRUCTURA DE LA TESIS**

La memoria de la presente tesis se estructura en cinco capítulos.

En el primer capítulo se recogen los fundamentos teóricos que se han utilizado en el desarrollo de los estudios presentados en esta tesis de magister. Luego de una breve introducción sobre la problemática actual de los microplásticos y del impacto de su uso y consumo no racionales, se realiza una revisión actualizada de las diferentes metodologías para la detección, identificación y cuantificación de microplásticos en ambientes marinos, y se estudia la aplicabilidad de una nueva metodología propuesta en la presente tesis, particularmente para ambientes costeros como el del Estuario de Bahía Blanca.

En el segundo capítulo se presenta el diseño de la metodología experimental desarrollada, y la comparación de esta metodología con otras publicadas en la bibliografía científica especializada en la temática.

En el tercer capítulo se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los sitios de muestreo y globalmente para la zona de estudio seleccionada. Asimismo se realiza un estudio comparativo de los resultados obtenidos con los resultados de otras zonas del mundo. Finalmente se presenta un apartado de discusión de las observaciones registradas para cada uno de los tres primeros capítulos de esta tesis.

El capítulo cuatro presenta las conclusiones generales extraídas de la presente tesis.

El quinto y último capítulo presenta la bibliografía utilizada.

## **IX - METODOLOGÍA**

1. Búsqueda bibliográfica de metodologías de detección de microplásticos en diversos ambientes costeros. Selección de aquellas realizadas en ambientes similares a las marismas.
2. Búsqueda bibliográfica de las condiciones del ambiente costero de la zona del Estuario de Bahía Blanca. Evaluación de su factibilidad a ser utilizada como caso de estudio.
3. Muestreo preliminar no exhaustivo de la zona a ser utilizada como caso de estudio. Análisis visual de las muestras para determinar existencia de microplásticos.
4. Evaluación de la factibilidad de su empleo como caso de estudio.
5. Planificación de los puntos de muestreo, y las metodologías de extracción para determinar datos representativos del caso de estudio.
6. Planificación de la metodología, adaptación de metodología o conjunto de metodologías posibles a ser aplicadas en los ambientes de marismas.
7. Ensayo de las metodologías con el caso de estudio.
8. Resultados.
9. Análisis de los resultados.
10. Conclusiones y discusiones.

Para la determinación del contenido de microplásticos en las muestras de sedimento costero se utilizará una combinación de las siguientes metodologías propuestas en las siguientes fuentes bibliográficas:

- La metodología propuesta por la NOAA: “*Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*” (NOAA Marine Debris Program National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce Technical Memorandum NOS-OR&R-48), año 2015.
- La metodología desarrollada por Nuelle Marie-Theres, Dekiff Jens H., Dominique Remy, y Fries Elke, “*A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments*”, Environmental Pollution N° 184, 161-169, año 2014.

Estas metodologías fueron seleccionadas por ajustarse a la disponibilidad de instrumental de laboratorio, por su sencillez, y porque no se generan residuos peligrosos durante su elaboración (tales como Metatungsteno de litio). Existen muchas otras, pero no se ajustan a estos criterios fundamentales.

El objetivo es que la metodología planteada para las marismas sea fácilmente ejecutable y reproducible por cualquier persona que se interese en la temática, utilizándose para ello elementos disponibles en laboratorios de baja complejidad. Actualmente existe un desarrollo científico incipiente de metodologías asociadas a playas de arena, sin embargo las marismas revisten dificultades metodológicas a la hora de la toma de muestras y monitoreos posteriores. Al mismo tiempo, se espera que los aportes de esta tesis puedan constituirse como punto de partida para monitoreos posteriores, para lo cual se formulará una metodología para el monitoreo de los microplásticos en el caso de estudio. Se espera con ello que las instituciones locales, tales como ONG’s, Universidades, Estudiantes y particulares interesados cuenten con una herramienta para el estudio de los microplásticos.

## **X - ACOTAMIENTO DEL PROBLEMA**

Área de estudio: Costas de marismas saladas en general.

Caso de estudio: Marismas de la Costa Norte del Estuario de Bahía Blanca.

Tipo de muestras: Sedimentos costeros.

Acotamiento en tipos de microplásticos a determinar: se trabajará principalmente con los microplásticos más comunes cuya densidad sea compatible con la metodología de laboratorio, tales como polietileno (densidad entre 0,91 y 0,97 g/ml), polipropileno (0,94 g/ml), y poliestireno (1,05 g/ml).

Acotamiento del tamaño de los microplásticos a determinar: Según la imagen 1, se trabajará en microplásticos, en el rango Large (de 1mm a 5mm).

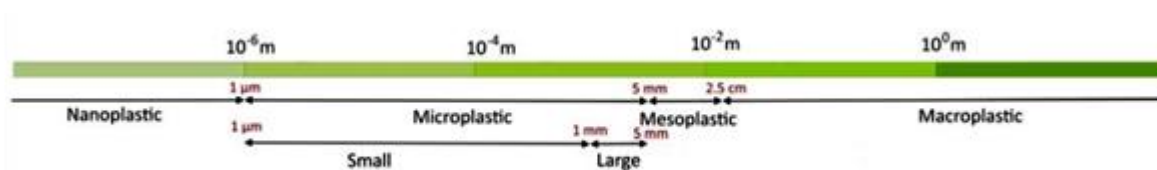


Imagen 1: Extraída de Van Cauwenberghe, 2015: El tamaño importa. Sugerencia para la nomenclatura de los microplásticos basada en el tamaño, como la propone el Subgrupo Técnico de Residuos Marinos de Europa, 2013. El término “microplástico” está compuesto de los microplásticos Small (más pequeños que 1mm) y Large (desde 1mm a 5mm), para diferenciarlos entre las dos definiciones comúnmente utilizadas de microplásticos.



# 1

# MARCO TEÓRICO

---

*“Los microplásticos son la marca del Antropoceno en el medio ambiente marino.”*

**(Costa y Barletta, 2015)**



## 1.1 LOS PLÁSTICOS

La palabra “plástico” proviene del griego “Plastikos”, que hace referencia a un material susceptible de ser modelado o moldeado, es precisamente la maleabilidad del material, o plasticidad en la fabricación, lo que permite que sea moldeado, prensado o extrusionado en una variedad de formas como películas, fibras, placas, tubos, botellas, cajas y muchos más productos, siendo en la actualidad uno de los materiales más versátiles del mercado (Plastics Europe, 2016). Cabe destacar que la única fuente de plásticos es resultado de la producción humana, es decir, que su presencia en el ambiente sólo es atribuible a la actividad antrópica.

Los plásticos se derivan de productos naturales, tales como el petróleo, la celulosa, el carbón, el gas natural y la sal. Los procesos más importantes que se utilizan para fabricar plásticos, son la polimerización y la policondensación, y ambos requieren catalizadores especiales. En un reactor de polimerización, los monómeros, como el etileno o el propileno se unen para formar largas cadenas poliméricas. Cada polímero tiene propiedades diferentes, estructura y tamaño, dependiendo de los distintos tipos de monómeros básicos que los constituyen (Plastics Europe, 2016).

### 1.1.1 TIPOS DE PLÁSTICOS

Aunque los materiales plásticos tienen diversas clasificaciones, en esta tesis se utilizará la clasificación propuesta por Crawford (Crawford y Butterworth-Heinemann, 1999) que se basa en las propiedades más destacadas desde el punto de vista del diseño de piezas y de selección del material para una aplicación determinada.

**-Termoplásticos:** Son polímeros lineales, que pueden estar ramificados o no. Tienen la capacidad de fundirse a altas temperaturas, siendo por lo tanto, reciclables. Si se los compara con los demás tipos de plásticos, los termoplásticos se fabrican y emplean en cantidades muy grandes, siendo los más frecuentes el PE, PP, PS y PVC. Estos son justamente los materiales que se espera se detecten mayoritariamente en el desarrollo de esta tesis, no sólo por su alta producción a nivel mundial, sino porque sus densidades permiten una fácil separación con las metodologías de ensayo que se emplearán.

**-Plásticos ingenieriles (o de altas prestaciones):** Son un grupo de termoplásticos que se caracterizan por poseer unas propiedades mecánicas excepcionalmente buenas. Estos materiales se obtienen por polimerización de monómeros que incorporan anillos de benceno en la cadena del polímero. Estos anillos aromáticos dan rigidez a la cadena y le

confieren temperaturas de fusión muy elevadas (superiores a los 200°C) durante periodos prolongados de tiempo, manteniendo sus propiedades mecánicas. Algunos ejemplos son las poliimidias (PI), poliariletercetonas (PAEK), poliésteres aromáticos (APE) y las polisulfonas (PSU).

**-Termoestables:** Son materiales cuya estructura molecular se encuentra entrecruzada, lo que los hace incapaces de fundirse. Junto con su alta resistencia térmica presentan alta resistencia química, rigidez y dureza superficial, entre otras. Sin embargo, el empleo de estos materiales ha ido disminuyendo en los últimos años, debido a que requieren métodos de transformación lentos, los acabados son pobres, y su coloración es opaca y amarillenta. Los más comunes son los poliuretanos reticulados (PUR) y las resinas de fenol-formaldehído (fenoplastos).

**-Elastómeros:** También llamados cauchos, son generalmente polibutadienos o compuestos que contienen dobles enlaces en la cadena principal de su estructura molecular, de modo que las cadenas de polímero se encuentran enrolladas sobre sí mismas, lo que les confiere gran flexibilidad. Estos materiales son capaces de soportar deformaciones muy grandes recuperando su forma inicial una vez que se elimina el esfuerzo. Aunque tienen buenas propiedades físicas, tienen como desventaja un procesamiento lento, lo que consume grandes cantidades de tiempo y energía.

**-Plásticos compuestos:** Son materiales con muy buenas propiedades mecánicas, elevada dureza y resistencia a la tracción. Están formados por dos componentes inmiscibles que forman dos fases separadas. Constan de una matriz, generalmente de un polímero termoplástico, y de una carga, que suele ser una fibra con muy buena resistencia a la tracción por lo general fibra de vidrio o de carbón. Estos materiales resultan caros y su procesamiento es más complejo que el de otros materiales.

**-Plásticos espumados:** Son por lo general termoplásticos con una estructura celular, que contiene grandes proporciones de celdillas finas llenas de gas. Las propiedades físicas de los materiales resultantes serán intermedias entre las del sólido y las del gas. En estos plásticos, se consiguen importantes reducciones en la densidad, conductividad térmica, propiedades dieléctricas y disipación de energía acústica y mecánica.

**-Cristales líquidos (LCP):** son termoplásticos basados en poliésteres aromáticos, que presentan estructuras altamente ordenadas al menos en una dirección espacial. Esta estructura les confiere propiedades térmicas, mecánicas y ópticas excepcionales.

### 1.1.2 LOS BIOPLÁSTICOS Y TERMINOLOGÍAS ASOCIADAS

El término bioplástico (bio-basado o bio-originado) implica que el polímero ha sido fabricado a partir de una fuente biológica (viva) o renovable, por ejemplo: maíz o caña de azúcar (GESAMP, 2010).

Biodegradable significa que el producto puede ser degradado por organismos vivos, como hongos y bacterias (y eventualmente ser total o parcialmente mineralizado a CO<sub>2</sub> y agua). De hecho, un polímero sólo puede legítimamente denominarse biodegradable cuando se degrada en un compostaje bajo condiciones estándar y dentro de un determinado rango de tiempo. Sin embargo, tales condiciones no se encuentran en el medio ambiente en general, y así, tales polímeros no se biodegradan en un grado significativo en condiciones naturales; especialmente en el medio ambiente marino (GESAMP, 2010).

Ser bio-basado no significa que el material sea biodegradable y a la inversa, ser biodegradable no implica que el material sea bio-basado (GESAMP, 2010).

En esta tesis, se adoptarán las siguientes definiciones para las terminologías asociadas a la degradación de los materiales plásticos:

- **Degradación:** Ruptura parcial o completa de un polímero como resultado de por ejemplo, radiación UV, ataques por el oxígeno, y ataques biológicos. Esto implica una alteración en sus propiedades, como una decoloración, fisuras superficiales, y fragmentación.
- **Mineralización:** En el contexto de la degradación de polímeros, constituye la ruptura completa de un polímero como resultado de una combinación de actividad abiótica y microbiológica, a CO<sub>2</sub>, agua, metano, hidrógeno, amoníaco y otros compuestos inorgánicos simples.
- **Compostable:** Es la capacidad de un polímero de ser biodegradado a elevadas temperaturas, en el suelo, bajo condiciones específicas y ciertas escalas de tiempo, usualmente sólo generadas en compostadores industriales (los estándares para su definición como tales se encuentran en las normas ISO 17088 y ASTM 6400).

- Oxo-degradable: Son polímeros que contienen un pro-oxidante que induce la degradación bajo condiciones favorables. Aún no está comprobado científicamente que se produzca una ruptura completa de los polímeros y su biodegradación.

### 1.1.3 ADITIVOS

Se consideran aditivos aquellos materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica, sin afectar a su estructura molecular. La incorporación de aditivos a plásticos puede alterar considerablemente las propiedades del material. Por ejemplo, en el caso del caucho según los aditivos que se empleen se pueden obtener neumáticos, suelas de zapatillas, colchones, bandas elásticas, gomas de borrar, etc. Los aditivos son importantes en el estudio de microplásticos ya que se comprobó que ejercen efectos en la biota al ingerirse.

Los aditivos pueden clasificarse según su función o su constitución química. A continuación se presenta una síntesis de algunos aditivos clasificados según su función, extraído de Beltrán y Marcilla, 2012:

FUNCIÓN DEL ADITIVO	TIPO DE ADITIVO
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizantes, Lubricantes.
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes, Cargas reforzantes, Modificadores de impacto.
Aditivos que disminuyen costos de las formulaciones	Cargas, Diluyentes y extendedores.
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestáticos, Aditivos antideslizamiento, Aditivos antidesgaste, Promotores de adhesión.
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes, Agentes de nucleación.
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra luz UV, Fungicidas.
Otros	Agentes espumantes, Retardantes de llama.

Cuadro N° 1: Clasificación de los aditivos plásticos según su función (Beltrán y Marcilla, 2012)

Una síntesis de algunos aditivos plásticos, clasificados según su constitución química y algunos ejemplos de su uso es la siguiente, extraída de UNEP, 2016:

SIGLA	NOMBRE COMPLETO	EJEMPLOS DE SU APLICACIÓN
DBP	Dibutilftalato	Agentes antigrietas del esmalte para uñas.
DEP	Dietilftalato	Suavizantes para la piel, fijadores de colores y fragancias.
DEHP	Di-(2-etilexil) ftalato	Plastificante del PVC
HBCD	Hexabromociclododecano	Retardante de llamas en bienes durables.

PBDEs	Éteres difenilpolibrominados (formas penta, octa y deca) nonilfenol	Retardantes de llamas en productos durables (por ej. electrónica, decoración). Estabilizante del PP y PS.
Ftalatos	Ésteres ftalatos	Brindan flexibilidad y durabilidad.

Cuadro N° 2: Clasificación de los aditivos plásticos según su constitución química (UNEP, 2016)

### 1.1.4 PRODUCCIÓN Y DEMANDA DE PLÁSTICOS

El plástico es uno de los materiales más versátiles del mercado, utilizándose en una gran variedad de industrias y aplicaciones, desde el transporte, las telecomunicaciones, construcción, industria automotriz, electrónicos, eléctricos, textiles, empaquetados, etc. dado su peso liviano, bajo costo, resistencia y variedad de acabados, texturas y colores. La producción masiva de plásticos comenzó en los años 1950 (UNEP, 2016). La producción se incrementó rápidamente, en respuesta a una demanda en incremento de productos manufacturados y embalajes

para contener alimentos y bienes. Esto se acompañó de una

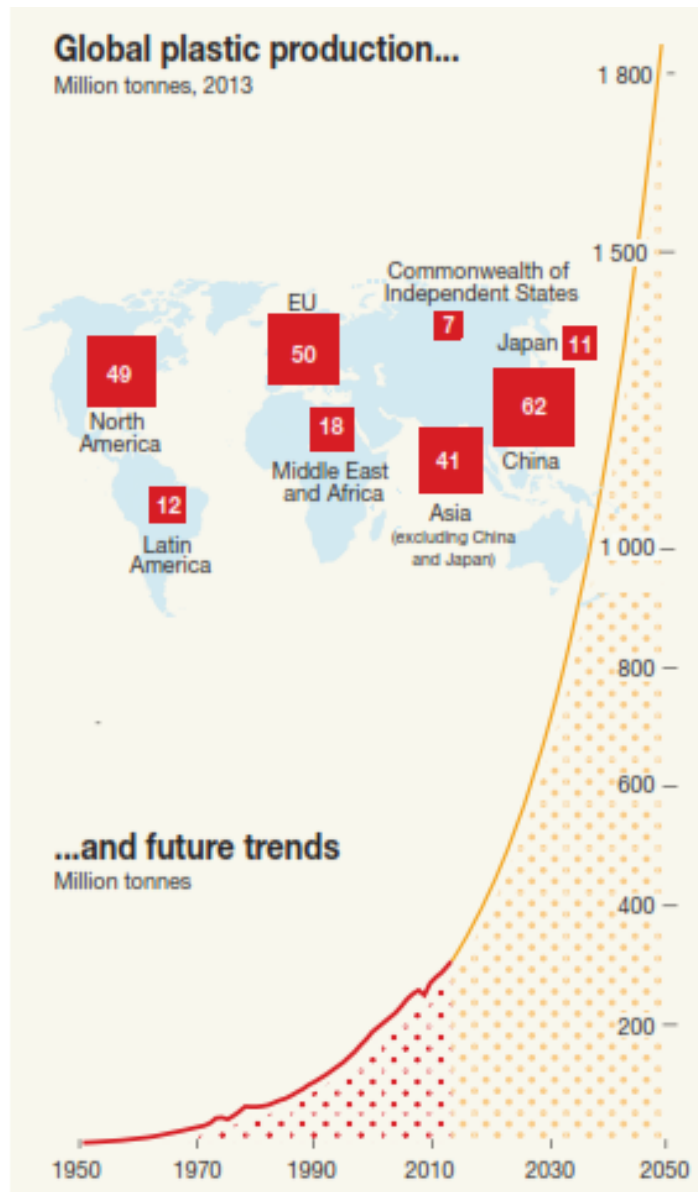


Imagen N° 2: Tendencias en la producción mundial de plásticos (extraída de UNEP, 2016).

diversificación en cuanto a tipos y aplicaciones de los polímeros sintéticos. Las tendencias actuales y a futuro en cuanto a la producción mundial de plásticos pueden observarse en la Imagen N° 2. En este sentido, actualmente existen distintas demandas

según los sectores de la industria, una síntesis de las demandas en Europa, puede observarse en la Imagen N° 3.

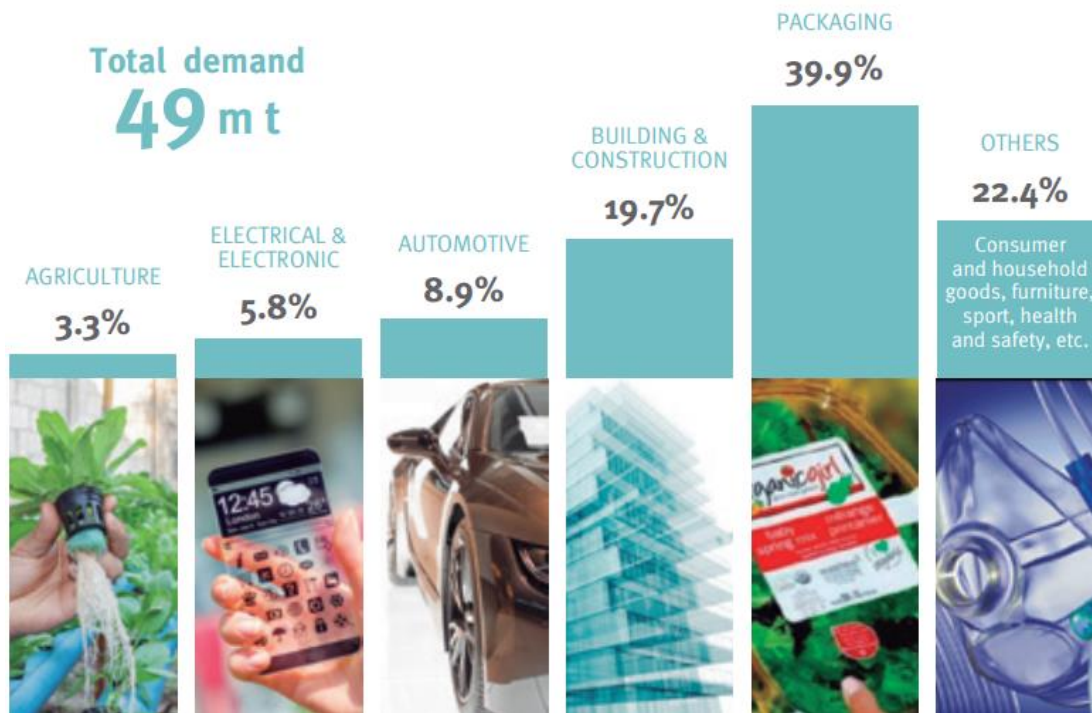


Imagen N° 3: Demandas de plásticos en Europa según los distintos sectores de la industria (extraído de Plastics Europe, 2016).

Como puede observarse en la imagen precedente, en Europa más de un tercio del plástico producido anualmente se utiliza en materiales de descartables (principalmente packaging) u otros productos de corto ciclo de vida, que facilitan el transporte de una gran cantidad de alimentos, bebidas y otros bienes que son descartados a menos de un año de su manufactura. El promedio del consumo de plástico per cápita en América de Norte y el Oeste de Europa alcanza aproximadamente 100 kg/año/persona en el año 2005. El incremento potencial es aún superior en los países Asiáticos, donde el consumo per cápita es de 20 Kg/año, esperándose que se incremente a unos 36 Kg/año/persona en los próximos años (UICN, 2014).

A su vez, la demanda de plásticos es variable según los tipos de polímeros. En este sentido, los principales campos de aplicación de los plásticos, según los tipos de polímeros, se muestran en la imagen a continuación.

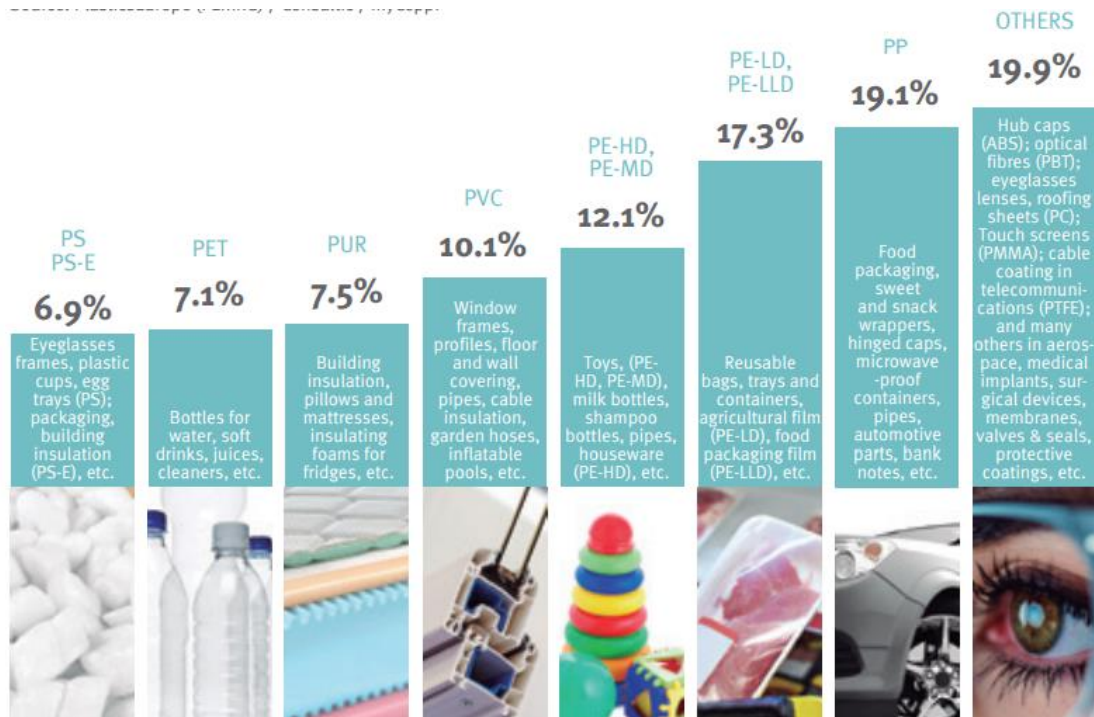


Imagen N° 4: Principales campos de aplicación de los plásticos, según los tipos de polímeros (extraído de Plastics Europe, 2016).

### 1.1.5. MARCO LEGAL

El marco normativo que abarca a los microplásticos, indefectiblemente deberá abarcar a los macroplásticos también, ya que con el tiempo éstos constituyen una de las principales fuentes de microplásticos secundarios. Por ello, a continuación se detallará el marco normativo que alcanza a los residuos marinos, como un grupo genérico, y en especial a aquel que abarca a los plásticos.

Los instrumentos normativos a nivel internacional, regional y nacional incluyen a los compromisos asumidos por los estados en convenciones, acuerdos, regulaciones, estrategias, planes de acción, programas y guías. Éstas contienen medidas de manejo específico que pueden ser tanto de carácter obligatorio como voluntario (Melanie Bergmann et al., 2015).

En este sentido, los principales instrumentos normativos a este nivel, que abarcan a la Argentina son:

**-Convenio de Londres de 1972:** A través de la Ley Nacional N° 21.947, la Argentina fue signataria del “Convenio sobre prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias” éste fue uno de los primeros

convenios mundiales dedicados a proteger el medio marino de las actividades antrópicas. En su Artículo IV, inciso 1.a) “*se prohíbe el vertimiento de los desechos u otras materias enumerados en el Anexo I*”, siendo el inciso 4 de este Anexo I los materiales “*Plásticos persistentes y demás materiales sintéticos persistentes tales como redes y cabos, que puedan flotar o quedar en suspensión en el mar de modo que puedan obstaculizar materialmente la pesca, la navegación u otras utilidades legítimas del mar.*” El propósito de este Convenio es prevenir o limitar toda evacuación deliberada en el mar de diversos tipos de desechos producidos en tierra, que son cargados en buques para tal fin. En 1996, se aprobó un protocolo, aún no ratificado por Argentina, el cual cambia sustancialmente el espíritu del texto original, al prohibir la descarga en el mar de la mayor parte de las sustancias que aquel permitía, y haciendo un gran hincapié en el control de los materiales de dragado y el impacto ambiental en las zonas de refulado.

- **Convenio MARPOL 73/78:** A través de la Ley Nacional N° 24.089 la Argentina aprueba el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques de 1973, sus Protocolos Anexos, y el Protocolo de 1978 (relativo también al Convenio Internacional para prevenir la Contaminación por los Buques de 1973). Éste convenio (al igual que el anterior) fue uno de los primeros antecedentes a nivel internacional de prevención de la contaminación del medio marino, y actualmente mantiene su vigencia. El Anexo V, en la Regla 3, inciso 1.a) especifica que “*se prohíbe echar al mar toda materia plástica, incluidas, sin que la enumeración sea exhaustiva, la cabullería y redes de pesca de fibras sintéticas y las bolsas de plástico para la basura*”.

- **REGINAVE:** Por medio del Decreto Nacional N° 1886/93 se designa a la Prefectura Naval Argentina como autoridad de aplicación a nivel nacional en lo que respecta al control de la contaminación en el medio marino, e introduce el “Régimen de la Navegación Marítima, Fluvial y Lacustre” (REGINAVE). Este reglamento trata acerca de la prevención de la contaminación proveniente de buques, y en el Anexo 3, Sección 1 contiene normas similares a las establecidas por el MARPOL 73/78 y el Convenio de Londres de 1972, respecto a la contaminación de las aguas por basuras.



- **Ordenanza N° 2/98 (DPMA)- Tomo 6 “Régimen para la protección del medio ambiente”**: Esta Ordenanza, emitida por la Prefectura Naval Argentina, Dirección de Protección del Medio Ambiente (DPMA) en el año 1998, trata sobre la *“Prevención de la contaminación por basuras desde buques y plataformas costa afuera, rótulos, planes de gestión, libro de registro de basuras, dispositivos obligatorios y certificado nacional”*. En lo que respecta a los materiales plásticos, se insta a elaborar un Plan de Gestión de los Residuos, en el que el objetivo principal será la reducción al mínimo de la generación de basuras a bordo, y respecto a aquellos residuos generados, deberán segregarse y clasificarse (en 5 tipos distintos), almacenando los plásticos en un receptáculo diferenciado, por ser éstos materiales reciclables. Los plásticos se han de limpiar cuando se almacenan en contenedores abiertos, de lo contrario, deben almacenarse en contenedores cerrados durante un período de tiempo limitado.

-**Disposición DPMA N° 2/2012**: La Dirección de Protección del Medio Ambiente (DPMA) de la Prefectura Naval Argentina, a través de esta Disposición adopta la resolución del Comité de Protección del Medio Marino (MEPC) de la Organización Marítima Internacional (OMI), N° 220 (63) “Directrices de 2012 para la Elaboración de Planes de Gestión de Basuras”, obrante en el Anexo 25 del documento MEPC 63/23/Add.1 de la OMI. Esta resolución hace hincapié en los Planes de Gestión de Basuras a bordo, empleando una combinación de las siguientes técnicas: 1) Reducción en la fuente, 2) Reutilización o reciclaje; 3) Tratamiento a bordo; 4) Descarga en el mar en las circunstancias restringidas en que está permitida; y 5) Descarga en una instalación portuaria de recepción. Aunque no menciona específicamente a los plásticos, la clasificación de los residuos se realiza en base a la Ordenanza N° 2/98 (DPMA)- Tomo 6 (“Régimen para la protección del medio ambiente”) previamente referida.

- **Norma ISO 21070**: Esta Norma, no es de carácter obligatorio, y está basada en los principios del Convenio MARPOL y directivas de la OMI. En ella se define al plástico como a un *“Material sólido que contiene como ingrediente esencial uno o más polímeros orgánicos sintéticos y que es modelado (formado) ya sea durante la manufactura del polímero o en su fabricación, en un producto final por medio de calor y/o presión.*

*NOTA 1: Las propiedades de los materiales plásticos van desde duro y quebradizo hasta suave y elástico.*

*NOTA 2: Los plásticos se utilizan para una variedad de propósitos marinos, incluyendo, pero no limitado a, envases (barreras a prueba de vapor, botellas, contenedores, revestimientos, etc.), construcción de buques (fibra de vidrio y estructuras laminadas, revestimiento, tuberías, aislamiento, tejidos, pinturas y acabados, adhesivos, componentes eléctricos y electrónicos, etc.), utensilios y vasos desechables, bolsas, láminas, flotadores, redes de pesca, flejes, cuerdas y cuerdas, etc.*

*Para obtener la gestión más eficiente de los residuos y reducir la carga de tiempo y recursos en la segregación y manipulación en el buque y en los puertos, el concepto de minimización de residuos se ha integrado en esta norma internacional mediante el siguiente principio básico: "Prevención antes del reciclaje antes de la recuperación de energía antes de la eliminación".*

***- Declaration of the Global Plastics Associations for Solutions on Marine Litter:***

La Argentina fue signataria de la “Declaration of the Global Plastics Associations for Solutions on Marine Litter” en el año 2011, a través de Ecoplas. Ésta se constituye como una entidad técnica profesional especializada en plásticos y medioambiente, constituida como una Asociación Civil sin fines de lucro. Aunque se han realizado algunos avances en la conservación del medio marino, éstas no se tradujeron en acciones concretas para el caso de la Argentina, ni son vinculantes desde el punto de vista jurídico.

Si bien estas leyes, convenios, ordenanzas, disposiciones, etc. se orientan a reducir la introducción de residuos plásticos desde fuentes mar adentro, producto de actividades navales, como se detalló en el inciso 2.2 de esta Tesis, se considera que la mayor parte de los plásticos marinos provienen de fuentes asentadas tierra adentro, incluyendo escurrimientos urbanos y de tormentas, efluentes cloacales, turismo costero, manejo y disposición final inadecuadas de los residuos sólidos urbanos, actividades industriales, construcción y vertidos ilegales (UICN, 2014). Al respecto la Argentina cuenta con otros instrumentos jurídicos que indican cómo deben gestionarse los Residuos Sólidos Urbanos, de forma tal de minimizar los impactos en el ambiente en general, y de forma indirecta al medio marino en particular. Tal es el caso de:

- **Ley Nacional N° 25916:** Gestión de Residuos Domiciliarios. Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios generados en todo el territorio nacional. En el Artículo 33, se establece que el plazo de adecuación respecto de la disposición final de los residuos domiciliarios deberá cumplirse en un plazo de 10 años a partir de su entrada en vigencia, es decir, que en el año 2014 se debería haber dado cumplimiento a estas directivas. Sin embargo, éste artículo fue observado por el Decreto 1158/2004, por lo que a la fecha, estos plazos no se han cumplido y continúa la disposición final de los residuos sólidos domiciliarios de forma inadecuada en muchos sitios del país. Según las cifras oficiales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS), en el año 2016 el 61% de los residuos generados por los habitantes de nuestro país tiene su disposición final en un Relleno Sanitario. Vale decir, que el 39% de los residuos son dispuestos clandestinamente, lo que equivale aproximadamente a 5.129.780 ton anuales. De la masa total de residuos, según registros del Observatorio Nacional de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (período de años 2003-2011), el 14% de esta masa está representada por plásticos, es decir, 1.841.459 ton anuales sólo en la República Argentina. De esta forma, puede apreciarse la relevancia de la adecuada gestión de los residuos domiciliarios para la protección del ingreso de residuos plásticos al medio marino en la Argentina.

- **Ley Nacional N° 25688:** Régimen de gestión ambiental de aguas. Esta Ley entiende por cuenca hídrica superficial a la región geográfica delimitada por las divisorias de aguas que discurren hacia el mar a través de una red de cauces secundarios que convergen en un cauce principal único y las endorreicas. Así, éstas constituyen una de las principales fuentes de ingreso de los residuos plásticos desde tierra adentro, por lo cual la protección de estos ambientes, indirectamente favorece la conservación de los ambientes costeros y marinos receptores de sus aguas. A la fecha se han conformado varios comités de cuencas, a los fines de poder implementar esta ley en territorios interjurisdiccionales.

En el año 2019, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación sancionó la Resolución 407/2019 que sienta las bases para un manejo ambientalmente

racional de los plásticos en todo su ciclo de vida. Esto constituye un antecedente normativo de gran importancia para impulsar un interés a nivel nacional, por la temática del impacto de los microplásticos en el ambiente marino, no obstante al momento de elaborar esta tesis de maestría la Resolución es tan nueva que no se han podido observar acciones concretas al respecto.

Los principales aportes de la Resolución 407/2019 son:

- Es el primer antecedente normativo que reconoce a los microplásticos como causantes de problemas ambientales, con impactos en los ecosistemas, la biodiversidad, la economía y la sociedad.
- Destaca la necesidad de contemplar el tratamiento de la basura marina, y en particular los residuos plásticos, desde el punto de vista de la prevención, encarando acciones para evitar que este material y otros residuos lleguen al mar, lo contaminen y generen impacto negativo sobre la biodiversidad marina.
- Entre las acciones de diagnóstico propuestas, resulta importante la recopilación y análisis de la información y estudios existentes en el país sobre la problemática, en particular impactos en especies amenazadas y áreas marinas protegidas. Además, es importante conocer la situación de los residuos marinos en los sectores ribereños y costeros.
- Dentro de las pautas para la producción sustentable del plástico, en el inciso 1.9 se detalla la “Eliminación del uso de microplásticos primarios”.
- Dentro de las pautas para la “Búsqueda de opciones integrales para la gestión sustentable de los plásticos y la prevención de la contaminación derivada de su uso”, en el inciso 3.11, se nombra a la “Mejora en el tratamiento de las aguas residuales para remover micropartículas incluyendo microplásticos”.

Además, en el Anexo I, Inciso 3 de esta Resolución, se reconoce que no se ha logrado la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en todos los municipios del país, y la basura presente en los cuerpos de agua es, en gran medida, producto de esto. Cabe destacar al respecto, que (aunque no se menciona expresamente en la Resolución 407/19) la presencia de microplásticos secundarios en el ambiente marino y costero, es producto principalmente de la presencia de macroresiduos plásticos mal gestionados, generados tierra adentro (UICN, 2014).

## **1.2. LOS MICROPLÁSTICOS**

En esta tesis, se toma la definición de microplásticos de la NOAA (2015), como partículas plásticas de tamaño menor a 5 mm. Aunque el tamaño menor aún no ha sido definido, varios autores y el NOAA lo asumen como 0,33 mm (valor tomado en relación a las redes neuston utilizadas para coleccionar muestras de plankton). Operativamente, se definirá a los microplásticos como a cualquier material sólido en el rango de tamaños definido previamente, que exhibe flotación en una solución de concentración 5M de NaCl (densidad = 1,15 g/ml), y pasa una inspección visual siguiendo los lineamientos de la MERI (Guide to Microplastic Identification). Este método es aplicable a la identificación de los plásticos más comúnmente utilizados, como es el caso de: polietileno (densidad = 0,91 – 0,97 g/ml), polipropileno (densidad = 0,94 g/ml), y poliestireno (densidad = 1,05 g/ml).

A su vez, dentro del rango de tamaños de los microplásticos, según Van Cauwenberghe et al, 2015, éstos se subdividen en:

- Microplásticos Large
- Microplásticos Small
- Nanoplásticos

En esta tesis, se trabajará con el rango de tamaño Large, entendiéndose a los mismos como los que se ubican entre los rangos de tamaño de 5 mm a 1 mm, según se muestra en la imagen N° 1.

### 1.2.1 LOS MICROPLÁSTICOS EN EL AMBIENTE MARINO

La existencia de microplásticos en el ambiente marino se conoce desde hace más de cuatro décadas, y es actualmente confirmada en muestras de la columna de agua y sedimento costero y marino (Stolte, 2014). En el año 1974, Colton et al., documentaron a los residuos microplásticos como contaminantes extendidos por el noroeste del Océano Atlántico; sin embargo, la comunidad científica comenzó a brindarle atención significativa en el 2000, con la identificación de una acumulación de plásticos extendida por el giro del Océano Atlántico Norte (Ballent, 2016)

Los principales tipos de plásticos que se encuentran en el medio ambiente marino, su gravedad específica, porcentajes de producción al año 2007 y sus orígenes típicos se muestran en la tabla a continuación:

Cuadro N° 3: Clases de plásticos, gravedad específica, porcentaje de producción al año 2007, y productos y orígenes típicos.

CLASE DE PLÁSTICO	GRAVEDAD ESPECÍFICA	PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN (2007)	PRODUCTOS Y ORÍGENES TÍPICOS
Polietileno de baja densidad (LDPE, LLDPE)	0,91 – 0,93	21%	Bolsas plásticas, packs de 6 anillos, botellas, redes, sorbetes.
Polietileno de alta densidad (HDPE)	0,94	17%	Envases de leche y jugos.
Polipropileno (PP)	0,85-0,83	24%	Sogas, tapas de botellas, redes.
Poliestireno (PS)	1,05	6%	Utensilios plásticos, contenedores para alimentos
Espuma de poliestireno	Variable	Variable	Flotadores, embalajes de carnadas, vasos de telgopor
Nylon (PA)	Variable	<3%	Redes y trampas.
Polietileno tereftalato (PET)	1,37	7%	Botellas plásticas de bebidas.
Policloruro de vinilo (PVC)	1,38	19%	Film plástico, botellas, vasos.
Acetato de celulosa	Variable	Variable	Filtros de cigarrillos

Los microplásticos se encuentran en el ambiente marino, en dos formas principales (NOAA, 2015):

- **Microplásticos primarios:** Consisten en material plástico, en forma pura manufacturada, tales como pellets vírgenes o microesferas plásticas, que ingresan en el océano a través del escurrimiento desde la tierra. Los microplásticos primarios son utilizados en una gran variedad de aplicaciones, tales como la pasta dental, exfoliantes en cremas para rostro, como vía de ingreso de drogas en algunas aplicaciones médicas,

materiales de corrosión para arenado (“sandblasting”), fibras sintéticas de la industria textil, etc.

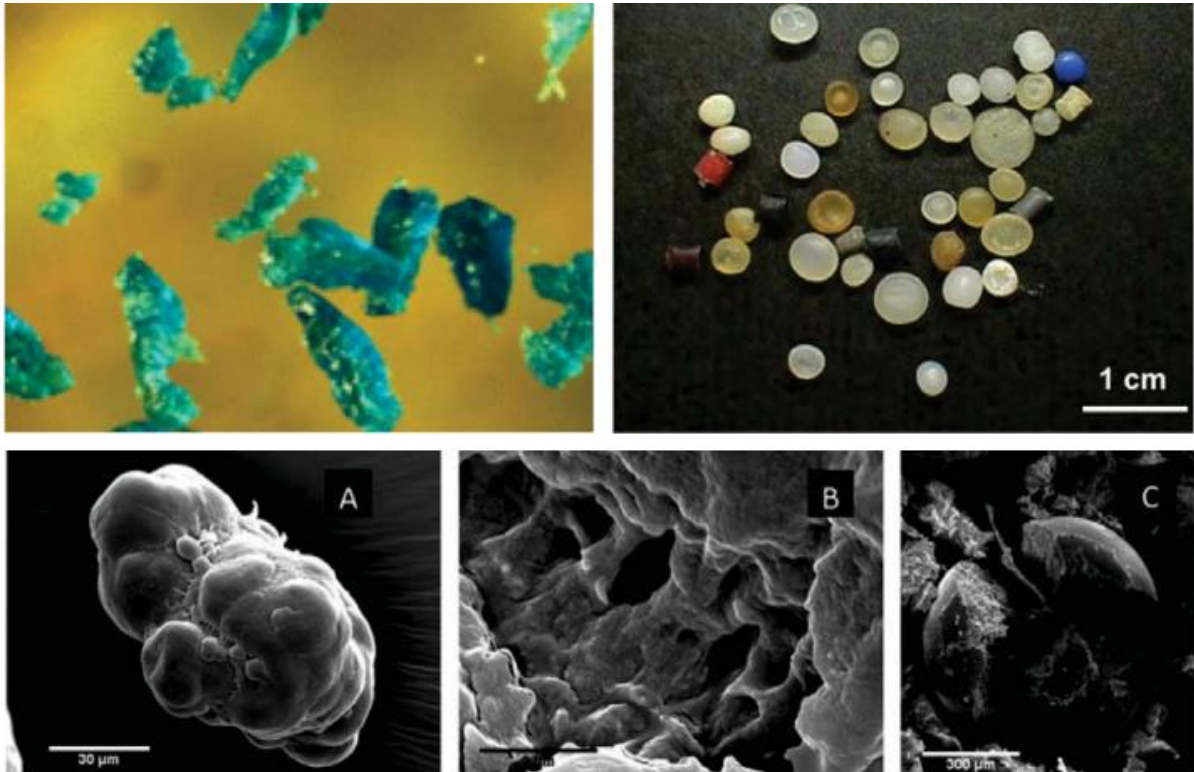


Imagen N° 5 (Extraída de UNEP, 2016): Microplásticos primarios: a) microplásticos abrasivos, extraídos de pasta dental (imagen cortesía de Joel Baker). b) Pellets de resina plástica recolectados del intermareal (imagen cortesía de Hideshige Takada). c) Micrografías de barrido de electrones de microesferas plásticas extraídas de cremas faciales exfoliantes (imagen cortesía de A. Bakir y R. Thompson).

**- Microplásticos secundarios:** Se forman cuando materiales plásticos de grandes dimensiones (meso / macro plásticos) ingresan a la costa o el océano, donde se produce una degradación mecánica (erosiva), foto-oxidativa y biológica de los materiales, que los transforman en pequeños fragmentos plásticos.

Al respecto, en esta tesis se analiza la relación entre microplásticos primarios y secundarios, sin ahondar en su correspondiente composición química o tipo de material específico. Asimismo, en lo que respecta a los microplásticos primarios (y por el rango de tamaños en el que se trabaja) sólo se definen como tales a los pellets, ya que las microesferas plásticas y otros materiales similares, exceden el rango de tamaño menor de alcance de esta tesis.

La forma principal de identificar los microplásticos, y clasificarlos en primarios y secundarios, es a través de una inspección visual, de hecho (hasta la fecha) todas las

técnicas de extracción de microplásticos (independientemente del rango de tamaños analizado) terminan con una inspección visual (Hidalgo-Ruz et al., 2012). Así, a continuación se definirán las distintas formas en las que pueden observarse los microplásticos primarios y secundarios, y su descripción física correspondiente para su clasificación como tales (Kosuke et, al, 2016):

Para microplásticos primarios:

- **Pellets:** gránulos manufacturados como materia prima para la fabricación de productos plásticos más grandes, generalmente se encuentran en el rango de tamaños entre 2 a 5 mm, con la forma de un cilindro o disco.

Para microplásticos secundarios:

- **Fragmentos:** partículas producidas a partir de la fragmentación de materiales más grandes.
- **Espumas :** distintas espumas, tales como poliuretano expandido, telgopor, etc.
- **Films:** segmentos blandos de polímeros delgados.
- **Filamentos:** polímeros similares a hilados, producidos por la fragmentación de sogas o líneas de pesca.

Paralelamente, en la inspección visual también se aplicarán los métodos propuestos por la MERI en su manual “*Guide to microplastic identification*”.



### **1.2.2 ORIGEN DE LOS MICROPLÁSTICOS EN EL AMBIENTE MARINO**

Si bien se necesita de información más precisa de aportes de plásticos, dinámicas de transporte, potenciales áreas de acumulación y hundimientos (tanto dentro de la columna de agua, como enterrados en el sedimento), se considera que la mayor parte de los plásticos marinos provienen de fuentes asentadas tierra adentro, incluyendo escurrimientos urbanos y de tormentas, efluentes cloacales, turismo costero, manejo y disposición final inadecuadas de los residuos sólidos urbanos, actividades industriales, construcción y vertidos ilegales (UICN, 2014). Existen eventos extremos tales como tsunamis, huracanes, tifones o grandes tormentas que actúan como grandes pulsos de ingreso de plásticos que provienen de áreas costeras (Zettler et al., 2013). Una vez en el medio marino, estos residuos plásticos, se convierten en microplásticos con el correr del tiempo y la exposición a distintos factores ambientales. En el caso específico de los microplásticos primarios, éstos ingresan al medio marino principalmente a través de los efluentes cloacales, pluviales u otros medios de escorrentía de la ciudad. Dado que las plantas de tratamiento de efluentes cloacales no suelen estar diseñadas para retener estos pequeños polímeros, los microplásticos contenidos en los elementos de limpieza, cosméticos, etc. llegan de forma directa al medio marino.

El resto (fuentes mar adentro) derivan principalmente de la industria pesquera, náutica y acuicultura.

Estudios basados en observaciones y en modelación indican que las industrias locales y el manejo de los residuos sólidos urbanos son factores significativos en el control de la abundancia de la contaminación por microplásticos en ambientes marinos (Ballent, 2016).

### 1.2.3 LOS PLÁSTICOS COMO CONTAMINANTES EN EL MEDIO MARINO

Según el informe de la GESAMP N° 44 del año 1991, se entiende por contaminación del medio marino a “*la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o energía en el medio marino (incluidos los estuarios) causando efectos perjudiciales tales como daños a recursos vivos, peligros para la salud humana, obstáculos para las actividades marinas, incluida la pesca, el deterioro de la calidad del agua del mar, y la reducción de los atractivos naturales.*”

Entre los efectos que han sido más estudiados de los microplásticos, se destaca su ingestión por parte de la biota marina (tanto pelágica como bentónica), que tiene potencialmente múltiples efectos adversos en sí misma, tales como bloqueos en los apéndices alimentarios, dificultad en el pasaje de la comida a través del tracto digestivo o causar pseudo-saciedad, lo que resulta en una reducción en las ingestas. Paralelamente, y también asociado a la ingestión de microplásticos, puede existir toxicidad como resultado de algunos materiales contaminantes presentes en la matriz del material, lixiviados de los propios microplásticos (Ftalatos y Bisfenol A, entre otros) y también la toxicidad puede estar vinculada a contaminantes externos, adheridos a la superficie de los microplásticos (compuestos orgánicos persistentes, entre otros) (Matthew Cole et al., 2011), más adelante en esta tesis, se ahondará en estas cuestiones. Los microplásticos son biotransferibles en las cadenas tróficas, lo que indica potenciales peligros a la salud humana. De hecho, hay estudios que demuestran la presencia de microplásticos en especies ampliamente explotadas para consumo humano, tal es el caso de las almejas (*Anomalocardia brasiliiana*) y especies demersales tales como el pez gato (*Cathorops spixii*, *Cathorops agassizii* y *Sciades herzbergii*) y otros como *Stellifer brasiliensis* y *Stellifer stellifer*, mojarras (*Eugerres brasilianus*, *Eucinostomus melanopterus* y *Diapterus rhombeus*) (Costa y Barletta, 2015); en varios casos se ha registrado de 1 a 10 ítems plásticos por individuo, en todas las fases ontogénicas: juveniles, sub-adultos y adultos (Andersson, 2014).

En este contexto, y considerando sólo algunos de los efectos que tienen los microplásticos en el medio marino, puede afirmarse que los microplásticos son contaminantes de este medio ambiente. Más aún, dada la dificultad en la remoción de estos materiales del medio marino, la cantidad de residuos macroplásticos actualmente presentes en los océanos, y el incremento en la producción de plásticos a nivel mundial, es de esperar que esta contaminación no sólo sea una problemática a largo plazo, sino

que se acentúe en las próximas décadas (incluso si hoy se impidiera el ingreso de nuevos plásticos al océano, dada la cantidad existente de residuos macroplásticos en el medio). Si bien los materiales plásticos se degradan a microplásticos y posiblemente nanoplásticos, la mineralización bajo las condiciones del medio marino es lenta en comparación a los materiales expuestos a la atmósfera, y es de esperarse que el polímero sobreviva cientos de años, más aún si se depositan en los fondos marinos, o en los sedimentos, donde no están expuestos a la erosión mecánica de las olas y la radiación UV del sol. Hasta que la estructura del polímero no sea degradada a monómeros e hidrocarburos (mineralización), no puede considerarse a los plásticos biodegradados (Stolte, 2014).

Actualmente se están desarrollando diversas metodologías para el estudio de los microplásticos en el medio marino, sin embargo dado el gran potencial migratorio de estos materiales y la diversidad de ambientes costeros y marinos, es crucial la cuantificación de los niveles de contaminación y la distribución de los microplásticos en los océanos del mundo, para evaluar los riesgos, poder asesorar objetivamente y proponer acciones de mitigación o reducción de la presencia de microplásticos (UICN, 2014). Asimismo, es necesaria una estandarización de los procedimientos para la identificación de los microplásticos, ya que en la actualidad existe gran diversidad de metodologías que no permiten una comparación entre los estudios efectuados en distintos puntos del globo.

### 1.2.4 DEGRADABILIDAD DE LOS PLÁSTICOS EN EL MEDIO MARINO

Se entiende por mineralización, al proceso por el cual el carbono que constituye los polímeros plásticos se convierte completamente en CO<sub>2</sub>, agua y biomasa (Andrady, 2011). En este sentido, Barnes et al., 2009 afirman que la durabilidad de los plásticos es tal que esté donde esté, no “desaparece”, por lo que colocarlos en un relleno sanitario simplemente es almacenar un problema a futuro.

La degradación de los plásticos es el resultado de cambios químicos en la estructura del polímero que reducen su peso molecular, y de esta forma debilitando su integridad mecánica. Los plásticos expuestos a la luz solar sufren una foto-oxidación como resultado de la absorción de ondas de alta energía del espectro ultravioleta (UV). Una vez que se inicia la degradación, pueden sucederse reacciones termo-oxidativas dependientes de la temperatura, sin más exposición a la radiación UV, hasta tanto haya disponibilidad de oxígeno (Weinstein et al., 2016). Una vez que comienza la degradación, el peso molecular del polímero decrece y grupos funcionales ricos en oxígeno son generados en el polímero (Andrady, 2011).

Otros mecanismos degradativos, tales como la hidrólisis o biodegradación suceden a ritmos varios ordenes de magnitud más lentos que los mecanismos oxidativos (Weinstein et al., 2016). Andrady, 2011, clasifica a la degradación de los plásticos de acuerdo al agente que lo provoca en:

- a. Biodegradación: por acción de organismos vivos, generalmente microbios.
- b. Fotodegradación: por acción de la luz (generalmente del sol, expuesto a la intemperie).
- c. Degradación termooxidativa: consiste en una degradación oxidativa lenta, a temperaturas moderadas.
- d. Degradación térmica: producto de la acción de elevadas temperaturas (no es un mecanismo de degradación medioambiental).
- e. Hidrólisis: reacción con el agua.

En el medio marino, las condiciones ambientales tales como la disponibilidad de la luz solar, la temperatura y el oxígeno juegan un papel crítico en la degradación de los plásticos, por ello, su tasa de degradación dependerá estrechamente de su localización (Weinstein et al., 2016). La degradación iniciada por la radiación UV es un mecanismo muy eficiente cuando los plásticos están expuestos al aire o yacen en la superficie de una playa; sin embargo, cuando el mismo material plástico es expuesto en el mismo

sitio con idéntica radiación solar, pero flotando en agua de mar, la degradación se retrasa severamente (Andrady, 2011). Los plásticos en las playas están sujetos a temperaturas muy altas, dado el calor específico relativamente bajo de arena ( $664 \text{ J / kg-C}$ ), la arena superficial de la playa y el plástico sobre ella pueden calentarse a temperaturas aproximadas de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  en verano (Andrady, 2011), para disminuir pronunciadamente en la noche. Estas diferencias de temperatura y de exposición solar, aceleran la degradación de los plásticos en las zonas de playas, en comparación con aquellos que se encuentran en la superficie, la columna de agua o el fondo marino. Como puede observarse en la imagen a continuación, un plástico expuesto a la intemperie, presenta microfracturas, las que lo tornan frágil ante los cambios bruscos de temperatura y humedad, característicos del entorno costero. Por lo expuesto, puede afirmarse que el más propenso para la generación de microplásticos en el ambiente marino son las playas (Andrady, 2011). Esto destaca el hecho de que las limpiezas costeras constituyen una estrategia de mitigación efectiva para la problemática de los microplásticos en el ambiente marino.



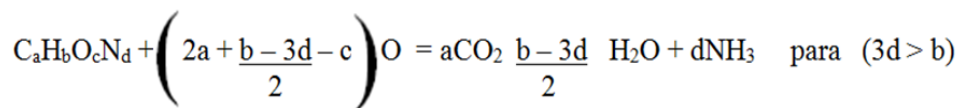
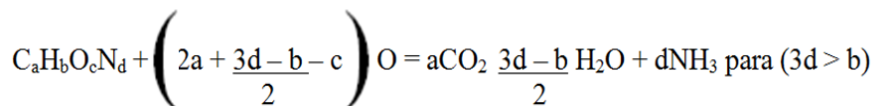
Imagén N° 6: LDPE expuesto a un meteorómetro durante 800 horas. Extraída de (Andrady, 2011).

Otros factores específicos de la localización, como la presencia de fuerzas mecánicas o la formación de biofouling superficial pueden alterar el ritmo de la degradación. Las fuerzas mecánicas, tales como las asociadas a turbulencias, abrasión y la acción del oleaje pueden incrementar la susceptibilidad de los plásticos a la fragmentación. Por otro lado, la formación de biofouling superficial, como aquella asociada a los biofilms o colonias de invertebrados, pueden reducir la tasa de degradación del plástico al reducir la cantidad de radiación UV que alcanza su superficie, al mismo tiempo que el incremento en la densidad del objeto causa su hundimiento, lo que en el ecosistema

marino lo traslada a la zona afótica y de temperaturas bajas y estables (Weinstein et al., 2016).

Barnes et al., 2009 estiman que la longevidad de los plásticos en el medio marino es variable, aunque se cree que puede estar en el rango entre los cientos a los miles de años, dependiendo de las propiedades fisicoquímicas del polímero, pero es probable que se incremente pronunciadamente con la profundidad, donde las concentraciones de oxígeno son bajas y la luz está ausente. Se considera que (excepto por los materiales que han sido incinerados) todo el plástico convencional que alguna vez ha ingresado en el medioambiente, aún permanece sin mineralizarse ya sea como el ítem en su totalidad, o como fragmentos (Barnes et al., 2009).

Andrady, 2011, plantea que para un polímero tal como el nylon, que contiene C, H, O y N, la conversión química hacia la mineralización del material se expresa de la siguiente manera:



La tasa de conversión del carbono en condiciones similares a la exposición ambiental se midió utilizando respirometría. Se incubó un polímero finamente dividido en un medio biótico tal como sedimentos marinos costeros y se cuantificó el dióxido de carbono gaseoso involucrado durante la degradación. Para acelerar la mineralización, el medio se enriqueció con urea (N), fosfatos (P) y se inoculó con un cultivo microbiano activo. El dióxido de carbono fue estimado trimestralmente y se calculó el porcentaje de conversión del carbono del polímero en la fase gaseosa. Este proceso es la base de la prueba de Sturm, ampliamente utilizada con compuestos orgánicos. Bajo condiciones óptimas de laboratorio, en un suelo inoculado con cultivos de aguas residuales, la tasa de evolución del CO<sub>2</sub> desde la biodegradación de las poliolefinas es tan lenta que se utiliza un polímero marcado con C14 para monitorear el proceso. Datos recientes muestran una conversión <1,2% luego de un período de tres meses. Polímeros que



fueron pre oxidados se biodegradan a una tasa más rápida: la degradación del material expuesto a la intemperie de una zona costera, incrementa la superficie de contacto de los plásticos varios órdenes de magnitud, y es de esperar que esto incremente su tasa de biodegradación (Andrady, 2011).

### 1.2.5 IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN CON MICROPLÁSTICOS EN EL MEDIO MARINO

Según la GESAMP 2010, el concepto de “daño” en relación a la problemática de los residuos plásticos marinos, puede dividirse en tres categorías generales:

- **Daño ecológico:** por ejemplo efectos letales o sub letales en plantas y animales a través de atascamientos, capturas y atascamientos en redes fantasma, daño físico e ingestión, incluyendo el consumo de micropartículas (mayormente microplásticas) y la liberación de sus compuestos químicos asociados, facilitando la introducción de especies foráneas, o alterando la estructura de la comunidad bentónica.

- **Daño económico:** tal es el caso de los costos para el turismo, daños a embarcaciones, equipos de pesca y sus instalaciones asociadas, pérdidas para las operaciones pesqueras, costos de limpieza.

- **Daño social:** tales como una reducción en los valores estéticos o paisajísticos, y a la salud pública.

Aunque los efectos de los microplásticos en la salud humana y en los ecosistemas son áreas de investigación relativamente nuevas, y actualmente existe un grado elevado de incertidumbre en este aspecto (GESAMP, 2010), como se comentó anteriormente, el aspecto que ha sido más investigado respecto a los microplásticos es su ingestión por parte de la biota marina. Al respecto, cabe destacar que el riesgo está en función del peligro y la exposición (dosis), y la evaluación de los riesgos de los microplásticos requiere conocer el peligro (es decir, el potencial de los microplásticos de causar efectos adversos mediante mecanismos plausibles), niveles de exposición (cantidades de microplásticos detectados en el ambiente, incluyendo en los organismos vivos) y sus efectos (identificación de las relaciones dosis-respuesta y los umbrales límite). El asesoramiento en cuanto al riesgo de los microplásticos en el ambiente marino se encuentra actualmente en la fase de caracterización del peligro, debido a la información limitada en cuanto a los niveles de exposición y el establecimiento de niveles de efecto (GESAMP, 2010).



En lo que respecta a la exposición, y dado que los microplásticos se encuentran en toda la columna de agua, es decir, la zona superficial, la columna propiamente dicha y el sedimento, la biota se encuentra expuesta tanto a través de sus branquias (por la inspiración), como por ingestión (GESAMP, 2010):

- **Exposición a través de las branquias:** La magnitud de esta exposición externa, depende de la concentración y tamaño de las partículas microplásticas, y a la naturaleza específica del organismo, principalmente si se trata de organismos filtradores o que se alimentan de forma activa.
  
- **Exposición por ingestión:** Trabajos de campo han demostrado la ingesta de microplásticos por parte de la biota marina. En el caso de nuestro país hubo un estudio realizado en el Delfín Franciscana, donde se registró la ingesta de macro y microplásticos por parte de estos mamíferos marinos (Denuncio et al. 2011). En estudios de campo, la presencia de microplásticos en los organismos representa exposiciones recientes a estos materiales. El conocimiento actual de la excreción de los microplásticos desde organismos marinos está basado sólo en estudios de laboratorio. Luego de que los microplásticos son asimilados por los organismos (en el tejido o hemolinfa) éstos se acumulan o son excretados, dependiendo del tamaño, forma y composición de las partículas utilizadas en los estudios. Si se acumulan, es esperable que los efectos físico/químicos se mantengan a través del tiempo. Si son excretados, se espera que estos efectos sean reversibles ante un proceso regenerativo y de curación del organismo.

Cabe destacar, que las partículas microplásticas pueden pasar a través de las cadenas alimenticias, cuando un predador ingiere una presa que las contiene.

Paralelamente, y también relacionado a la ingestión de microplásticos, puede existir toxicidad como resultado de:

- a- Contaminantes presentes en la matriz del material, lixiviados de los propios microplásticos:

En la fabricación de los plásticos es necesaria la incorporación de aditivos químicos, tal es el caso del PVC, en el que los Ftalatos pueden constituir más del 50% en peso del material, mientras que en los policarbonatos el Bisfenol A es un monómero constitutivo fundamental.

Si bien está ampliamente aceptado que los plásticos son biológicamente inertes por otro lado, muchos aditivos pueden migrar desde los polímeros plásticos dependiendo del tamaño, temperatura, pH y propiedades de los aditivos. Gracias a la gran relación superficie-volumen de los microplásticos, la biota marina se encuentra directamente expuesta a los lixiviados de los aditivos plásticos una vez ingeridos. Estos aditivos y monómeros pueden interferir en procesos biológicos importantes, resultando potencialmente en disrupciones endócrinas, que a su vez pueden impactar la movilidad, reproducción y desarrollo, y generar carcinogénesis. Ejemplos de éstos constituyentes son los Ftalatos y el Bisfenol A, conocidos por ser químicos disruptores endócrinos que pueden imitar, competir o interrumpir la síntesis de hormonas endógenas. Estas alteraciones hormonales pueden causar problemas morfológicos permanentes en organismos que se encuentran en desarrollo, o disrupciones sexuales en los individuos adultos. El caso de los Ftalatos se ha asociado con una gran variedad de efectos a nivel molecular y de los organismos en su totalidad, en los casos de invertebrados acuáticos y peces, incluyendo daños genotóxicos (micronúcleos y apoptosis en hemocitos de mejillones), inhibición de la locomoción en invertebrados e intercambio de sexos en peces. En el caso del Bisfenol A, se ha demostrado que afecta a funciones reproductivas y hormonales en animales marinos tales como anélidos, moluscos, crustáceos, insectos, peces y anfibios (Stolte, 2014).

b- Contaminantes externos, adheridos a la superficie de los microplásticos:

Los POP's presentes en el agua de mar son lentamente absorbidos y concentrados en los microplásticos. Así, los residuos plásticos "limpian" el agua de mar de contaminantes químicos disueltos. Sin embargo, una vez ingeridos, éstos pueden tornarse biodisponibles para los organismos. El riesgo de las altas concentraciones de POPs extraídos del agua de mar es particularmente significativo, en virtud de que éste agua típicamente contiene bajos niveles de una multiplicidad de químicos, tales como insecticidas, pesticidas y residuos industriales que ingresan a los océanos a través de las aguas residuales o de escorrentía (Andrady, 2011)

Los POP's, que incluyen Bifenilos Policlorados (PCB's), PAHs y pesticidas organoclorados (por ejemplo DDT), son estables y químicamente lipofílicos, con

lo cual tienden a adherirse y concentrarse en la superficie hidrofóbica de los microplásticos, con concentraciones registradas que van desde los ng/g a µg/g (Barnes et al., 2009). En el caso específico de los microplásticos primarios (pellets), Fisner et al., 2013, han registrado su actuación como transporte de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs).

Se destaca también el hecho de que los microplásticos, por absorber los POPs se tornan en un reservorio en el ambiente marino de estos compuestos tóxicos.

Trabajos recientes sugieren que los micro y mesoplásticos también pueden concentrar metales, en adición a los POPs. Este es un hallazgo inesperado ya que los plásticos son hidrofóbicos pero la superficie, una vez oxidada, podría llevar grupos funcionales que pueden adherir metales (Andrady, 2011).

Paralelamente, estudios realizados por Outi et al., 2013, en camarones misidáceos, copépodos, cladóceros, rotíferos, larvas de poliquetos y ciliados demostraron la ingesta de microesferas plásticas en todos los taxa expuestos. Además, se evaluó la transferencia de estos microplásticos a través de la cadena alimenticia, demostrándose el potencial de transmisión de micropartículas plásticas a través de los organismos planctónicos, a organismos de otros niveles tróficos tales como el meso y macrozooplancton.

Hay estudios que demuestran la presencia de microplásticos en especies ampliamente explotadas para consumo humano, tal es el caso de las almejas (*Anomalocardia brasiliensis*) y especies demersales (habitan cerca del fondo marino) tales como el pez gato (*Cathorops spixii*, *Cathorops agassizii* y *Sciades herzbergii*) y otros como *Stellifer brasiliensis* y *Stellifer stellifer*, mojarras (*Eugerres brasiliensis*, *Eucinostomus melanopterus* y *Diapterus rhombeus*) en varios casos se ha registrado de 1 a 10 ítems plásticos por individuo, en todas las fases ontogénicas: juveniles, sub-adultos y adultos. (Andersson, 2014) Esto demuestra el potencial de biotransferibilidad de microplásticos a la cadena alimenticia humana, reflejando una trascendencia de esta problemática, que actualmente ha sido escasamente abordada por la comunidad científica (Stolte, 2015, ver imagen N° 7).

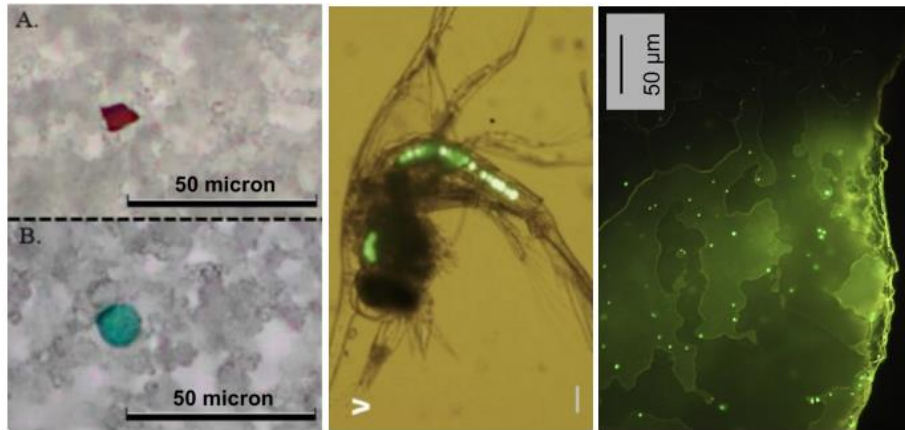


Imagen N° 7: Extraída de Stolte, 2015: Panel izquierdo: partículas ingeridas de microplásticos en tejidos de moluscos producidos para consumo humano (Van Cauwenberghe & Janssen 2014). Panel del centro: Microesferas plásticas marcadas con fluorescencia, ingeridas en copépodos (Cole et al. 2013). Panel derecho: láminas branquiales de cangrejos alimentados con moluscos, que fueron alimentados con microplásticos (Farrell& Nelson 2013).

Investigaciones recientes, han revelado también que los microplásticos son capaces de alterar las propiedades físicas de los sedimentos de las costas. Carson et al., 2011, investigaron las propiedades físicas de las playas contaminadas con microplásticos. Se compararon núcleos sedimentarios de Kamilo Beach, en una Isla de Hawaii, con núcleos artificiales construidos con un tamaño de grano de arena estandarizado. En su investigación demostraron que la permeabilidad de los sedimentos en la playa se incrementó tras la adición de un 15% o más de microplásticos (en peso), lo que fue parcialmente atribuido a un incremento de la media del tamaño de partícula plástica superior al tamaño de los sedimentos naturales. Cabe destacar, que el 15,9% representa el contenido máximo de microplásticos registrados en Kamilo Beach ver Imagen N° 8 (extraída de Carson et al., 2011).

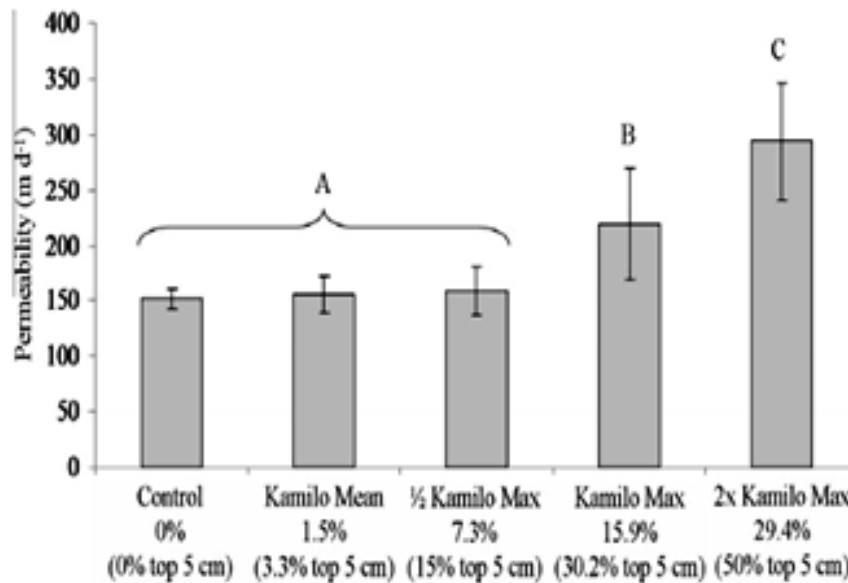


Imagen N° 8: Permeabilidad constante de núcleos sedimentarios artificialmente contruoidos, con un tamaño de grano estandarizado y variando la composición de los fragmentos plásticos (en peso). Todos los materiales de construcción de los núcleos fueron tomados de Kamilo Beach, el tamaño de grano y la distribución de fragmentos plásticos con la profundidad, se establecieron imitando las condiciones de Kamilo Beach. Tres réplicas de los núcleos fueron contruoidos para cada proceso. (Extraído de Carson et al., 2011)

Este incremento en el flujo del agua y su evaporación desde el sedimento marino, pueden afectar la distribución de nutrientes y materia orgánica, del mismo modo que la composición química y biológica de la zona litoral y sublitoral.

Además, el incremento en el contenido de microplásticos aisló el ambiente subsuperficial de las altas temperaturas. Los sedimentos con microplásticos se calentaron más lentamente (con un máximo del 16% en el decrecimiento de la difusividad térmica) y alcanzaron una temperatura máxima inferior (con una diferencia del 21%) en comparación a los sedimentos sin microplásticos; esto es consistente con la menor conductividad térmica y mayor calor específico de los plásticos en relación a los sedimentos. Estos cambios tienen una variedad de potenciales efectos sobre los organismos que viven en la costa, más en aquellos con una marcada determinación de la temperatura en la distribución de los sexos, como es el caso de las tortugas marinas (ver Imagen N° 9, extraída de Carson et al., 2011).

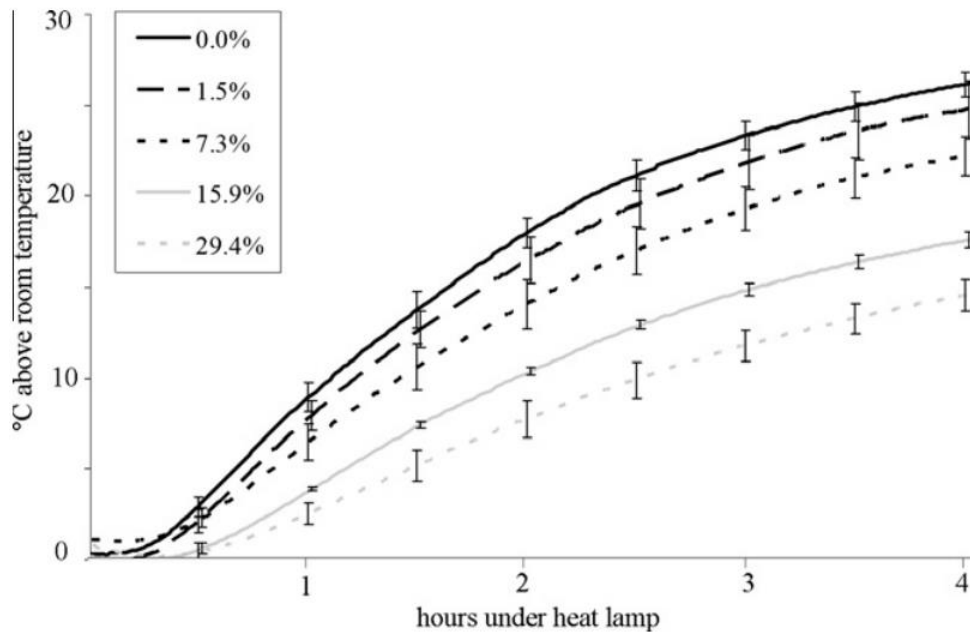


Imagen N° 9: Propiedades aislantes del plástico en núcleos sedimentarios construidos artificialmente, con una distribución estandarizada del tamaño de grano y variando la composición de fragmentos plásticos (en peso). Todos los materiales de construcción de los núcleos fueron tomados de Kamilo Beach, el tamaño de grano y la distribución de fragmentos plásticos con la profundidad se establecieron imitando las condiciones de Kamilo Beach. Tres réplicas de los núcleos fueron construidos para cada proceso. Los núcleos fueron ubicados en cilindros de espuma de poliestireno con registradores de temperatura en el fondo y calentados con una lámpara de calor durante 4 horas. La temperatura dentro de los núcleos fue estandarizada con un registrador por separado, para asentar las variaciones en la temperatura del laboratorio durante las pruebas. (Extraído de Carson et al., 2011).

Además de las problemáticas expuestas precedentemente, y gracias a la flotabilidad positiva de muchos materiales plásticos (ya sea por su forma geométrica o por la densidad del material), éstos pueden actuar en el medio marino como transporte de individuos desde zonas muy alejadas, los que pueden ser patógenos o invasores, y tienen en potencial de colonizar y/o afectar a las comunidades nativas (Stolte, 2015). Zettler et al., 2013, han denominado “Plastisphere” a las comunidades microbianas de heterótrofos, autótrofos, depredadores y simbioses que viven sobre los plásticos. Algunas veces son colonizadas también por patógenos oportunistas, tales como miembros del género *Vibrio*. Las comunidades que viven en las “Plastisphere” son diferentes a las del agua que las rodea, lo que implica que los plásticos sirven como hábitats ecológicos nuevos en el océano abierto, que tienen una vida media muy superior en comparación a la mayor parte de los substratos naturales y una superficie hidrofóbica que promueve la colonización microbiana y la formación de biofilms (Zettler et al., 2013).



Análisis efectuados en secuencias de ADN confirmaron que las comunidades asentadas en los plásticos eran consistentemente distintas a las del agua circundante. Por ejemplo, cianobacterias filamentosas fotosintéticas, incluyendo unidades taxonómicas operacionales de *Phormidium* y *Rivularia* se hallaron en plásticos pero estaban ausentes de las muestras de agua. Los residuos plásticos marinos son ambientes selectivos hidrofóbicos que estimulan los colonizadores tempranos, conduciendo rápidamente a la formación de biofilms y a la sucesión de otros microbios. Adicionalmente, la estimulación de la respiración microbiana y el crecimiento en superficies inertes es un fenómeno caracterizado, en el que nutrientes diluidos son concentrados creando un ambiente favorable para la colonización microbiana (Zettler et al., 2013).

### 1.3 LAS MARISMAS COMO AMBIENTES COSTEROS RECEPTORES DE MICROPLÁSTICOS

Muchos de los estudios actualmente efectuados en investigaciones de microplásticos, se basan en el análisis de arenas de las playas (por ser costas arenosas con vegetación ausente o somera), sin embargo, en nuestro país existen muchos sitios donde la morfología costera y las comunidades vegetales hacen de los humedales costeros lo que se conoce como marismas, es decir, una combinación de arena y vegetación.

Las marismas son ambientes intemareales que se diferencian de las planicies de marea por la presencia de vegetación vascular que puede ser halófito (plantas que pueden vivir en ambientes salinos) o no, según se trate de ambientes donde exista posibilidad de inundación de aguas saladas (Marcovecchio Jorge et. al. 2013). Las marismas más extensas y abundantes se hallan en el sur de Brasil, Uruguay y Argentina, en la Provincia de Buenos Aires. Estos sitios se caracterizan por extensos pastizales de *Spartina alterniflora* y *S. densiflora*, y grandes planicies barrosas densamente pobladas por cangrejos cavadores de los géneros *Neohelice* y *Uca* (Bortolus, 2008).

Las marismas brindan múltiples servicios ecosistémicos, muchos de los cuales se vinculan estrechamente con el océano, entre ellos se destacan: aporte de macro y micro nutrientes orgánicos e inorgánicos; oferta de refugio, alimento y áreas específicas de reproducción para aves y peces marinos; corredores ecológicos; refugio y alimento para larvas y adultos de invertebrados y peces en estadios vulnerables que luego migran al mar; y la retención y estabilización de una amplia variedad de contaminantes provenientes del mar o del continente (Bortolus, 2008).

Las marismas inciden de modo directo en la integridad de los ecosistemas oceánicos mediante procesos que tienden a aminorar su tasa de contaminación. Estudios recientes en marismas del Mar Patagónico muestran que la vegetación retiene una variedad de contaminantes originados, por diferentes causas, en el continente. Por ejemplo, los excedentes del uso de plaguicidas organoclorados (por ejemplo DDT, aldrin y dieldrin) y bifenilos policlorados de origen industrial utilizados en los diversos sistemas agrícolas sin mayores restricciones son concentrados en las principales cuencas y transportados hasta el mar. Este tipo de contaminantes son particularmente nocivos para la biota porque no suelen degradarse ni excretarse, y además son progresivamente acumulados en los tejidos lipídicos de invertebrados, peces, y mamíferos marinos (Bortolus, 2008).

El caso de estudio, se trata de una marisma salada (porque se inunda con agua de mar), siendo las plantas un factor esencial en el crecimiento y desarrollo de este ecosistema;



paralelamente, éstos ambientes por su baja energía hidrodinámica y la vegetación que intercepta los materiales pequeños, son probablemente sistemas de retención de microplásticos (Hidalgo-Ruz et al., 2012). De esta forma los residuos de esta vegetación generan una “resaca”, conformada principalmente por restos de *Spartina (alterniflora y densiflora)* y Jumes (*Sarcocornia perennis*), cuya flotabilidad positiva, equivalente a la de los microplásticos, impide la ejecución adecuada de las metodologías ya desarrolladas en la actualidad para playas de arena; así, el aporte de esta tesis se fundamenta en el desarrollo de una metodología de trabajo en estos particulares ecosistemas.

En la Imagen 10, que se muestra a continuación, se observa la distribución de la vegetación, y la abundancia de resaca en la zona del intermareal del área que se utiliza como caso de estudio de esta tesis.



Imagen 10: Distribución de vegetación y resaca en la zona utilizada como caso de estudio: Humedal Arroyo Pareja – Isla Cantarelli, Ciudad de Punta Alta. Elaboración propia.

En la Argentina existe gran cantidad de marismas donde puede aplicarse la metodología que se desarrollará en esta tesis, las principales se muestran en la Imagen 11.

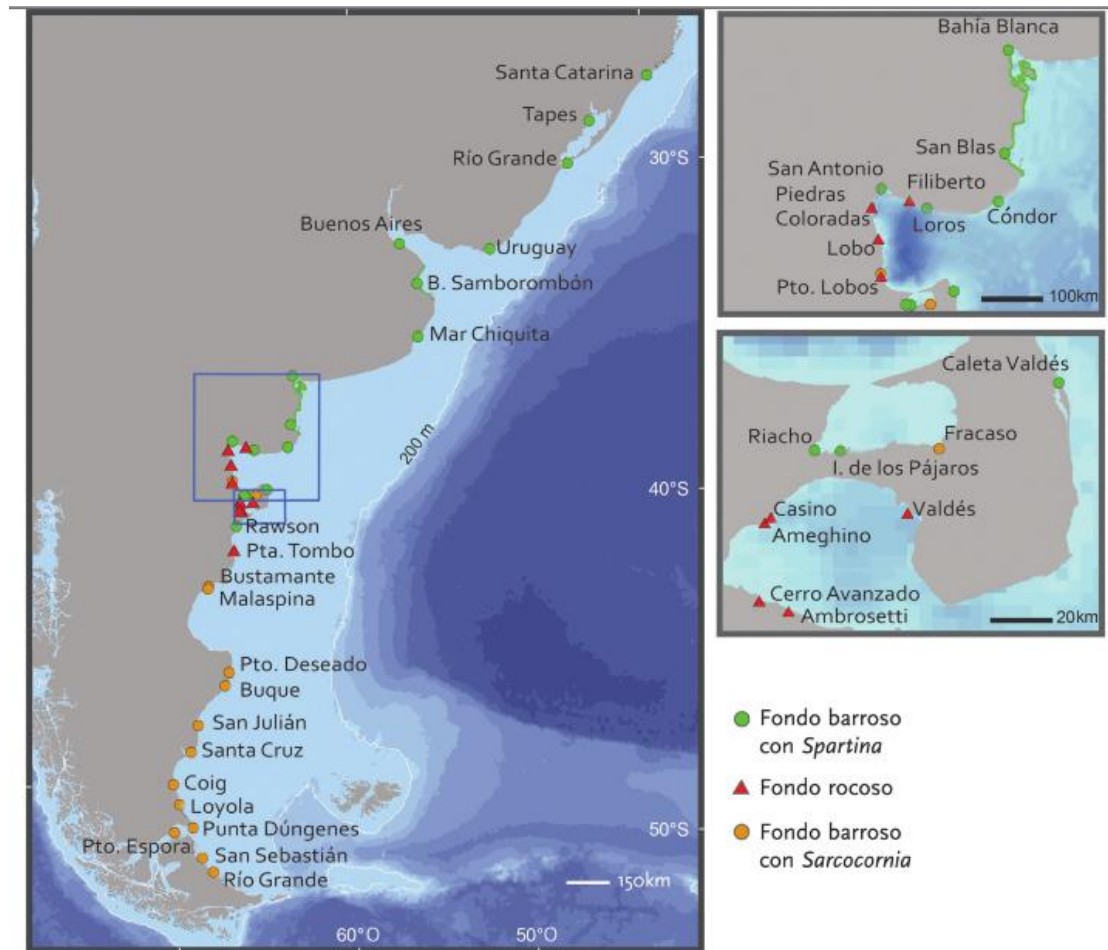


Imagen 11: Extraída de Bortolus, 2008: Principal patrón biogeográfico de las marismas del Mar Patagónico y zonas aledañas.

A nivel mundial, también existe una gran cantidad de marismas que se desarrollan en condiciones climáticas diversas, algunas de las cuales se enumeran a continuación (Marcovecchio Jorge et. al, 2013):

- Costa Atlántica europea (Norte de Europa, clima oceánico de latitud media) están representadas en numerosos complejos que se extienden entre la península Ibérica y Dinamarca, incluyendo las costas del Canal de la Mancha y del Mar del Norte. En estos sistemas, el límite inferior de la vegetación está caracterizado por la presencia de *Spartina anglica* y *Salicornia dolychostachya* con baja cobertura.
- Costa Atlántica de Norteamérica (clima subártico), la zona más baja de la franja intermareal, justo por encima del nivel medio de las bajamares está ocupada por extensas marismas dominadas por *Spartina alterniflora*. En el extremo norte de esta región, en la transición entre los climas subártico y templado, se encuentran

- las marismas de la Bahía de Fundy, en el sur de Canadá, donde además de la *Spartina alterniflora*, es común encontrar marismas de *Spartina patens*.
- Costa Atlántica de Norteamérica – Nueva Inglaterra (clima húmedo continental), existe predominancia de *Spartina alterniflora*, *Spartina patens*, y *Juncus gerardi*.
  - Costa Atlántica de Norteamérica – Planicie Costera (clima subtropical húmedo), más al sur, entre New Jersey y el golfo de México las temperaturas son mayores y también la evapotranspiración. *Spartina alterniflora* continúa siendo la especie dominante en las marismas bajas, pero a mayores elevaciones, cuando la inundación es menos frecuente, aparecen marismas mixtas de *Juncus roemerianus* y *Spartina patens*.
  - Costa occidental de Norteamérica, Bahía de San Francisco (Clima templado con veranos secos), en la porción inferior del estuario, las marismas bajas están ocupadas por *Spartina foliosa* y, en las marismas altas, *Salicornia virginica* es la especie dominante, a menudo acompañada por *Jaumea carnosa* y *Triglochin marítima* con baja cobertura.
  - Costa europea del Mediterráneo (Clima mediterráneo cálido), aunque este tipo de marismas han sido profundamente transformadas como resultado de las intensas actividades humanas desarrolladas en estos ambientes desde tiempos anteriores al imperio romano, el delta de río Ródano (La Camargue) es una de las áreas naturales más importantes de la región y su vegetación se caracteriza por especies halófilas arbustivas de bajo porte, en lugar de las típicas marismas herbáceas de Norteamérica.

Como se comenta en párrafos precedentes, la resaca costera (es decir, fragmentos de vegetación seca) tiene la misma flotabilidad positiva que los microplásticos, lo que impide la ejecución adecuada de los protocolos estandarizados para la separación de estos polímeros. En la Imagen 12, que se muestra a continuación, se observa una comparación de sedimentos arenosos con microplásticos, y sedimentos de una marisma conteniendo también microplásticos. Esta dificultad metodológica y la preponderancia de marismas costeras, podría ser una de las razones por las cuales a la fecha, no se ha efectuado ningún estudio de microplásticos en los sedimentos costeros de la Argentina.

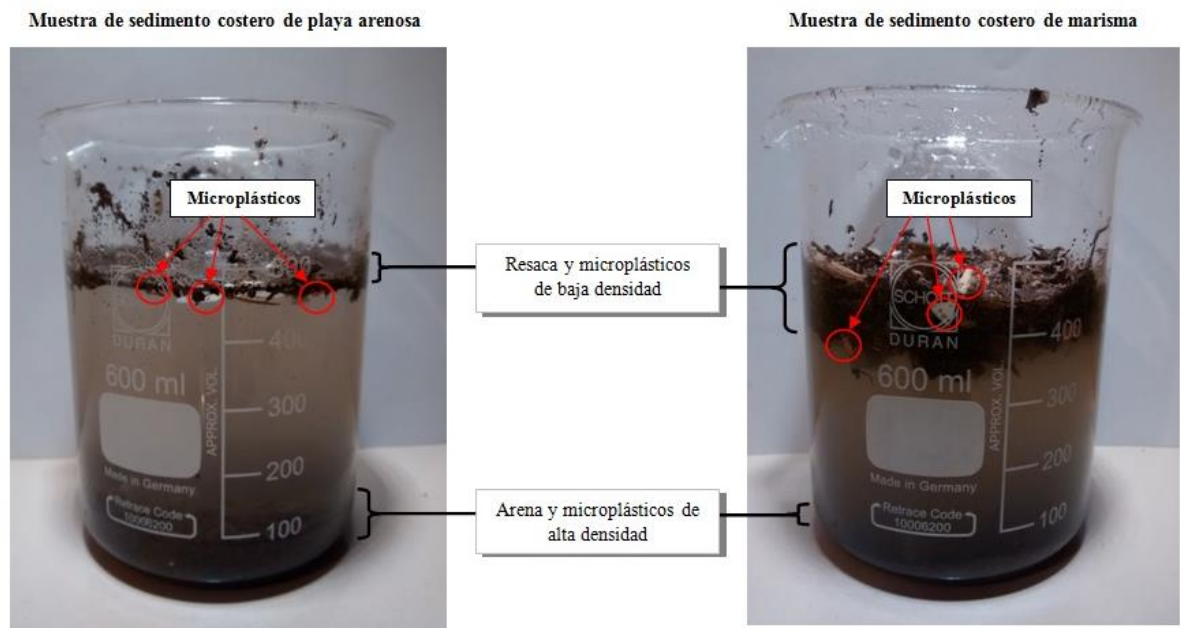


Imagen 12: Comparación de sedimento costero de una playa arenosa y una marisma. Elaboración propia.

### 1.3.1 EL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA COMO CASO DE ESTUDIO

El Estuario de Bahía Blanca es un accidente geográfico del Mar Argentino, ubicado en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. Las condiciones geomorfológicas permiten definir esta área como una llanura costera baja, hasta la cual llega la influencia de los movimientos de las mareas diarias. El estuario está compuesto por una densa red de canales de diversas dimensiones y de tipo divagante o meandroso, con orientación NO-SE; separados por islas de relieve plano y escasa altitud, amplias marismas bajas y extensas llanuras de marea. Las planicies de marea y marismas están sometidas a inundaciones diarias provocadas por las pleamares, lo que dificulta el arraigo de la vegetación (Ramborger y Lorda, 2010).

El detalle de las condiciones ambientales particulares de este sitio, se desarrollan en el punto 2.1 de esta tesis, donde se analiza la biocomplejidad en el contexto de monitoreo ambiental.

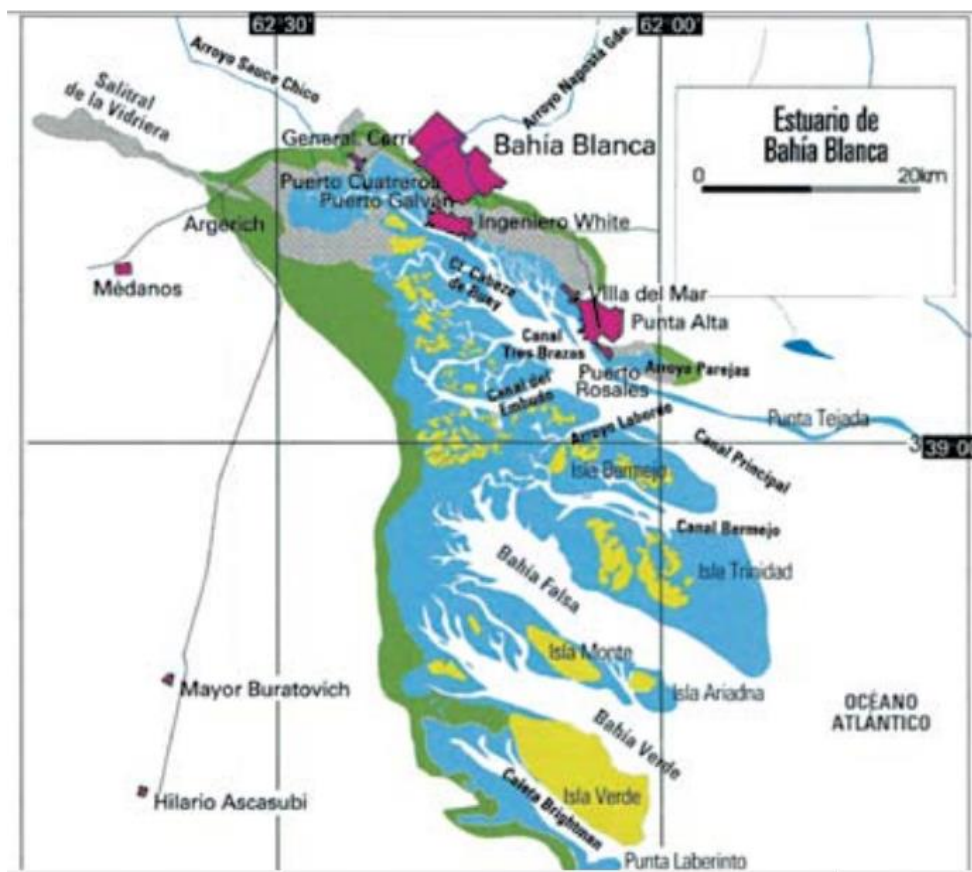


Imagen 13: Extraída de Perillo y Piccolo, 2004. Mapa general del Estuario de Bahía Blanca. Las Islas están en amarillo, las marismas en verde y las planicies de marea en celeste.

El Estuario de Bahía Blanca se utiliza como caso de estudio en esta tesis, ya que es factible la presencia de estos microplásticos tanto en su forma primaria como secundaria.

\*Primaria, por encontrarse empresas fabricantes de pellets plásticos en la costa del área de estudio.

\*Secundaria, por la presencia de varias ciudades (Bahía Blanca, Ingeniero White y Punta Alta), las que en ninguno de los casos posee un sistema de clasificación, recuperación o reciclaje de los materiales plásticos (sólo el efectuado por los recolectores informales), por lo que éstos materiales terminan dispuestos en basurales clandestinos, a cielo abierto o en el relleno sanitario de la ciudad de Bahía Blanca. Paralelamente, el funcionamiento parcial, o la falta de funcionamiento de las plantas de tratamiento de efluentes cloacales, permiten la introducción de materiales provenientes de desagües pluviales y cloacales, que se descargan de forma directa en el estuario. Las actividades de pescadores artesanales también favorecen la presencia de microfibras plásticas en el Estuario de Bahía Blanca. Del mismo modo, el gran tránsito de buques mercantes, y de la Flota de Mar de la Armada Argentina, también es un factor que favorece la presencia de estos micro, meso y macroplásticos en el área de estudio.

En un estudio realizado en el estuario del río Goiana (Costa y Barletta, 2015), se asocia las condiciones ambientales de estas particulares zonas, con sitios con una gran potencialidad de generar microplásticos producto de la degradación de macroresiduos plásticos, especialmente en las zonas donde existe una gran acumulación de vegetación ribereña. La degradación se asocia a diversos factores ambientales propios de los estuarios, tales como la radiación solar intensa, altos contenidos de materia orgánica y acción de las olas, que aceleran la fragmentación física y química de los polímeros. Al mismo tiempo, estos factores incrementan el tiempo de residencia de los microplásticos en estos ambientes costeros, y actúan como sitio de transporte de estos contaminantes al medio marino.

En esta zona del Estuario de Bahía Blanca, la complejidad del intermareal es uno de los mayores desafíos, al mismo tiempo que permite diseñar una metodología que se adapte a zonas donde las características fitogeográficas sean equivalentes. La trascendencia del área de estudio radica no sólo en que este ecosistema es una marisma por sí misma, sino



además porque como tal, la vegetación que la compone sirve de alimento para diversas especies animales al mismo tiempo que actúa como protección, permitiendo utilizarla como áreas de desove y desarrollo de juveniles (Marcovecchio et al., 2013). Además, desde el punto de vista ecológico, el estuario de Bahía Blanca recibe gran cantidad de aves migratorias, algunas de las cuales se encuentran en peligro de extinción (Petracci y Sotelo, 2013) y también se desempeña como sitio de importancia en la reproducción de varias especies de peces de interés comercial, por ello, es de trascendencia conocer la existencia de amenazas asociadas a la presencia de los microplásticos en este ambiente.

#### 1.4 TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS

El estudio de microplásticos en el medio marino se encuentra en una fase de desarrollo, por lo que actualmente no existe una metodología estandarizada para la separación de estos polímeros del medio marino, ya sea en muestras tomadas de la columna de agua, de la superficie del agua o de sedimentos. Sin embargo, en un estudio (Hidalgo-Ruz et al., 2012) donde se compararon 68 metodologías distintas utilizadas para la identificación y cuantificación de microplásticos, se identificaron 4 pasos en común: separación por densidades, filtración (para recolección de microplásticos en la columna de agua), tamizado e inspección visual.

La separación por densidades se realiza de varias maneras, utilizando Ioduro de Sodio (Nuelle et al., 2014), Cloruro de Sodio, (Thompson et al. 2012, y NOAA, 2015), flujos de aire inducido (Nuelle et al., 2014), Metatungsteno de Litio (NOAA, 2015), agua de mar, entre otros. Siguiendo el criterio de la GESAMP (2010), una de las metodologías que se utilizará como base en esta tesis para la separación de los microplásticos será la del NOAA, 2015: “*Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments.*” Este manual permite separar materiales sólidos, del rango de tamaño (desde 5mm a 0,3mm) que resiste una oxidación con peróxido de hidrógeno (al 30%), exhibe flotación positiva en una solución 0,5 M de NaCl (densidad = 1,15 g/ml) y pasa una inspección visual. Para la inspección visual se utilizará la Guía de la MERI: “*Guide to Microplastic Identification*”, en la que se desarrolla detalladamente una metodología para distinguir los microplásticos al microscopio, orientando al investigador para no confundir estos polímeros con otros elementos frecuentemente encontrados en muestras colectadas.

Una vez separados los microplásticos, tampoco existe actualmente una metodología que permita una identificación fehaciente de cada tipo de plástico (aunque ensayos con espectroscopía infrarroja - tales como los planteados por Rist y Hartmann, 2018.-, están arrojando buenos resultados), en general para estudios como el que se propone en esta tesis, se utilizará una identificación basada en la separación por densidades de los materiales, y una corroboración visual del material, clasificándolos sólo en microplásticos primarios y secundarios sin ahondar en el tipo específico de polímero plástico. Por ello, para la última etapa en la determinación de los microplásticos, que consiste en la inspección visual de los materiales separados, se utilizará una combinación de las metodologías de la MERI (Marine & Environmental Research



Institute), y de Kosuke et, al, 2016. La primera aunque está más orientada a la detección de microplásticos en un rango de tamaño menor que el abordado en esta tesis, sienta bases simples para permitir una identificación objetiva de los microplásticos, y para ser conservador, recomienda que ante la presencia de observaciones dudosas no se contabilicen como tales. En cuanto a la metodología de Kosuke et, al, 2016, para la identificación ocular de los microplásticos, se detalla la caracterización de los pellets plásticos de otros microplásticos secundarios, del mismo modo que propone una caracterización por forma, tamaño, color, y flotabilidad, entre otros.

Por otro lado, cabe destacar que otro de los inconvenientes actuales es la falta de disponibilidad de una metodología estandarizada para la separación de los microplásticos, que está asociada incluso con las unidades de medida utilizadas para estimar su abundancia, ya que en algunos estudios se habla de “ítems por m<sup>2</sup>” mientras que en otros se refiere a “ítems por m<sup>3</sup>”. Esto dificulta la comparación espacio-temporal de la abundancia de microplásticos a través de distintos ambientes costeros.

#### **1.4.1 DESAFÍOS TÉCNICOS EN LA DETECCIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN AMBIENTES COSTEROS DE MARISMAS**

Tal como Hidalgo-Ruz et al., 2012 afirman: “*Es necesario el desarrollo de nuevos métodos para separar los microplásticos de muestras crudas o con grandes cantidades de residuos orgánicos para mejorar la eficiencia de los programas de muestreo.*” Como más adelante se detallará, el desafío de los ambientes de marismas es precisamente la presencia de grandes cantidades de materia orgánica proveniente de la vegetación halófila del intermareal, llamada comúnmente “resaca”.

En esta tesis, en lo que respecta a la zona del intermareal donde se tomarán las muestras, se trabajará con varios sectores de la franja costera para poder identificar aquel que resulte de mayor representatividad para el estudio de los microplásticos en el caso de estudio. Este aspecto, sienta las bases para poder efectuar un monitoreo a posteriori.

Del mismo modo, otro desafío es la profundidad a la cual son extraídas las muestras. En el caso de las marismas, a la dificultad de determinar una profundidad adecuada de extracción de las muestras, se le agrega el hecho de que en algunos casos en la franja costera del estuario de Bahía Blanca el colchón de resaca tiene un espesor variable alcanzando los 40 cm de profundidad en algunos casos.

## 1.5 ESTADO DEL ARTE

Aunque la existencia de microplásticos en el medioambiente se conoce desde hace cuatro décadas, el interés en esta temática por parte de la comunidad científica a nivel internacional es reciente. De hecho, durante la última década se registró un pronunciado incremento en la cantidad de publicaciones científicas dedicadas a los impactos de los residuos plásticos en el medio marino, cuestión que puede observarse en la Imagen 14.

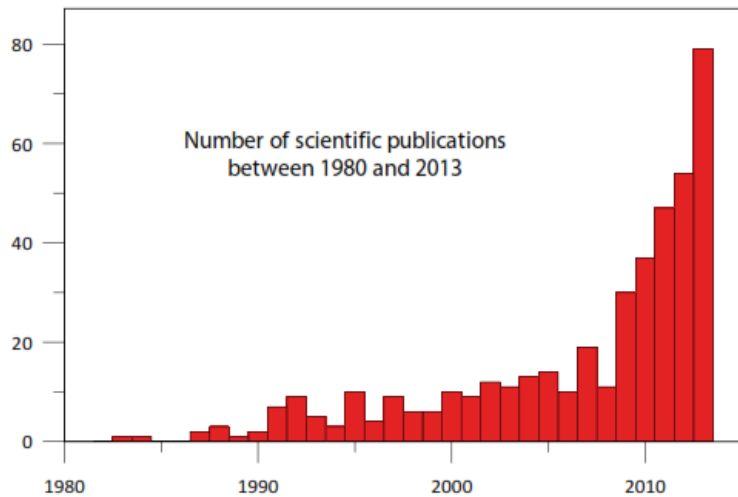


Imagen 14, Extraída de UICN 2014: Esta imagen muestra el incremento en el número de publicaciones científicas durante la última década dedicadas a los impactos de los residuos plásticos marinos. En el 2013, 79 artículos publicados pre-revisados, contenían las palabras marino, plástico y residuos (Base de datos: Web of Knowledge).

Si bien la imagen precedente no es exclusiva de los microplásticos, sino de los residuos plásticos en el medio marino de modo genérico, esto sentó las bases para un desarrollo posterior específico de esta temática que se produjo casi en forma paralela. De hecho, en lo que respecta a microplásticos en sedimentos, tema específico de esta tesis, en la imagen a continuación puede observarse la correspondencia referida (Van Cauwenberghe et al, 2015).

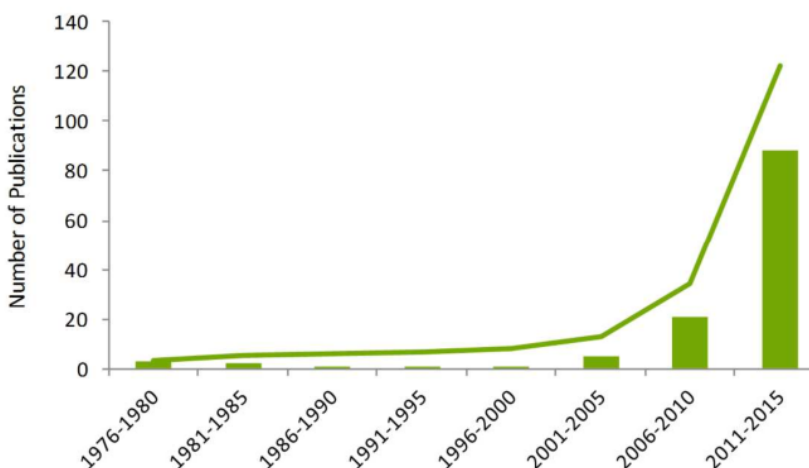


Imagen 15, Extraída de Van Cauwenberghe et al, 2015: Evolución en las publicaciones vinculadas a "microplásticos en sedimentos". Las barras representan el número de publicaciones correspondientes a un periodo de 5 años, mientras la curva representa la distribución acumulativa de la literatura publicada desde 1975.

Aunque se generó un incremento en el interés de la comunidad científica a nivel internacional, éste se distribuyó alrededor del planeta en forma despareja, acentuándose en el hemisferio norte donde en varios estudios se utilizaron los registros históricos de plancton conteniendo microplásticos, como punto de partida de estudios a largo plazo respecto a la presencia de estos materiales en la columna de agua (Melaniel et al., 2015). Por otro lado, la Marine Strategy Framework Directive de la Comisión Europea viene impulsando desde el año 2008 la investigación asociada a los residuos marinos, entre ellos, los microplásticos. Esto generó la publicación de gran cantidad de artículos de divulgación científica y desarrollo de metodologías para la separación de microplásticos en el medio ambiente marino del hemisferio norte.

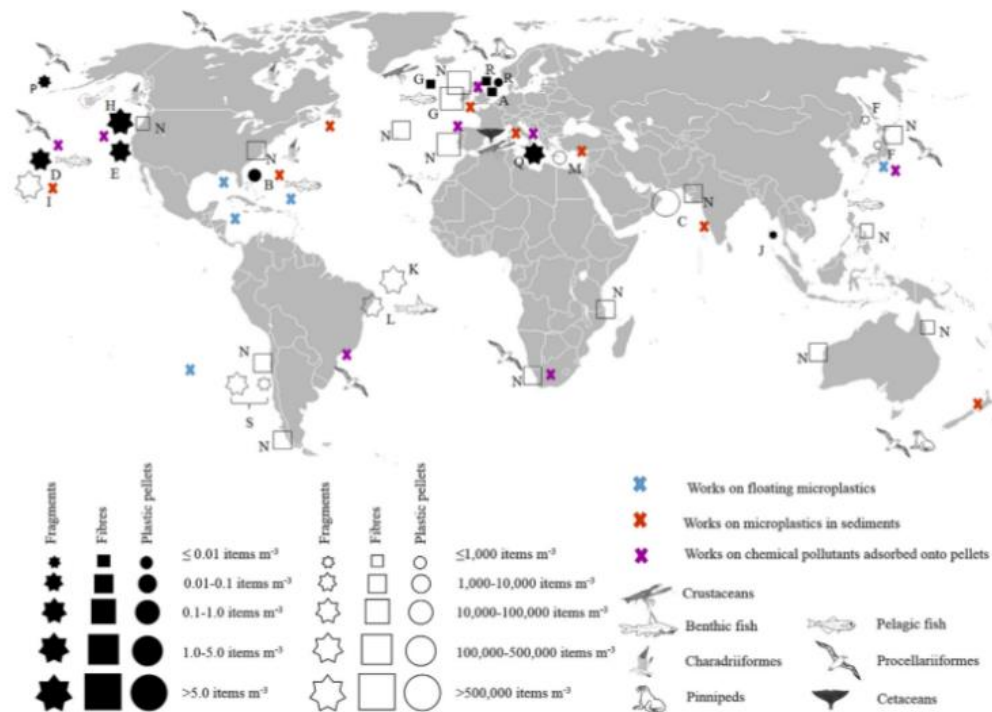


Imagen 16, Extraída de Stolte, 2015: Mapa mundial de todas las mediciones de microplásticos publicadas hasta mediados del 2013, compiladas según Ivar do Sul et al. (2014). El tamaño del símbolo representa la concentración medida de fragmentos de microplásticos (estrellas), fibras (cuadrados) y pellets (círculos), y está escalado según el número de piezas por metro cúbico de agua de mar (símbolos llenos) y sedimentos (símbolos vacíos). Las cruces representan detecciones fuera de las escalas presentadas, y las detecciones de microplásticos en animales son expresadas como los grupos representativos de animales. La lista extensiva de las referencias individuales puede ser encontrada en Ivar do Sul et al. (2014. Letras (A)-(S) en la figura 1).

En el hemisferio sur, en Latinoamérica y una importante región del Caribe, un estudio efectuado por Ivar do Sul y Costa, 2007, reveló que la zona de estudio si bien alberga 52 países con franjas costeras, sólo 14 tenían registros de trabajos realizados acerca de los residuos marinos. De un total de 70 investigaciones, el 70% corresponden al Brasil,

siendo las playas los ambientes más estudiados, y donde la presencia de plásticos se corresponde con los residuos más abundantes en toda la región, siguiendo los patrones conocidos a nivel global. Aunque no es específico de los microplásticos, este estudio muestra que Latinoamérica (con excepción de Brasil) en general carece de estudios vinculados a la problemática de los plásticos en el medio marino. En el mismo sentido, Costa y Barletta, 2015, manifiestan que en Sudamérica, especialmente por la gran densidad poblacional y desarrollo industrial en la costa este, donde los ríos corren hacia el Atlántico, la contaminación por plásticos y microplásticos está asociada al pobre manejo de las cuencas ribereñas. Se conoce muy poco al respecto de los microplásticos, por lo que sólo puede inferirse que este tipo de plásticos sigue los mismos patrones que los macroresiduos, ingresando al medio marino desde las cuencas de los ríos. Las cuencas de los ríos Sudamericanos son particularmente interesantes, dado el volumen y su relevancia ecológica a nivel mundial, en este sentido, el estuario del Río de la Plata es un sitio que debería estudiarse, tanto en lo que respecta a los micro y macro residuos plásticos, dada su importancia ecológica, social y económica, cabe resaltar que además el Río de la Plata engloba un Sitio RAMSAR, y parte del Programa sobre el Hombre y la Biósfera (MaB de la UNESCO) desde el año 2000. Al respecto, Acha et al., 2003, analizan el rol del frente salino del Río de la Plata en el proceso de acumulación de residuos en general. Hasta la fecha, éste es el único artículo de divulgación científica del país que analiza éste sitio en relación a los residuos marinos, concluyendo que los plásticos en general y las bolsas plásticas en particular, son los dos tipos de residuos más registrados en este sitio. Esta es una razón más para centrar la atención en el estudio de los microplásticos en la Argentina.

En lo que respecta a investigaciones a nivel nacional, vinculadas a la temática de los microplásticos, hasta la fecha se han encontrado muy pocos registros de estudios a nivel científico. Las principales fuentes en las que se ha indagado para afirmar esta carencia de estudios, se listan en el cuadro a continuación.

Cuadro N° 4: Registros de búsqueda de publicaciones nacionales, con las palabras clave “microplástico”, “microplastic”, “micro plástico”, “fragmentos plásticos”, y “micro residuos plásticos”. Elaboración propia.

Fuente: Biblioteca electrónica de Ciencia y Tecnología, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Presidencia de la Nación. Web: <a href="http://www.biblioteca.mincyt.gob.ar">http://www.biblioteca.mincyt.gob.ar</a> Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros, búsqueda en ACCESO ABIERTO – Títulos en curso – Títulos cerrados – Colección completa – Publicaciones Periódicas - Fecha: 30/01/2020		
Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	0	0
Microplastic	0	0
Micro plástico	0	0
Fragmentos plásticos	0	0
Micro residuos plásticos	0	0
Fuente: Biblioteca electrónica de GeoScienceWorld Web: <a href="https://pubs.geoscienceworld.org/">https://pubs.geoscienceworld.org/</a> Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros Fecha: 31/01/2020		
Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	0	0
Microplastic	9	0
Micro plástico	0	0
Fragmentos plásticos	0	0
Micro residuos plásticos	0	0
Fuente: Biblioteca electrónica de Nature Journals Web: <a href="http://www.nature.com/">http://www.nature.com/</a> Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros Fecha: 31/01/2020		
Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	0	0
Microplastic	108	0
Micro plástico	5	0
Fragmentos plásticos	0	0
Micro residuos plásticos	0	0

Fuente: Biblioteca electrónica de la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.

Web: <https://www.redalyc.org/>

Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros

Fecha: 03/02/2020

Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	7	0
Microplastic	4	0
Micro plástico	2	0
Fragmentos plásticos	1	0
Micro residuos plásticos	0	0

Fuente: Scientific Electronic Library Online

Web: <https://search.scielo.org/?lang=es>

Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros

Fecha: 03/02/2020

Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	1	0
Microplastic	5	0
Micro plástico	12	0
Fragmentos plásticos	9	0
Micro residuos plásticos	3	0

Fuente: Biblioteca digital de la editora Springer Link

Web: <https://link.springer.com/>

Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros

Fecha: 23/04/2020

Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	3	0
Microplastic	2370	1
Micro plástico	25	0
Fragmentos plásticos	11	0
Micro residuos plásticos	5	0

Fuente: Repositorio Institucional CONICET Digital, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Presidencia de la Nación.

Web: <http://ri.conicet.gov.ar/>

Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros, en todo el repositorio

Fecha: 10/02/2020

Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	1	0
Micro plástico	3	0
Microplastic	5	1
Fragmentos plásticos	2	0

Micro residuos plásticos	1	0
<p>Fuente: Biblioteca central en línea de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba  Web: <a href="http://www.frc.utn.edu.ar/bibliotecaCentral/nueva/">http://www.frc.utn.edu.ar/bibliotecaCentral/nueva/</a>  Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros, en toda la base de datos.  Fecha: 10/02/2020</p>		
Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	0	0
Micro plástico	0	0
Microplastic	0	0
Fragmentos plásticos	0	0
Micro residuos plásticos	0	0
<p>Fuente: Repositorio Institucional Abierto de la Universidad Tecnológica Nacional, incluye material de todas las Facultades Regionales del país, del Instituto Nacional Superior de Profesorado Técnico, Rectorado, Unidad Académica Mar del Plata y Unidad de Gestión RIA.  Web: <a href="http://ria.utn.edu.ar/">http://ria.utn.edu.ar/</a>  Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros, en toda la base de datos.  Fecha: 10/02/2020</p>		
Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	0	0
Micro plástico	70	0
Microplastic	0	0
Fragmentos plásticos	19	0
Micro residuos plásticos	152	0
<p>Fuente: Catálogo de Libros de la Biblioteca Central de la Universidad Nacional del Sur,  Web: <a href="http://catalis.uns.edu.ar/cgi-bin/catalis_pack_demo_devel/wxis?IsisScript=opac/xis/opac.xis&amp;db=allbc&amp;showForm=simple">http://catalis.uns.edu.ar/cgi-bin/catalis_pack_demo_devel/wxis?IsisScript=opac/xis/opac.xis&amp;db=allbc&amp;showForm=simple</a>  Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros, catálogo completo.  Fecha: 10/02/2020</p>		
Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	0	0
Micro plástico (en este catálogo: Micro AND plástico)	0	0
Microplastic	0	0
Fragmentos plásticos (en este catálogo: Fragmentos AND plásticos)	0	0
Micro residuos plásticos (en este catálogo: Micro AND residuos AND plásticos)	0	0



Fuente: Catálogo de Libros de la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Web: <http://biblio2.mdp.edu.ar/>

Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros, catálogo completo.

Fecha: 10/02/2020

Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	0	0
Micro plástico	4	0
Microplastic	0	0
Fragmentos plásticos	0	0
Micro residuos plásticos	2	0

Fuente: Biblioteca Digital de la Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Web: <https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/>

Filtros utilizados para la búsqueda: Sin filtros, catálogo completo.

Fecha: 10/02/2020

Palabras clave del título	Resultados de la búsqueda	Resultados relacionados a la temática abordada en esta tesis
Microplástico	2	0
Micro plástico	80	0
Microplastic	0	0
Fragmentos plásticos	5	0
Micro residuos plásticos	87	0

En el año 2019, Arias A. H., Ronda C. A., Oliva A. L., y Marcovecchio J. E. publicaron en la Revista de divulgación científica Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Número 102, páginas 750 a 756, un artículo titulado: “*Evidence of Microplastic Ingestion by Fish from the Bahía Blanca Estuary in Argentina, South America.*” Este se constituye como el primer antecedente de un registro de ingestión de microplásticos, por parte de una especie de pez comercial (*Micropogonias furnieri*) en el Estuario de Bahía Blanca. Aunque no se trata específicamente de la presencia de microplásticos en sedimentos costeros, es una de las pocas publicaciones hasta la fecha donde se registró la presencia de microplásticos en el entorno del Estuario de Bahía Blanca, el caso de estudio de esta tesis. El 100% de los peces juveniles que han sido tomados como muestras, contenían microplásticos en su tracto digestivo, los que estaban distribuidos de la siguiente manera: 60,8% eran fibras, 28,9% pellets, 8,6% fragmentos, y 1,4% láminas. El tamaño promedio de los microplásticos fue de 2,4 mm. En este sentido, los autores destacan que el número de microplásticos por individuo excede los reportes en estudios marinos efectuados previamente a escala global.

Además, éstos contaminantes del medio marino parecen afectar el índice hepatosomático de los individuos, lo que sugiere un estrés en su condición física.

En el año 2019, Severini M. D. F., Villagran D. M., Buzzi N. S., y Sartor G. C. publicaron en la Revista de divulgación científica *Regional Studies in Marine Science*, Número 32, Artículo 10089, una publicación titulada: “Microplastics in oysters (*Crassostrea gigas*) and water at the Bahía Blanca Estuary (Southwestern Atlantic): An emerging issue of global concern”. En este estudio, se hallaron densidades de microplásticos del orden de 5900 a 782000 partículas/m<sup>3</sup>, utilizando botellas Van Dorn para la toma de muestras, y 42,6 a 113,6 partículas/m<sup>3</sup> utilizando redes para plancton con una abertura de malla de 60µm. Las microfibras representaron el mayor porcentaje de microplásticos contabilizados tanto en la columna de agua como en las ostras. Los autores asocian esta gran cantidad de microfibras a la actividad portuaria (principalmente por el desgaste de la cabuyería), a la pesca y a los efluentes domésticos. En este sentido se destaca que, al igual que en la publicación referida en el párrafo anterior, las fibras representan el mayor porcentaje de los microplásticos hallados en el área de estudio.

Aunque no relacionadas de forma directa a los microplásticos, existen otras publicaciones de la Argentina, vinculadas a los residuos plásticos en el medio marino, las que son citadas en varios artículos de divulgación científica, tesis de grado y postgrado. Entre ellas se destacan las siguientes:

- Oscar Iribarne, Florencia Botto, Paulina Martinetto y Jorge L. Gutierrez, “The Role of Burrows of the SW Atlantic Intertidal Crab *Chasmagnathus granulata* in Trapping Debris”, *Marine Pollution Bulletin*, Vol 40, No 11, pp. 1057-1064, año 2000.

Este artículo analiza la influencia de las madrigueras construidas por el Cangrejo Cavadador en la retención de los residuos en ambientes de marismas. Cabe destacar, que esta especie de cangrejos, aunque estudiados en la Laguna Costera Mar Chiquita, es la misma especie presente en el Estuario de Bahía Blanca. La investigación afirma que las áreas en las que se asienta el Cangrejo Cavadador, tienen una mayor cantidad de residuos (principalmente plásticos) en la superficie, al mismo tiempo que enterrados en el sedimento costero, en comparación a áreas sin cangrejos. A través de experimentos, se demostró también que gracias a sus características hidrodinámicas, las madrigueras de estos animales presentes en las

marismas actúan de forma pasiva entrapando los residuos e incrementando su tiempo de retención, lo que puede afectar a la fauna bentónica al quedar expuesta a estos residuos. Así, sus resultados sugieren que al margen de las corrientes y patrones del viento, la presencia de grandes cantidades de especies excavadoras debe ser considerada a la hora de analizar las variabilidades en la acumulación de residuos. Aunque el artículo analiza tamaños de grano que van desde los 0,0625mm, pasando por una malla de abertura 5mm (es decir, que estarían incluidos dentro de la clasificación de microplásticos, aunque en el artículo no se nombren como tales), no se especifican los tamaños de residuos plásticos recolectados, sino que sólo se refiere al peso total, lo cual no permite tener una idea clara de la distribución de residuos respecto a su tamaño o clasificación como microplásticos primarios y secundarios. Aunque esto es lógico, ya que el objetivo de la investigación era otro, éste hubiese sido un antecedente de relevancia en la temática de los microplásticos en la Argentina.

- Pablo Denuncio, Ricardo Bastida, Mariela Dassis, Gisela Giardino, Marcela Gerpe y Diego Rodríguez, “Plastic ingestion in Franciscana dolphins, *Pontoporia blainvillei* (Gervais and d’Orbigny, 1884), from Argentina”, *Marine Pollution Bulletin*, año 2011 (doi:10.1016/j.marpolbul.2011.05.003).

Este paper analiza la ingestión de residuos plásticos en 106 delfines Franciscana, capturados accidentalmente por pesqueros artesanales de la costa norte de la Argentina. El 28% de los delfines presentaron residuos plásticos en su estómago, aunque la proporción era más frecuente en aquellos que viven en ambientes de estuarios (34,6%) en comparación al medio marino (19,2%). Los residuos plásticos se clasificaron según su fuente en dos tipos principales: aquellos relacionados a la actividad pesquera (líneas monofilamento, cabullería, y fragmentos de redes) y residuos de embalajes (banditas elásticas, celofán, bolsas plásticas, etc); aquellos que no se pueden identificar se clasificaron como desconocidos; aunque los residuos fueron contados, pesados y clasificados por tipo y fuente, no pueden sacarse conclusiones respecto al contenido estomacal de microplásticos específicamente. Al respecto, los resultados indican que los residuos de embalajes plásticos (celofán, bolsas y banditas elásticas) se hallaron en el 64,3% de los delfines, una proporción menor (35,7%) se correspondió a

equipos de pesca (líneas de monofilamento, cabullería y redes) y un 25% es de fuentes desconocidas. La ingestión de los residuos plásticos se correlacionó también con el estado ontogénico de los individuos, incrementándose la frecuencia en aquellos recién destetados.

- Eduardo M. Acha, Hermes W. Mianzan, Oscar Iribarne, Domingo A. Gagliardini, Carlos Lasta y Pedro Daleo, “The role of Río de la Plata bottom salinity front in accumulating debris”, Marine Pollution Bulletin No 46, pp. 197 – 202, año 2003.

Este artículo analiza la presencia de residuos en el ecotono formado entre el río y el estuario del Río de la Plata, caracterizado por un frente salino en su fondo. Basándose en muestras del fondo y de la zona costera, concluyeron que los plásticos en general (22%) y las bolsas plásticas en particular (55%), son los residuos más abundantes en ambas zonas estudiadas, acumulándose principalmente en los fondos del río y de la zona del estuario, en coincidencia con el desarrollo del frente salino. Este ecotono alberga procesos de gran importancia ecológica, ya que constituye el sitio reproductivo de dos de las especies más abundantes del estuario, la corvina blanca (*Micropogonias furnieri*) y la Saraca (*Brevoortia aurea*), al mismo tiempo que densas poblaciones de bivalvos *Mactraisa belleana*, de los que se alimenta la corvina blanca.

- Sofía Copello y Flavio Quintana, “Marine debris ingestion by Southern Giant Petrels and its potential relationships with fisheries in the Southern Atlantic Ocean”, Marine Pollution Bulletin, No 46, pp. 1504-1515, año 2003.

El Petrel Gigante del Sur fue estudiado en la Isla Arce, Patagonia Argentina, donde un total de 73 muestras de alimento fueron extraídas de 73 polluelos elegidos al azar. Los residuos fueron clasificados en plásticos (incluyendo bolsas plásticas, tapas, etc), líneas plásticas, vegetales (incluyendo cáscaras de cebollas, papas, mazorcas de maíz), papel de aluminio, papel, madera y otros (incluyendo espuma de goma, cables, sogas y espuma de poliestireno). Cada ítem fue pesado, concluyéndose que el 73% de las muestras analizadas contenían residuos marinos, siendo los plásticos los más frecuentes (66%), seguido de las líneas plásticas (36%) y los vegetales (34%). Este estudio asocia la mayor parte de estos residuos



a la industria pesquera. Los ítems plásticos no fueron clasificados por tamaños, razón por la cual no pueden establecerse correlaciones con el contenido estomacal de microplásticos.



# 2 DETECCIÓN Y MONITOREO

---

*“Los polímeros sintéticos, comúnmente conocidos  
como plásticos se han convertido en parte  
permanente del medioambiente marino por primera  
vez en la larga historia planetaria de los mares.”*

**(Capitán Charles James Moore)**

## **2.1 LA BIOCOPLEJIDAD EN EL MONITOREO AMBIENTAL (ADAPTADO Y TRADUCIDO DE ARTIOLA ET, AL. 2004)**

Los cambios ambientales ocurren de forma natural, y son parte o el resultado de múltiples ciclos e interacciones. Los científicos ambientales estudian la dinámica de estos ciclos y sus integraciones, interconexiones y dominios. El medioambiente es un continuum de procesos físicos, químicos y biológicos que no pueden ser fácilmente separados unos de otros, lo que técnicamente se conoce como biocomplejidad, es decir “la interdependencia de los elementos en sistemas ambientales específicos, y las interacciones entre distintos tipos de sistemas.” Así, la investigación de componentes individuales de los sistemas ambientales proveen información limitada del sistema en sí mismo (Artiola et al, 2004). En el estudio de los microplásticos en ambientes costeros de marismas, es menester considerar los factores más importantes que interactúan en este ambiente, para determinar de qué forma se puede diseñar una metodología de monitoreo eficiente y representativa.

En líneas generales, el monitoreo ambiental consiste en la observación y el estudio del medioambiente. Científicamente, lo que se busca es recolectar datos, a partir de los cuales se puedan generar conocimientos, siguiendo para ello el método científico. De esta forma, el conjunto de observaciones objetivas genera datos, que a su vez al ser interpretados, proveen información valiosa. Así, las observaciones y mediciones basadas en el método científico mejoran nuestro entendimiento del medioambiente y nos llevan a tomar decisiones más sabias.

### 2.1.1 PRINCIPALES FACTORES AMBIENTALES EN EL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA

Para el estudio y monitoreo de microplásticos en ambientes costeros de marismas, es necesario conocer los factores que influyen en estos ambientes altamente dinámicos. A continuación se resumen los principales agentes de cambio en estas zonas costeras (adaptado de Bértola, 2016) y específicamente en la marisma del Estuario de Bahía Blanca como caso de estudio:

- **EL VIENTO:** en líneas generales el sol calienta la tierra, el agua y el aire que la rodea, pero éste calentamiento no es uniforme: el aire se calienta más en ciertas partes del planeta que en otras y a mayor calentamiento, el aire se torna más liviano y se eleva, dando lugar a zonas de bajas presiones y, por consiguiente a los vientos.

En la zona de caso de estudio de esta tesis, los vientos predominantes (40%) son del cuadrante noroeste, y su velocidad media anual es de 24 km/h (período 1971-1990), además hay ráfagas que alcanzan los 100 km/h. Estos vientos, generan olas, mareas de tormentas, y variaciones del nivel del mar en el estuario de Bahía Blanca (Perillo et al., 2001).

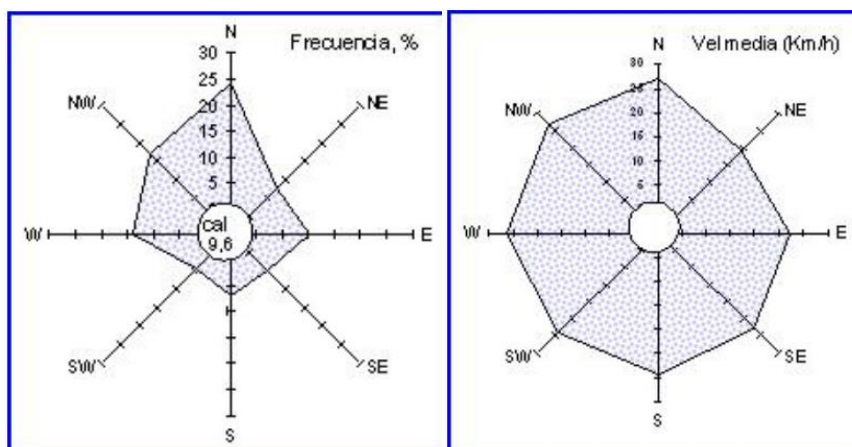


Imagen 17: Rosa de los vientos para Bahía Blanca - Izquierda: Frecuencia por direcciones. Derecha: Frecuencia por velocidad. Fuente: Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur



- **LAS OLAS:** las olas son movimientos ondulatorios de la superficie del mar, generados por el viento al soplar sobre grandes extensiones de agua. Las olas pueden variar sus dimensiones, de acuerdo con su origen, ya que el viento, al soplar sobre el mar, las genera con alturas y características diferentes.

En el tramo medio del Estuario de Bahía Blanca, Perillo et al., 2013, proponen tres tipos de olas:

- Formadas por la acción del viento
- Formadas por la interacción del viento
- Formadas por las corrientes de marea

En los lugares donde los fuertes vientos predominantes del cuadrante N y NO soplan paralelos a los canales grandes, como es común a lo largo del Canal Principal del Estuario de Bahía Blanca, se forman olas de interacción (con el viento) con gran pendiente, de hasta 1,5m de altura y con longitudes de onda del orden de 10 a 30m. Una vez generadas, estas olas se propagan contra los flancos, lo que contribuye a su erosión mecánica. Eventualmente, estas olas desaparecen con el viento por el cambio de dirección de la marea. Sin embargo, el efecto principal de los vientos predominantes en la región es adelantar el horario de la baja mar, retrasar el de la marea alta, y reducir el nivel del agua previsto astronómicamente.

- **LAS OLAS Y EL FONDO:** en mares profundos y en condiciones ideales, cuando el viento ya ha generado olas, no existe avance en masas de agua, sólo la forma y la energía de la misma es la que se propaga hacia adelante. Siempre en el caso de un mar profundo, el radio de los círculos descritos por las partículas disminuye con la profundidad (llamado umbral de profundidad o nivel de base del oleaje) por debajo del cual, la ola no posee acción alguna.

Al llegar a una costa con poca profundidad, las partículas de agua que antes describían círculos, en su parte inferior rozan contra el fondo, deformándose y tomando forma de elipse. En este punto comienza a manifestarse el movimiento hacia delante de la masa de agua. La velocidad de la ola decrece, en tanto que su altura aumenta. Más cerca de la costa, las partículas que se encuentran en el fondo chocan contra él y se frenan, no así las superiores que siguen avanzando a la misma velocidad. Con la disminución de la profundidad, las capas superiores de la ola se desfasan respecto de las inferiores, produciéndose finalmente un colapso conocido como rompiente. En este momento, la energía que le había

otorgado el viento se disipa, produciendo gran turbulencia en los sedimentos que hay en el fondo levantándolos y generando transporte hacia delante de los mismos. Los remolinos originados por la ola al romper, levantan del fondo partículas que son arrastradas hacia la tierra por el agua que al detenerse, deposita su carga sólida.

Al aproximarse las olas en forma paralela a la zona costera y romper sobre la playa, se produce una sobreelevación del agua en la costa y se genera una corriente que al principio se mueve paralela a ella, pero luego se encauza perpendicularmente y cruza hacia más atrás de la rompiente, recibiendo entonces la denominación de corrientes de retorno. A veces las olas llegan formando un ángulo con respecto a la playa, dando lugar así a la generación de una corriente que se conoce como corriente longitudinal (en el párrafo **CORRIENTES** se desarrollan las corrientes longitudinales)

- **LAS MAREAS:** son fenómenos ondulatorios similares a las olas, originados por fenómenos de atracción gravitatoria de la luna y el sol, con periodos que varían entre 12 y 24 horas. El nivel máximo de las aguas se denomina pleamar y el mas bajo, bajamar; la amplitud es la diferencia horizontal entre ambas. De acuerdo al tiempo que trascurra entre la pleamar y la bajamar, se las clasifica en mareas semidiurnas (con dos pleamares y dos bajamares diarias), diurnas (con una pleamar y una bajamar diaria) y mixtas (con dos pleamares y una bajamar, o dos bajamares y una pleamar diaria). En el caso de estudio y en general para toda la provincia de Buenos Aires, las mareas son mixtas (excepto Monte Hermoso y Rio Colorado, donde son semidiurnas).
- **CORRIENTES:** se producen cuando el agua en una determinada zona se encuentra más alta que la de otra zona próxima. El agua de una zona alta fluye naturalmente hacia la más baja, creando así una corriente. Algunas de las principales causas que generan las corrientes son:
  - Corrientes de viento: generadas por acción del viento.
  - Corrientes de marea: generadas por las mareas.
  - Corrientes de retorno y longitudinales: al aproximarse las olas paralelamente a la zona costera y romper sobre la playa, se produce una sobreelevación del agua en la costa y se genera una corriente que al principio se mueve paralela a ella, pero luego se encauza

perpendicularmente y cruza hacia más atrás la rompiente, recibiendo entonces la denominación de corrientes de retorno.

Cuando las olas llegan formando un ángulo con respecto a la playa, dan lugar a la generación de una corriente que se conoce como corriente longitudinal. Ésta corriente es de especial importancia, ya que transporta la arena que ha sido puesta en suspensión por la turbulencia que se genera en las rompientes. La arena que se mueve paralela a la costa a causa de este fenómeno llamado deriva litoral.

- **SALINIDAD:** Se destaca el efecto de la salinidad, en las modificaciones de la densidad del agua de mar, y sus consecuentes alteraciones en la flotabilidad de los microplásticos. Basados en la distribución de la salinidad, el Estuario de Bahía Blanca puede ser dividido en dos sectores: un sector interno que muestra características de mezcla parcial con una fuerte tendencia a volverse seccionalmente homogéneo durante condiciones de escurrimiento similares a los promedios históricos, y un sector externo que es seccionalmente homogéneo. Los valores de salinidad en el sector interno son superiores a los observados en la placa continental. Esto es iniciado por una circulación restringida en la parte interna del estuario, a lo que se suma el lavado de las salinas formadas por evaporación, por parte de las mareas (Piccolo y Perillo, 1990). Así, la distribución media de la salinidad superficial muestra un crecimiento exponencial desde la cabeza (donde se ubica la descarga del Río Sauce Chico) hasta la parte media del estuario. En la parte media, la salinidad promedio tiene un mínimo local producido por la influencia del Arroyo Naposta y la descarga de efluentes cloacales de Bahía Blanca (estimada en  $10\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ).

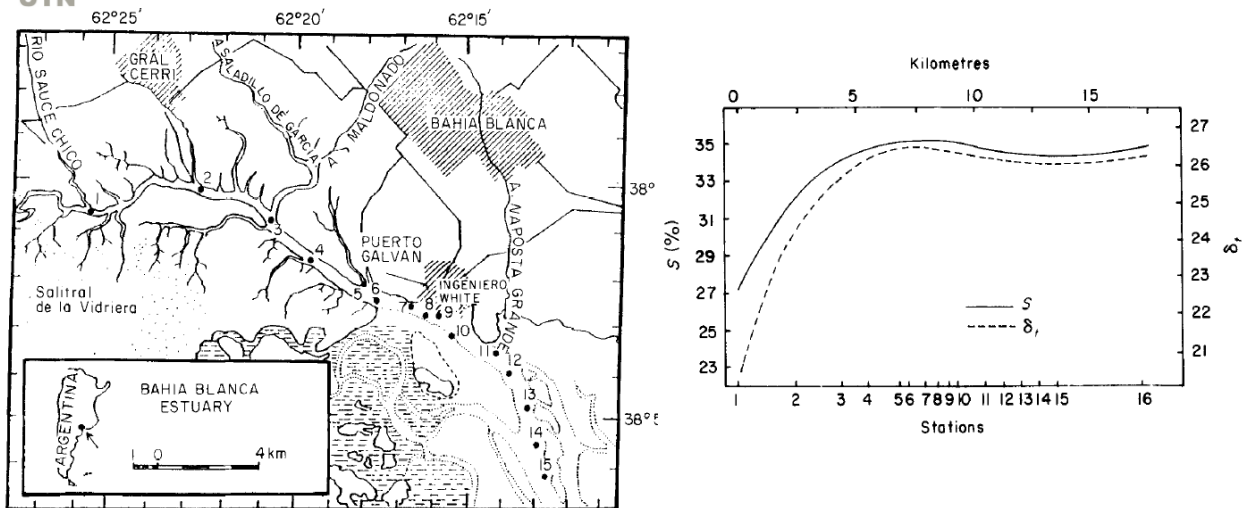


Imagen 18: Extraídas de (Piccolo y Perillo, 1990): Izquierda: Localización de las estaciones hidrográficas utilizadas durante el muestreo que abarcan la parte interna y media del estuario de Bahía Blanca. Derecha: distribución longitudinal de la salinidad media y la densidad calculados de datos históricos.

Dependiendo de las condiciones de escurrimiento, las diferencias de salinidad entre la cabeza y la boca del estuario pueden alcanzar un 17‰, y más del 4‰ entre la superficie y el fondo. El Río Sauce Chico recibe aportes del lavado de una salina ubicada en la parte posterior del estuario, conocida como Salitral de la Vidriera. Este salitral posee una superficie aproximada de 30km<sup>2</sup> y es parcialmente cubierto durante las mareas de primavera, lo que genera aportes de salinidad importantes en esta época (se han registrado salinidades de 39‰). Por ello, la circulación restrictiva en la parte interna del estuario asociada con los procesos de evaporación, producidos por la influencia de los vientos continentales soplando casi continuamente sobre las salinas, incrementan la concentración de sales produciendo salinidades superiores a las de la placa continental adyacentes (Piccolo y Perillo, 1990).

En relación a la temperatura de la superficie del agua de mar en la línea media del canal principal del estuario de Bahía Blanca, la media anual es de 13 °C, siendo la del verano de 21,6 °C y la del invierno de 8°C.

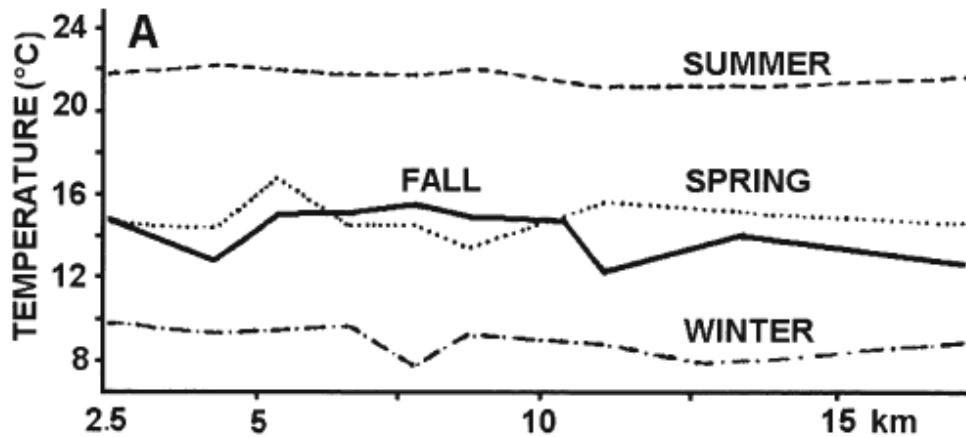


Imagen 19: Extraída de Perillo et al., 2001: Distribución de la temperatura media en la línea media del canal principal del estuario de Bahía Blanca.

- **VEGETACIÓN:** La vegetación halófila que se desarrolla en las marismas es un factor esencial en el crecimiento y desarrollo de estos ambientes. De especial interés son las que poseen tallos altos (tal es el caso de la *spartina alterniflora* y *densiflora*) ya que afectan sustantivamente la circulación de las aguas cargadas de sedimentos (y microplásticos) y reducen la erosión por las olas. Cuando la energía de las aguas se ve disminuida por la fricción de la vegetación, el sedimento en suspensión tiende a depositarse y, por lo tanto se produce un crecimiento vertical de la marisma (Perillo et al., 2013). El efecto de la atenuación de las olas por el sustrato vegetado en las marismas produce una disipación de la energía hidráulica tal que las corrientes de marea que son frenadas por la vegetación registran valores del orden del 5% de los valores que se miden en los cursos de marea adyacentes (Perillo et al., 2013).

Por lo expuesto, en un primer acercamiento a la problemática, es de importancia considerar el monitoreo de microplásticos en sectores vegetados de la marisma, ya que es probable hallar diferencias con la abundancia de microplásticos en los sedimentos adyacentes.

- **FAUNA BENTÓNICA:** En el Estuario de Bahía Blanca, la fauna bentónica (tales como cangrejos, poliquetos y artrópodos) son muy activos en bioturbar el sedimento, pero también producen una estabilización. Esta bioturbación se manifiesta en forma de cuevas, mezcla y remoción de sedimentos. Los sedimentos bioturbados pierden su cohesión y estabilidad, lo cual hace que sean más fáciles de transportar. Los cangrejos *Neoélche granulatta*, en la densidad en la que se encuentran en el Estuario en cuestión (40-60 cuevas/m<sup>2</sup>) son

ingenieros ecosistémicos. Éstos animales, afectan la estabilidad, y en el caso de la marisma de estudio, cambian el patrón de distribución de las plantas y el desarrollo de nuevos cursos de mareas. Además, cuando los cangrejos remueven el sedimentos de sus cuevas, forman un montículo al lado de la boca que cuando se seca, produce un patrón de flujo complejo, incluyendo los vórtices muy similares a los observados en torno a las plantas de las marismas (más información en: *Gerardo M.E. Perillo y Diana G. Cuadrado, Cap 2. Procesos Químicos en Estuarios*).

Los cangrejos de la especie *Neohelice (Chasmagnathus) granulata* son capaces de afectar simultáneamente las características edáficas del ambiente, cambiar la composición de la comunidad de fauna del suelo, alterar la reproducción sexual y el potencial de dispersión de las plantas *Spartina* y *Sarcocornia*. Aunque siempre fue considerado como un comedor de depósitos, estos cangrejos no hace mucho, fueron identificados como un importante herbívoro, capaz de regular la producción primaria de las marismas que habita (Bortolus, 2008). Los cangrejos cavadores, al alterar la estructura interna del suelo, favorecen el entrapamiento y enterramiento de residuos antrópicos inorgánicos.

- **LA PLAYA:** En una playa de arena típica se pueden identificar fácilmente varias zonas. Sobre el continente se encuentra en primer lugar, la zona de médanos o dunas litorales, con una altura y ancho variables. En la zona del Estuario de Bahía Blanca en su margen norte, se encuentran algunos médanos, no obstante, en alguno sitios el cordón ha sido eliminado para la construcción, tal es el caso de la zona adyacente a la ciudad de Punta Alta, Puerto Belgrano (en el sector hacia la Base Baterías todavía se conservan) e Ingeniero White.

Hacia la costa se encuentra la berma, que se extiende hasta el nivel de pleamar. Esta superficie no es lisa, sino que puede presentar elevaciones paralelas al mar llamadas crestas de bermas, originadas por procesos naturales tales como mareas y tormentas. En esta tesis, a éste sitio se lo denominará berma de tormentas.

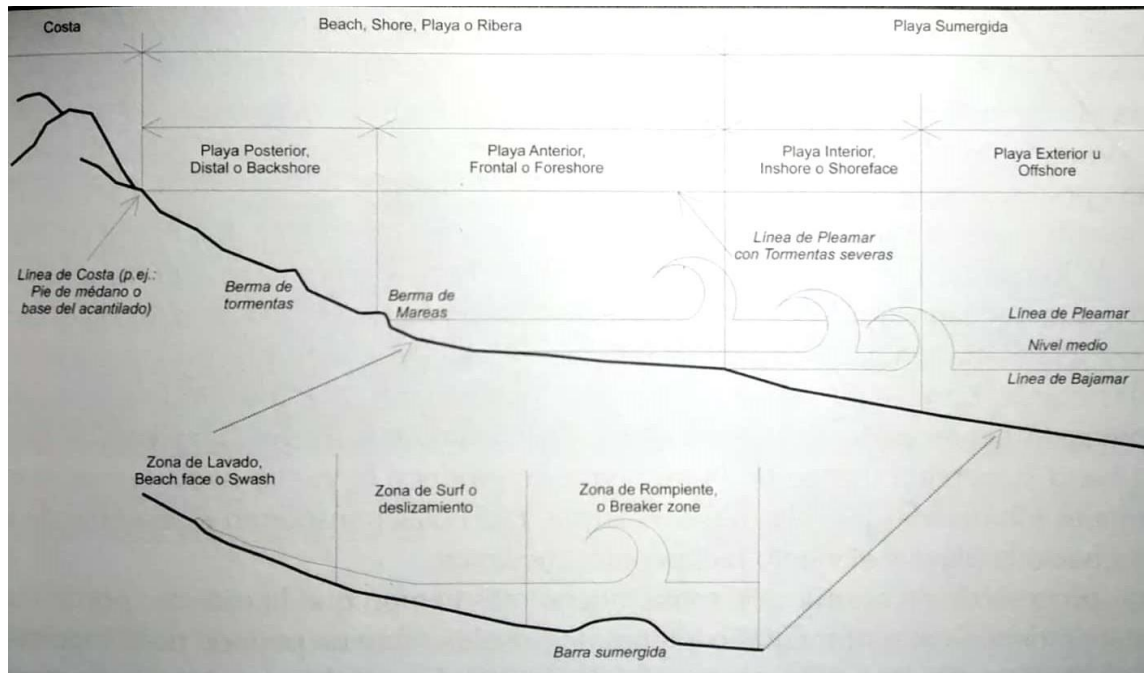


Imagen 20: Extraída de Bértola, 2016, partes de la playa.

Entre la línea de pleamar y la de bajamar se ubica la playa frontal, zona que diariamente queda sumergida y emergida por efecto de las oscilaciones de la marea. Desde la zona de bajamares hasta la barra de rompientes, se extiende la playa interior. Detrás de la zona de rompiente, el oleaje prácticamente no afecta al fondo y se extiende la llamada playa exterior, siempre sumergida, terminando en la plataforma continental.

## **2.2 EMISIONES DE MATERIALES PLÁSTICOS EN LA ZONA COSTERA**

Tal como se detalla en el inciso 1.2.2 ORIGEN DE LOS MICROPLÁSTICOS EN EL AMBIENTE MARINO, la mayor parte de los plásticos que se encuentran en el medio marino provienen de fuentes asentadas tierra adentro, es decir, de los asentamientos urbanos y sus desagües pluviales, del transporte con los efluentes cloacales, del turismo en zonas costeras, de actividades industriales, de vertidos ilegales, y del manejo y disposición inadecuados de los residuos sólidos urbanos (UICN, 2014).

En esta tesis se trabaja en un ambiente costero, es decir, una zona de transición entre los ecosistemas marino y terrestre, es lo que se conoce técnicamente como un ecotono. Así, es de esperar que se generen errores en las estimaciones de microplásticos ya que no puede afirmarse que el 100% de los microplásticos cuantificados allí provengan exclusivamente del medio marino, sino que pueden existir aportes del ecosistema terrestre que alteren los resultados. No obstante, los muestreos se realizan atendiendo a evitar las zonas con más frecuencia turística e impactos antrópicos provenientes del medio terrestre, a los fines de minimizar esta potencial fuente de error.

### **2.2.1 TIPOS DE PLÁSTICOS**

Aunque en el ambiente marino es de esperar encontrar diversos tipos de plásticos, en el ambiente costero, de los cinco tipos de termoplásticos comúnmente utilizados el polietileno, el polipropileno y la espuma de poliestireno son menos densos que el agua de mar, mientras que otros, tales como el policloruro de vinilo y el polietileno tereftalato tienen flotabilidad negativa, por lo que tenderán a hundirse en el sedimento o a permanecer en la columna de agua. Por ello, es de esperar que al realizar un monitoreo del ambiente costero se estén pasando por alto algunos tipos de plásticos, que aunque se encuentran en el medio marino, no llegan a las costas. Del mismo modo, existe el riesgo de sobreestimarlos, en los casos en los que la zona costera se halle adyacente a una fuente de emisión de estos plásticos, y éstos tiendan a acumularse allí. Por otro lado, la densidad de la vegetación propia de las marismas, podría entrapar algunos materiales plásticos, razón por la cual se podrían sobreestimar algunos datos colectados.





### **2.2.2 TAMAÑOS DE MICROPLÁSTICOS**

En esta tesis, como primer acercamiento a la problemática en ambientes de marismas se trabajará con un rango muy acotado de tamaño de microplásticos (large), dada la fracción que pasa por las mallas del tamiz utilizado, es decir que los resultados obtenidos no representan la cantidad ni masa total de microplásticos.

### **2.3 DEFINICIÓN DE SITIOS PARA EFECTUAR LA TOMAS DE MUESTRAS**

En la totalidad de la bibliografía analizada, los investigadores no especificaron qué criterios siguieron para la definición de los sitios para efectuar los muestreos. Si bien es cierto que cada protocolo para muestreo dependerá de las características ambientales particulares de cada sitio específico, en las publicaciones revisadas no se estableció el criterio utilizado ni los lineamientos generales en los que se basaron, y esta información es tan importante como el posterior análisis en el laboratorio, por esta razón en este caso se detallará la lógica aplicada al muestreo. Esta información es relevante para la definición del criterio de selección de/los sitio/s de toma de muestra. La evaluación de resultados de repeticiones o modificaciones del criterio propuesto implica la necesidad de disponer de la información utilizada para el diseño del muestreo.

En esta tesis, se define el muestreo como al acto de tomar una parte del sedimento costero de marismas del estuario de Bahía Blanca, que se considere representativa del sitio y que permita extraer microplásticos en el rango de tamaño large. De esta forma, se espera alcanzar un primer acercamiento respecto a la problemática de los microplásticos en ambientes costeros de marismas de dicho estuario. El criterio para ello se definirá a continuación, de forma tal de permitir la replicación de la metodología.

Actualmente las costas de marismas que se encuentran en el Estuario de Bahía Blanca se utilizan para diversos usos, entre ellos:

- sitios turísticos o de recreación (el caso de los Balnearios Arroyo Parejas, Maldonado y Punta Ancla),
- establecimiento portuario (Ingeniero White, Base Naval Puerto Belgrano y Puerto Rosales),
- ex basurales (Belisario Roldán) y actuales basurales clandestinos,
- sitio de vertido de efluentes cloacales crudos,
- reserva natural,
- y sitios sin uso actual,

Dado que la zona costera es un ecotono que alberga los residuos generados tanto en tierra como en el mar, se seleccionarán sitios sin un uso actual designado, a los fines de evitar interferencias atribuidas a la presencia antrópica, tales como pisoteo, presencia de macro residuos plásticos, modificaciones en la costa, etc.

Del mismo modo, dada la amplitud del Estuario de Bahía Blanca, se definen tres puntos que permitan observar la abundancia de microplásticos en las cercanías de la cabecera, boca y parte central del estuario. Los puntos se denominan:

- Punto 1: ubicado en la cabecera del estuario, cercano a la Ciudad de Bahía Blanca:
  - Latitud: 38°47'0.19"S
  - Longitud: 62°17'50.05"O
  
- Punto 2: ubicado en la zona central, cercano a la Ciudad de Punta Alta:
  - Latitud: 38°54'38.10"S
  - Longitud: 62° 4'1.43"O
  
- Punto 3: ubicado en la boca del estuario, cercano a la Base Naval de Infantería de Marina Baterías:
  - Latitud: 38°57'54.61"S
  - Longitud: 61°54'33.97"O

Dadas las dificultades logísticas para acceder al margen Oeste del estuario, en este primer acercamiento la mayor parte de los puntos que se referencian en esta tesis están ubicados sobre el margen Este del Estuario de Bahía Blanca. No obstante, dada la frecuencia e intensidad de vientos provenientes del N-NO en la zona de estudio, se analizan también algunas muestras extraídas de islas del sector interno del estuario (Isla Embudo) a los fines de observar potenciales variaciones.



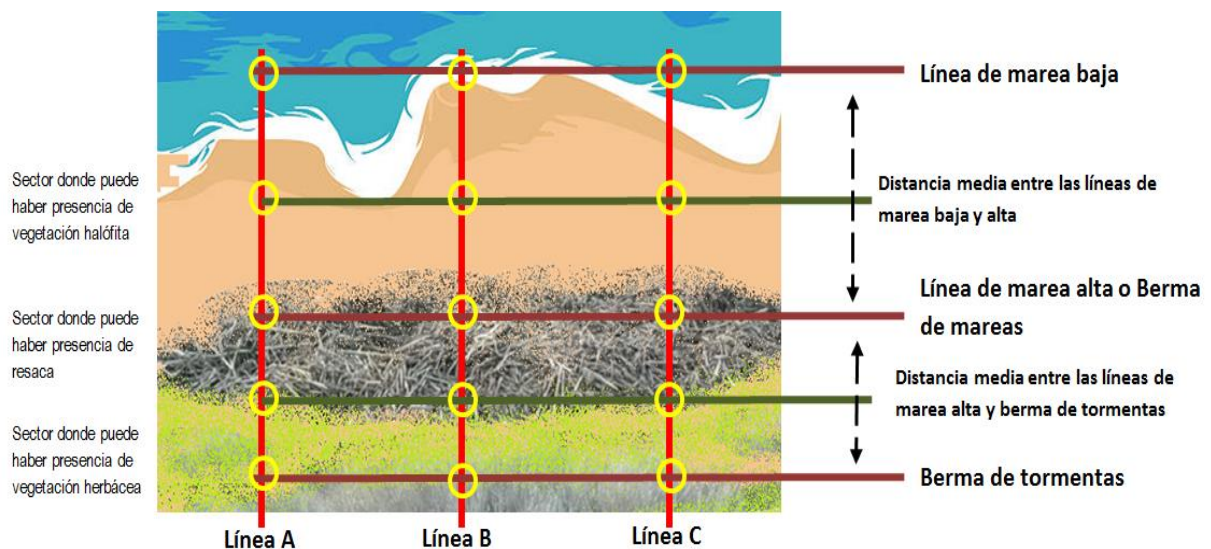
Imagen 21: Elaboración propia. Imagen Satelital Google Earth. Ubicación de los puntos para la toma de muestras (amarillo) en el estuario de Bahía Blanca, y sitios de referencia (verde)

Los puntos 1 y 2 se caracterizan por ser extensas planicies barrosas, con presencia de cangrejales densamente poblados por cangrejos de los géneros *Neohelice granulata* y presencia de abundante flora halófila, en cambio el punto 3 posee una playa sin cangrejales y con una vegetación más somera. En el punto 3 hay desarrollo de dunas móviles, y es un sitio con poco impacto antrópico.

### 2.3.1 DISPOSICIÓN FÍSICA DE LA TOMA DE MUESTRAS EN LA ZONA COSTERA

Tomando como base las partes de la playa establecidas la Imagen 19, el criterio para seleccionar los puntos a muestrear consiste en definir un patrón reproducible, y representativo de cada uno de los sitios que caracterizan al sector intermareal de una costa de marismas, destacando aquellos sitios donde la influencia de la marea es diferente, es decir, la línea de baja mar, la de alta mar, y las bermas de tormentas. No obstante, para eliminar posibles errores en el criterio de selección de los puntos y por un posible efecto producido por la rugosidad del terreno, se toman dos más, representativos de la línea media entre las líneas de marea alta y baja, y la línea de marea alta y las bermas de tormenta. El sector específico de la línea de costa donde se realiza el muestreo es seleccionado al azar. De esta forma, el muestreo se realiza inicialmente al azar (en la selección del sitio sobre la línea de costa) y a continuación, sistemático (siguiendo la grilla que se muestra a continuación).

Imagen 22: Elaboración propia. Grilla para muestreo sistemático en el intermareal.



Estas líneas imaginarias, así como la franja costera, aunque en el dibujo parecen estáticas, en el terreno son dinámicas, por lo que la observación de la costa, previa a su delimitación resultan de gran importancia.

Así, y siguiendo el criterio anteriormente descrito, se trazan 3 líneas imaginarias perpendiculares a la línea costera, paralelas y equidistantes entre sí, llamadas líneas A, B y C respectivamente como se muestra en la imagen, en un sector de la playa alejado

de obstáculos que pudieran modificar la dinámica sedimentaria costera. La separación entre las líneas A, B y C es como máximo de 20mts y como mínimo de 5mts, dependiendo del sitio a ser muestreado. Se toma como base la separación máxima (20mts), sin embargo hay costas de marismas donde existen obstáculos que pueden afectar a la dinámica sedimentaria, por lo que en caso de tener que ajustar las distancias, la mínima separación es de 5 mts. No obstante, por constituirse esta investigación en la primera en marismas, es de importancia una descripción pormenorizada del sitio donde se tomaron las muestras, para poder evaluar posibles influencias de la vegetación halófitas, presencia de cangrejales u otros factores en la cantidad, tamaño o tipo de microplásticos detectados a posteriori. Muchas veces sucede que en las costas de marismas donde existen abundantes cangrejales resultan inaccesibles a la línea de baja mar, por ello, en los casos en los que no se pueda acceder a la línea de marea baja, se asume como límite la distancia más cercana a ella.

En el gráfico se observan círculos amarillos, cada uno de ellos surge de la intersección entre dos líneas, y representa el sitio donde se toma una muestra. Las muestras se toman desde la superficie hasta una profundidad máxima de 10 cm por cuestiones operativas y antecedentes bibliográficos. Al respecto, se asume esta profundidad como referencia ya que Ballent 2016, luego de analizar el contenido de microplásticos en varias muestras de sedimentos costeros a diferentes profundidades, determinó que a los 10 cm se encuentran las mayores concentraciones de estos polímeros. En los casos de tener presencia de vegetación, se procederá a recortar la misma, evitando tirar de los tallos y raíces, para no afectar la muestra de suelo.

Las muestras son tomadas con un molde de 10 cm por 10 cm (de forma cuadrada), y a una profundidad máxima de 10 cm con lo cual se recolecta un volumen aproximado de 1000 cm<sup>3</sup> por muestra. Aunque la profundidad de la toma de muestras varía según distintas publicaciones, desde los 2 mt de profundidad (Turra et al, 2013) hasta tan solo 1 cm (Browne et al, 2011), en el caso de las playas de marismas, donde la abundancia de resaca se extiende a varios cm de profundidad (desde los 5 a los 25 cm) se considera que una profundidad máxima de 10 cm abarca la mayor parte del espesor en el que se presenta la resaca, al mismo tiempo que se evita el contacto con las raíces de la vegetación circundante, que dificultan la tarea de extracción de la muestra. De acuerdo a investigadores como Nuelle et al., 2014, es ventajoso trabajar con volúmenes de muestras grandes como el que se plantea ya que la distribución de los microplásticos en

sedimentos puede ser muy poca o heterogénea en algunas áreas, y al incrementar el volumen de la muestra se aumentan las posibilidades de detectar microplásticos, al mismo tiempo que se garantiza que muestras aleatorias sean representativas de las áreas de estudio; paralelamente, este volumen de muestra (1000 cm<sup>3</sup>) es el adecuado en función al equipamiento disponible en el laboratorio para su posterior separación de microplásticos.

Luego de haber ensayado la toma de muestras con testigos elaborados con tubos de PVC, se llegó a la conclusión de que la mejor forma de tomar la muestra es a través de un molde de forma cuadrada, al que se le extrae el contenido interno con una cuchara metálica, y en los casos en los que existe abundante resaca, se la recorta por los laterales con un cuchillo (como los bordes son rectos, el corte se simplifica y se evita compactar el sedimento en forma excesiva) para poder extraer la muestra. Las dificultades en el uso del caño para la toma de testigos, radica en que al ejercer presión sobre éste para clavarlo en el sedimento, se compacta la muestra de suelo, con lo que se altera drásticamente la profundidad de la toma de muestra. Además, la resaca tiende a engancharse y a sobresalir por los costados del caño, lo que afecta al volumen efectivo de la muestra colectada.

Las muestras del sedimento costero deben alterarse lo menos posible, para que sean representativas. En los casos en los que exista presencia de rocas u otros materiales que impidan la extracción de muestras, se procederá a correr el sitio de muestra desplazándose en forma paralela a la línea costera, es decir perpendicular a las líneas A, B o C.

Cada muestra se toma por duplicado, y se almacena en bolsas de polietileno selladas y rotuladas.

### **2.3.2 EL FACTOR TIEMPO EN EL MONITOREO**

Usualmente el monitoreo ambiental posee un componente temporal a ser considerado. A priori, se desconoce si existe algún tipo de influencia temporal en la cantidad / tipo de microplásticos presentes en las marismas del Estuario de Bahía Blanca. En otros estudios de referencia, el factor tiempo no fue considerado a la hora de planificar las tomas de muestras, en esta tesis, por constituirse en un primer acercamiento a la problemática, no se considera el factor tiempo.

No obstante, en el Estuario de Bahía Blanca, al existir fluctuaciones en la densidad del agua de mar, producto de variaciones estacionales de la temperatura, por los aportes de aguas de lluvia a través de los tributarios (Arroyo Naposta Grande y Río Sauce Chico principalmente) y por aportes de aguas subterráneas, podrían existir variaciones en la flotabilidad de algunos microplásticos (tales como refluación de materiales sedimentados), lo que podría atribuirse a variaciones en la frecuencia de hallazgos de microplásticos. Por ello, resulta interesante efectuar el monitoreo en una época donde el agua del estuario tenga su máxima densidad, y en otra con la mínima para contrastar las observaciones. Otro factor de relevancia local son las tormentas o sudestadas que se suceden en la zona del Estuario y que pueden remover y refluatar microplásticos sedimentados. Para los muestreos a efectuar en esta Tesis, no se consideran las influencias del factor tiempo.



### **2.3.3 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

Aunque en muchos estudios los resultados son expresados en abundancia de microplásticos por Kg de sedimento (Ballent, 2016; Van Cauwenberghe et al., 2015, Costa et al., 2010, Claessens et al., 2011), o abundancia por m<sup>2</sup> de superficie muestreada (Hidalgo-Ruz, et al, 2013), en este estudio no sirve a los fines de un análisis posterior la definición de una relación como ésta ya que los pesos de los sedimentos costeros en las costas de marismas se alteran notoriamente en función a la proporción de resaca que contenga. Por ello, en este estudio se define la cantidad de microplásticos en relación al volumen de las muestras. No obstante, para poder comparar datos con otros estudios, se pesan las muestras secas, lo que permite expresar de varias formas los resultados obtenidos.

## **2.4 DESARROLLO DE LA TÉCNICA PARA LA SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS LARGE DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS COSTEROS DE MARISMAS SALADAS DEL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA**

Para los diversos ensayos de las técnicas de laboratorio, se utilizó una misma muestra compuesta, tomada en forma aleatoria de un cuadrante de 1mt x 1mt de un sector de la berma de tormentas, extraídas de un sitio en la cabecera del Estuario de Bahía Blanca, en Ingeniero White, ubicado adyacente al Centro de defensa Ambiental, Base Operada por CINTR, el 19 de Noviembre de 2016. Esta muestra se secó al sol durante 15 días y se almacenó en un recipiente plástico con tapa, a la espera de los diversos ensayos.

El desarrollo de la técnica se efectuó por acercamientos sucesivos, en primera medida efectuando ensayos en los que se aplicaron los protocolos de laboratorio (o parte de éstos) que se encontraron en la bibliografía de referencia, luego, se aplicó la observación y análisis de los resultados obtenidos, la evaluación de hipótesis y la aplicación de diversas alternativas hasta alcanzar el objetivo de formular un protocolo que se adapte a las particularidades de los sedimentos extraídos en playas de marismas.

#### 2.4.1 ENSAYO N° 1: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LA NOAA

La metodología ensayada, se encuentra descrita en la siguiente publicación:

Masura, J., et al. 2015. “Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments”. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.

El objetivo del ensayo con esta metodología es evaluar si resulta aplicable a sedimentos costeros de marismas, en los cuales existe gran cantidad de materia orgánica (resaca) que los conforma. Por ello, se utilizó parte de la muestra extraída tal como se detalló en el punto anterior.

Al respecto, se aplicó el método del capítulo 2: “Methods for the analysis of microplastics in beach samples” (página 13). Este método es aplicable para la determinación de muchos plásticos comunes, incluyendo polietileno, polipropileno, y poliestireno. Los microplásticos son definidos por este método como cualquier material sólido del rango de tamaño apropiado, que resiste la WPO (Wet Peroxide Oxidation), exhibe flotación en una solución 5M de NaCl ( $d= 1,15 \text{ g/ml}$ ) o 5,4 M de Metatungsteno de Litio ( $d= 1,62 \text{ g/ml}$ ) y pasa una inspección visual positivamente, bajo un microscopio de 40x.

**ACLARACIONES:** Como en esta tesis se analizan microplásticos en el rango de tamaño Large (hasta 1mm), no se utiliza el tamiz de 0,33mm sino que se implementa como tamiz con abertura de malla más pequeña el de 1mm.

Del mismo modo, no se realiza la inspección visual al microscopio, ya que los materiales mayores a 1mm son visibles a simple vista o utilizando una lupa. Asimismo, ya que los fines de este ensayo no son la realización de los cálculos de peso de los microplásticos, se saltean todos los pasos concernientes al secado y posterior pesado de las muestras para cálculos atinentes.

Para el proceso de separación por densidades, no se utiliza Metatungsteno de Litio, sino que se emplea una solución de NaCl 5M. Esto se fundamenta en cuestiones ecológicas, de costos y de dificultades en la obtención del Metatungsteno de Litio.

Una de las consideraciones que se tienen en cuenta para la preparación de la muestra es el tamizado de la arena seca previo al proceso, para remover los residuos macroplásticos (mayores a 5mm). Dadas las características de la muestra, compuesta por gran cantidad de sedimentos vegetales, no se pudo realizar este tamizado previo de una forma satisfactoria.

El ensayo se realizó el día 15 de Mayo del 2017, en el Laboratorio de Química de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, con supervisión permanente del Tutor de esta tesis, el Dr. Marcelo Pereyra.

## **DESARROLLO:**

### **A) PREPARACIÓN DE LOS SEDIMENTOS DE PLAYA**

Como primer paso, en la metodología de la NOAA, se debe utilizar un vaso de precipitados de 800ml para incorporarle 400 grs de sedimento costero.



Este paso ya revistió importantes complicaciones, ya que una muestra de sedimento costero de marismas cuyo peso seco sea de 400 grs, no cabe dentro de un vaso de precipitados de 800ml de capacidad, para ello, para poder pesar los 400 grs de sedimento de marismas, se tuvo que utilizar un vaso de 2lts de capacidad, como se muestra en la foto.

Imagen 23: Elaboración propia. Fotografía del volumen de una muestra de 400 grs de sedimentos costeros de marismas del Estuario de Bahía Blanca.

En esta imagen puede observarse también, que el volumen de una muestra de 400 grs de sedimento de marismas, llega a ocupar aproximadamente unos 1500 ml.

Dadas las complicaciones que reviste trabajar en el laboratorio con una muestra de tal volumen, se decidió trabajar con la mitad del peso de la muestra, es decir, que en lo que respecta al ensayo, de aquí en más se trabajó con una muestra cuyo peso es de 200 grs.

## B) SEPARACIÓN POR DENSIDADES

La metodología de la NOAA sugiere agregar 300 ml de NaCl a los sedimentos secos, en el vaso de 800 ml.

En este caso, tal y como se expuso previamente, 200 grs de muestra (la mitad de lo sugerido por la NOAA) no caben en un vaso de 800 ml. De este modo, se tuvo que trabajar con un recipiente de 1 lt de capacidad. Asimismo, 150 ml de la solución de NaCl no alcanzaron para cubrir la muestra, con lo cual, se tuvo que trabajar con 800 ml para lograr cubrir el volumen de la muestra y poder realizar el procedimiento de separación por densidades.



Imagen 24: Elaboración propia. Fotografía de muestra de sedimento costero de marisma, en una solución 5M de NaCl. Proceso de flotación en Cono Imhoff.

Luego, según la NOAA, se debe mover la mezcla de sedimento-solución durante varios minutos para lograr la flotación de los microplásticos, y se deben transferir todos los sólidos flotantes del vaso, a un tamiz de 0,3 mm.

En este caso, y continuando con la problemática que reviste el volumen del sedimento de marismas, se decidió realizar la flotación en un Cono Imhoff para poder realizar más fácilmente la transferencia de los sólidos flotantes al tamiz.

En la fotografía puede observarse cómo quedó la muestra tras el proceso de separación por densidades. La cantidad de arena resultó mínima en relación al volumen de resaca.

Aún utilizando el Cono Imhoff, la transferencia de los sólidos flotantes resultó de suma dificultad, debiendo trabajar para ello dos personas en paralelo.

En este punto, la metodología de la NOAA propone un tamizado en húmedo, en el tamiz de malla de 0,3 mm. Dada la problemática que revistió el tamizado previo de la muestra (ver apartado Aclaraciones), se optó por trabajar primero con la malla de abertura de 5 mm, encastrada sobre la de 0,3 mm. Así, inicialmente se vertió el contenido con flotabilidad positiva del Cono Imhoff, sobre la malla de 5mm de abertura.

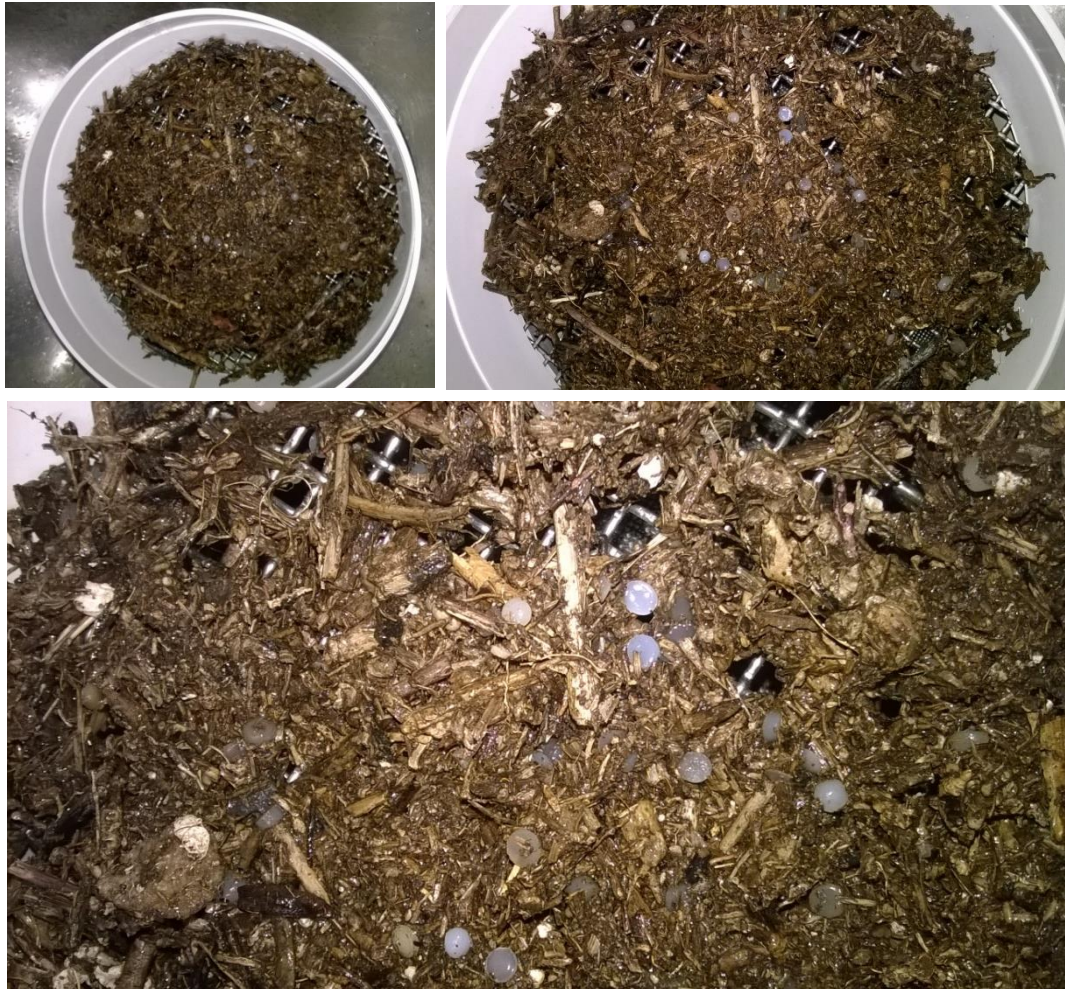


Imagen 25: Elaboración propia. Fotografías con distintos acercamientos del tamiz de 5 mm de abertura de malla, con los residuos de costa de marisma y microplásticos retenidos en él. Puede observarse la adherencia de los materiales plásticos (principalmente pellets) a los residuos de resaca.

Al transferirse los sólidos flotantes al tamiz de 5 mm, se observó que la resaca tiende a formar un entramado sobre el tamiz, que atrapa a los microplásticos, constituidos en su mayor parte por pellets particularmente en este tipo de muestras. Del mismo modo, se observó que las partículas plásticas (como las fibras y films) tienden a adherirse a la superficie de esta resaca, por lo que la transferencia de la totalidad de las partículas

plásticas visibles a simple vista no fue posible, aún intentando de a poco, vertiendo agua con una piseta para limpiar el tamiz.

La transferencia de microplásticos al tamiz de 1mm fue muy escasa, ya que como se comentó previamente, quedaron adheridos a la resaca del tamiz anterior de 5mm.



Imagen 26: Elaboración propia. Fotografía con distintos acercamientos del tamiz de 1 mm de abertura de malla, con los residuos de costa de marisma y microplásticos retenidos en él. Puede observarse que la transferencia desde el tamiz de 5mm al de 1mm es realmente escasa, por la retención previamente comentada.

En este punto, se pudo constatar fehacientemente que no es de aplicación la metodología de la NOAA, dadas las dificultades asociadas al volumen de la muestra a analizar, y la flotabilidad positiva de la resaca. Sin embargo, a los fines de realizar el ensayo lo más completo posible y verificar si la WPO es capaz de degradar la materia orgánica que compone la resaca, se decidió continuar con el siguiente paso de la metodología, con la muestra retenida en el tamiz de 1mm.

### **C) OXIDACIÓN HÚMEDA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (WPO)**

La metodología de la NOAA, sugiere agregar 20 ml de solución acuosa 0,05 Fe (II), 20 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%, dejarlo reposar 5 minutos y a continuación calentarlo a 75 °C.

Como se trabajó con la mitad del peso de la muestra, correspondía agregarle 10 ml de cada uno de los componentes. Al notar que no se producía reacción de degradación alguna al calentarse, se decidió triplicar este volumen (aunque la NOAA sugiere sólo duplicarlo), con lo que se agregó 40 ml de solución acuosa 0,05 Fe (II) y 40 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%. Se calentó la muestra a 75 °C, durante media hora, tiempo sugerido por la NOAA en los casos en que persiste la materia orgánica visible. Aunque se observó un burbujeo importante (foto), la materia orgánica que componía la resaca no se degradó en absoluto.

Como último intento para degradar los materiales, se agregaron 20 ml más, de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50%. Se calentó unos 15 minutos más y el único cambio observable fue que la solución tomó una coloración amarronada.

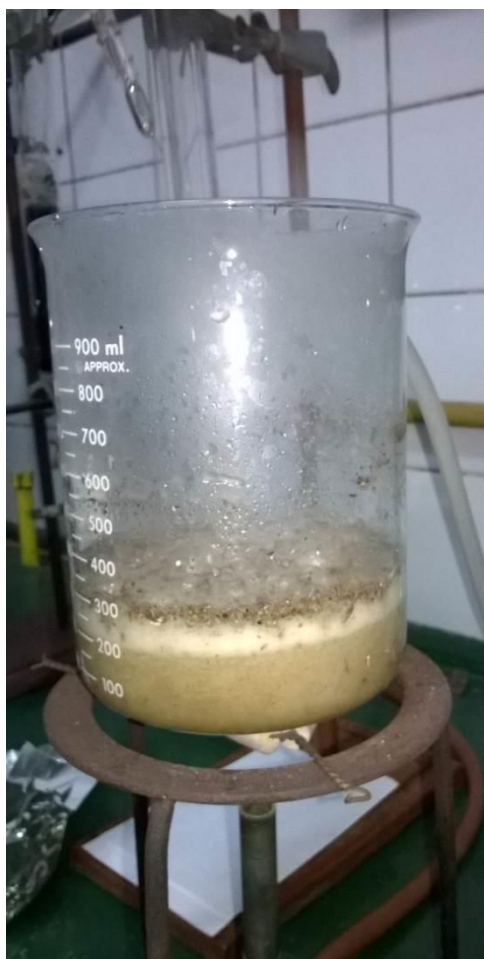


Imagen 27: Elaboración propia. Fotografía del proceso de WPO calentándose la solución a 75 °C durante 30 min.

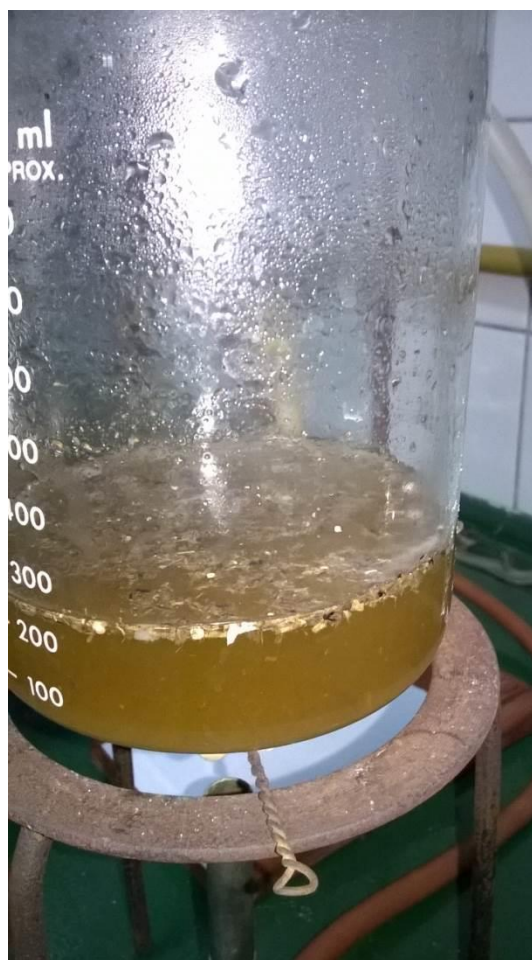


Imagen 28: Elaboración propia. Fotografía del resultado del proceso de WPO agregándole 20ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50%. Puede observarse la coloración amarronada de la solución.





Como puede apreciarse en la fotografía, la WPO no fue suficiente para degradar la materia orgánica que compone la resaca, presente en los sedimentos costeros de marismas.

Imagen 29: Elaboración propia. Fotografía del resultado del proceso de WPO agregándole 20ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50%. Puede observarse que los residuos orgánicos no se degradaron.

### **ENSAYO N° 1 - CONCLUSIONES:**

Como resultado de esta experiencia, puede afirmarse que no es de aplicación la metodología propuesta por la NOAA para la separación de microplásticos en sedimentos de costas de marismas, con alta concentración de residuos vegetales. Esto se explica por el gran volumen ocupado por las muestras compuestas principalmente por residuos de resaca, por la flotabilidad positiva de ésta, y por su resistencia a la acción oxidante de la WPO.

Sin embargo, esta primer aproximación permite confirmar la presencia de microplásticos en la zona del intermareal del Estuario de Bahía Blanca.

#### **2.4.2 ENSAYO N° 2: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MARIE-THERES NUELLE ET AL., 2014**

El objetivo de este ensayo, es evaluar la aplicación de parte de la metodología publicada en Nuelle Marie-Theres, Dekiff Jens H., Dominique Remy, y Fries Elke, “A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments”, Environmental Pollution N° 184, 161-169, año 2014, y además probar la decantación de la resaca luego de la ebullición en agua de mar.

El ensayo se realizó el día 22 de Mayo del 2017, en el Laboratorio de Química de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, con supervisión permanente del Tutor de esta tesis, el Dr. Marcelo Pereyra.

La técnica original de Nuelle et al., 2014 consiste básicamente en dos pasos sucesivos: 1) la fluidización del sedimento en una solución saturada de NaCl, y 2) una flotación subsecuente de los microplásticos en una solución de alta densidad de NaI. El objetivo de estos pasos es lograr que las microparticulas plásticas refloten, y de esta forma puedan separarse aquellas cuya densidad supera a la del agua de mar (tales como las compuestas por PET, PVC, PUR, HDPE, PS, PA y ABS). Dado que no es el objetivo de esta tesis la separación de todos los tipos de plásticos, sino sólo aquellos cuya densidad es menor a la del agua de mar, se omitirán los pasos de fluidización y flotación, y se enfocará el ensayo en la última parte de la metodología, que consiste en una oxidación de la materia orgánica que acompaña a los microplásticos utilizando, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 35% y dejando reposar las muestras durante una semana. En el artículo científico de referencia, también se evalúa la utilización de NaOH y HCl, y se concluye que la utilización de éstos compuestos afecta la estabilidad de los plásticos (degradándolos en algunos casos) y no resultan efectivos para la remoción de la materia orgánica. El H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, en cambio, logró la remoción del 50% de la materia orgánica que acompañaba a los microplásticos (en algunos casos se observó un cambio de la superficie de las partículas compuestas por PP y PE que se redujeron en un 10%, dado que en esta tesis sólo se los contabiliza por unidad, independientemente de su superficie, esto no afectaría a los conteos finales). El tratamiento de la materia orgánica utilizando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se extiende a una semana para alcanzar una remoción efectiva de los materiales biológicos. En síntesis, Nuelle et al., 2014 recomiendan la oxidación de la materia orgánica utilizando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en los casos en los que la cantidad de material biológico es tal que interfiere en forma importante en la

identificación de los microplásticos, tal es el caso de las muestras extraídas de marismas saladas del estuario de Bahía Blanca.

Cabe destacar, que en la metodología de la NOAA (analizada en el ensayo anterior), también se utiliza  $H_2O_2$  al 30% (al que se adiciona una solución de Fe (II) 0.05M) para efectuar una oxidación de la materia orgánica, exponiendo la muestra a una temperatura de 75 °C. Esto ya se practicó en el Ensayo N° 1 y los resultados no fueron satisfactorios, por ello se optó por probar la metodología de Marie-Theres Nuelle et al. 2014.

### DESARROLLO:

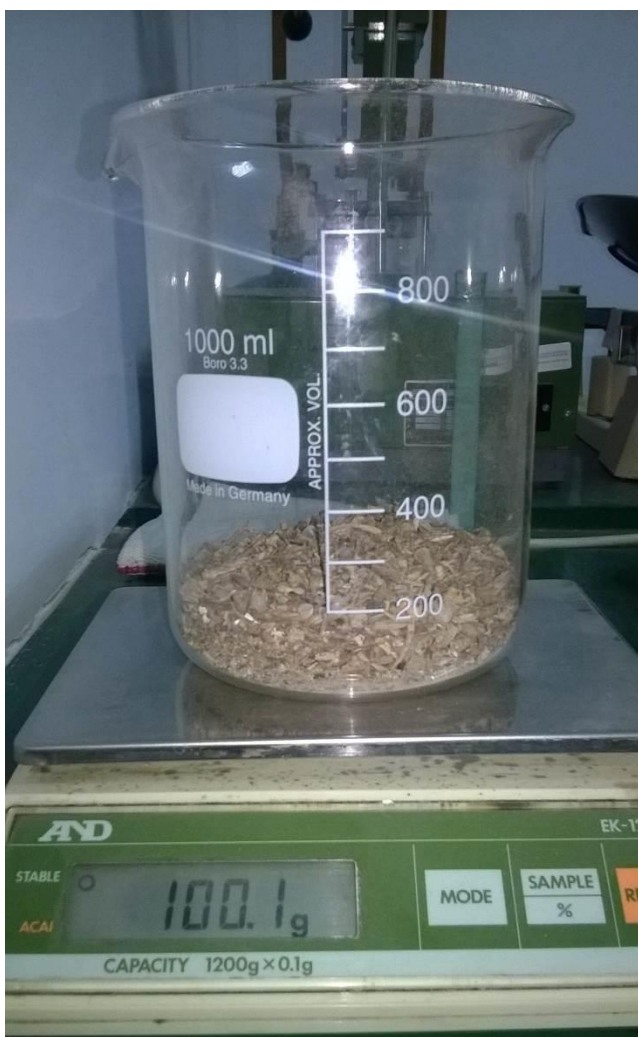


Imagen 30: Elaboración propia. Fotografía del volumen ocupado por 100 grs de muestra.

Utilizamos la misma muestra que para la experiencia anterior, comenzamos tamizándola a través de una abertura de malla superior a 1cm, y luego por el tamiz de 5mm. De esta forma, eliminamos grandes residuos y trozos de materia orgánica. Pesamos 100 grs de muestra, que representaron 200 ml aproximadamente en volumen (ver foto).

Para separar la arena y la materia sedimentable, la colocamos en un Cono Imhoff (al igual que en la experiencia anterior) con agua de mar recolectada de la costa del estuario de Bahía Blanca. Se triplicó el volumen de la muestra con agua de mar, es decir, para 200 ml de muestra, se colocaron 600 ml de agua de mar para el proceso de separación por densidades. A

diferencia de la experiencia anterior, este Cono Imhoff posee una abertura en la parte inferior, a través de la cual pueden descargarse la arena y los residuos sedimentables. De

esta forma, en teoría sería más eficiente la separación de las fases. Sin embargo, luego de una decantación de 15 minutos, en la práctica la arena y los materiales sedimentables precipitaron de forma tal que se compactaron en el fondo, evitando la salida del agua y arena una vez que abrimos la tapa inferior del Cono Imhoff. Esto implicó tener que mover el Cono e intentar suavemente que caiga el sedimento con ayuda de una varilla de vidrio. El resultado fue que parte de la muestra quedó nuevamente resuspendida, y fue muy difícil la desobstrucción del orificio del Cono Imhoff.

Una vez que separamos la materia sedimentable de los microplásticos cuya flotabilidad es positiva en el agua de mar, se colocó la muestra en un vaso de precipitados de 1lt de capacidad, al que se le incorporó agua de mar nuevamente, hasta triplicar el volumen de la muestra (en este caso fue hasta alcanzar un volumen de 600 ml). Se llevó a mechero, donde se calentó la muestra en agua de mar, hasta su ebullición. Mientras se calentaba, se la agitó suavemente con una cuchara metálica de forma tal de humedecer toda la resaca con el agua caliente. Se observa un cambio en la coloración del agua, que se tiñe de un color amarronado durante el proceso. Una vez que entró en ebullición la muestra, se apagó el mechero, y se la tapó con papel de aluminio. Se la dejó en reposo hasta que se enfrió (el tiempo dependerá del volumen de la muestra que se esté utilizando, en este caso, el tiempo necesario para alcanzar el enfriamiento fue de unos 45 minutos aproximadamente).



Imagen 31: Elaboración propia. Fotografías del proceso: Izquierda: Calentamiento de la muestra en mechero. Centro: Proceso de enfriado de la muestra. Derecha: Resultado del proceso de separación de los microplásticos con vestigios de resaca.

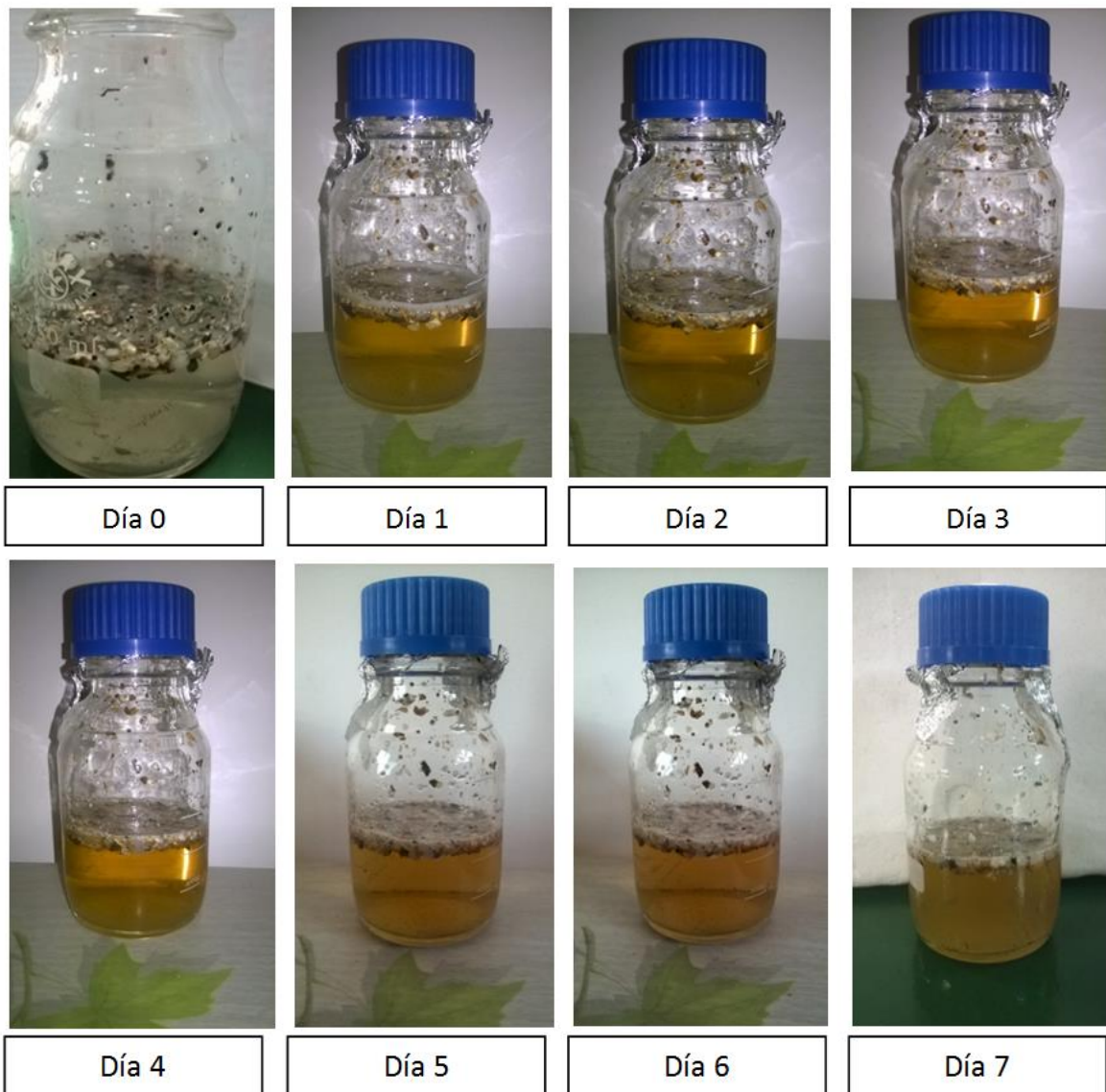
Durante su enfriamiento, y con ayuda de unos pequeños movimientos suaves en la muestra, la resaca precipitó en su mayor parte, quedando sólo unos pequeños fragmentos que mantuvieron su flotabilidad positiva. Los microplásticos no se observaron deformados ni con alteraciones en su estructura física luego de la ebullición, lo cual es consistente con las temperaturas de fusión de los materiales plásticos.

Como resultado, se observó que la cantidad de resaca que mantuvo su flotabilidad fue despreciable en comparación con la cantidad inicial presente en la muestra (comparar foto central del vaso de precipitados mientras se enfrió, con la de la derecha, del envase conteniendo el sobrenadante final). Es decir, se logró la separación por densidades deseada: separar la resaca de los microplásticos, sin alterar la estructura física de los últimos.

Una vez frío, el sobrenadante contenido en el vaso de precipitados (conformado por los microplásticos y algunos residuos de resaca) se transfirió a otro envase.

Se aplicó parte de la metodología de Marie-Theres Nuelle et al., 2014, donde se almacena la muestra durante una semana, en una solución al 35%  $H_2O_2$ . En la publicación de referencia, se demostraron resultados de degradación de hasta un 92% del material biogénico seleccionado, por lo que se ensayó una prueba para verificar si es capaz de degradar la resaca que acompaña a la muestra. Cabe destacar que dentro del material biogénico del ensayo de referencia, se encontraban distintos tipos de tejidos vegetales, tales como cápsulas de semillas, frutas, hojas y tallos propios de la zona costera.

Imagen 32: Elaboración propia. Fotografías de los resultados obtenidos durante el proceso de degradación del material biogénico en una solución al 35% de  $H_2O_2$  durante una semana, se muestran a continuación día a día.



Tal y como lo realiza en su experiencia Nuelle et al., las muestras se almacenaron a temperatura ambiente, durante 7 días, en un sitio sin exposición solar directa. Una vez transcurrido el tiempo del ensayo, se extrajo la muestra, se la enjuagó cuidadosamente dentro del tamiz de 1mm con agua destilada y se la colocó en un filtro de nylon para su secado y posterior análisis. En la fotografía del detalle del material extraído luego de la oxidación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 35%, se demostró que la resaca, aunque se decoloró notablemente, mantuvo tanto su integridad física como su flotabilidad positiva.

Una vez seca la muestra del filtro se procedió a separar en microplásticos primarios, microplásticos secundarios y resaca.



Imagen 33: Elaboración propia. Fotografía del resultado de la degradación de la muestra con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 35% durante 7 días.

## ENSAYO N°2: CONCLUSIONES

Para la separación por densidades con el Cono Imhoff, no fue de utilidad la implementación del modelo que cuenta con una abertura en la parte inferior, porque los sedimentos obstruyeron la salida al compactarse en el fondo.

La aplicación de la metodología de Marie-Theres Nuelle et al., 2014 para la degradación de la resaca resultante del proceso de separación, utilizando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 35% durante 7 días demostró ser inefectiva a los fines perseguidos.

El proceso de ebullición de la resaca en agua de mar resulto notablemente satisfactoria en la separación de los microplásticos, al mismo tiempo que no se observaron



alteraciones en el estado físico de los materiales. Se logró la separación por densidades necesaria a los fines de separar la resaca de los microplásticos.



### 2.4.3 ENSAYO N° 3: TÉCNICA COMBINADA CON AGUA DE LA NOAA Y SEPARACIÓN POR REBASE

El objetivo de este ensayo es verificar si se logra una separación por densidades satisfactoria, aplicando la misma técnica del Ensayo N° 2, y utilizando la solución de NaCl y agua destilada, propuesta en la publicación de la NOAA (de referencia en el ensayo N° 1). En ésta, se propone utilizar una salmuera elaborada con 292,5 grs de NaCl/Lt de agua destilada, (densidad = 1,1765 g/ml a 20°C), en lugar de agua de mar. Así, el objetivo de este ensayo es comparar la aplicación de esta salmuera, con la utilización de agua de mar del estuario de Bahía Blanca.

El ensayo se realizó el día 29 de Mayo del 2017, en el Laboratorio de Química de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, con supervisión permanente del Tutor de esta tesis, el Dr. Marcelo Pereyra.



Imagen 34: Elaboración propia. Fotografía de la adaptación de una botella de vidrio para la separación por densidades.

#### DESARROLLO:

Pesamos 100 grs de muestra (previamente tamizada en la malla de 5mm), la muestra tuvo un volumen aproximado de 200 ml. La mezclamos con 3 veces su volumen de salmuera de la NOAA. Con una botella de vidrio cortada, se fabricó un instrumento similar al Cono Imhoff, pero con una abertura inferior de mayor calibre para evitar su obstrucción. Los inconvenientes con el uso de la botella de vidrio fueron dos: el primero el color del vidrio, que dificultó la visibilidad del material suspendido, y el segundo fue que se obstruyó igual que el Cono Imhoff, con el material sedimentable (cabe resaltar, que la muestra no se había tamizado en la malla de 1mm, sólo en la de 5mm).

Una vez que se logró desobstruir la abertura inferior, se pudieron separar las fases. Aquella con flotabilidad positiva, compuesta principalmente por los microplásticos y la resaca, fue colocada en un vaso de precipitados de 1lt, cubierta con salmuera de la NOAA hasta alcanzar 3 veces su volumen, se llevó a mechero hasta su punto de

ebullición, y por último se la dejó en reposo tapada con papel de aluminio para verificar la decantación de la resaca en la salmuera de la NOAA. Una semana después se verificó que la cantidad de resaca que flotaba era notoriamente mayor que en comparación con la que flota en agua de mar, utilizando la misma técnica.



Imagen 35: Elaboración propia. Fotografías Izquierda, material con flotabilidad positiva en salmuera de la NOAA, llevada a mechero. Derecha, material decantado en salmuera de la NOAA luego de una semana de reposo.

Para corroborar la hipótesis de que la misma resaca en agua de mar (densidad = 1,0258 g/ml a 20°C) precipitaría mejor, se procedió a lavar la muestra en su totalidad, dentro del tamiz de 1mm, con agua corriente para eliminar la sal, y luego se la colocó en agua de mar (3 veces el volumen inicial de la muestra) se la calentó hasta su ebullición y se la dejó reposar durante 1hr.



Imagen 36: Elaboración propia. Fotografías Izquierda, lavado del material decantado en salmuera de la NOAA, con agua corriente, en el tamiz de 1mm de abertura de malla. Centro, material precipitado luego de 1hr de reposo en agua de mar. Derecha, decantación en la salmuera de la NOAA, notar la diferencia en la cantidad de material precipitado, y la disminución del material en suspensión.

Puede observarse que la cantidad de resaca que precipitó en agua de mar es notablemente superior, esto sin considerar que el tiempo de decantación en el agua de mar fue sólo de 1 hora, mientras que en la salmuera de la NOAA, la muestra estuvo 1 semana en reposo.

### **ENSAYO COMPARATIVO ENTRE EL AGUA DE MAR Y LA SALMUERA DE LA NOAA**

Objetivo: confirmar objetivamente, mediante la construcción de muestras artificiales cuya composición sea lo más idéntica posible, que es más efectivo el uso del agua de mar que la salmuera de la NOAA para el proceso de separación de la resaca.

Para confirmar que el uso de la salmuera de la NOAA es desfavorable en el caso de la separación de la resaca, se fabricaron 4 muestras artificiales cuya composición es la siguiente:

- 10 pellets
- 10 fragmentos de telgopor (tamaño entre los 5 y 1 mm)
- 10 fragmentos de poliuretano expandido
- 24 grs de arena tamizada (tamaño menor a 1mm)

- 4,85 grs de resaca (separada del proceso de decantación del ensayo 2, además, para asegurarse que no hay presencia de microplásticos que interfieran con los resultados también se la inspeccionó visualmente).



Imagen 37: Elaboración propia. Fotografía de la construcción de las muestras artificiales para el ensayo comparativo entre el agua de mar y la salmuera de la NOAA

Las 4 muestras artificiales fueron sometidas al proceso de calentamiento hasta su ebullición, sin embargo en el proceso se utilizó para dos muestras agua de mar, y para las otras dos la salmuera de la NOAA. Durante la experiencia se perdió accidentalmente una muestra con salmuera de la NOAA, pero como se habían efectuado por duplicado, se prosiguió con el ensayo hasta concluirlo con 1 muestra con agua de mar y 1 muestra con salmuera de la NOAA.

Al finalizar la experiencia, los resultados pueden observarse en la foto a continuación



Imagen 38: Elaboración propia. Fotografía de vaso de precipitados de la izquierda, contiene una muestra luego de la ebullición y posterior decantación de los materiales en agua de mar. Derecha, mismo proceso pero con utilizando salmuera de la NOAA.

Puede observarse a simple vista que la muestra en la salmuera de la NOAA permite que parte de la resaca mantenga su flotabilidad positiva, con lo cual el proceso de separación posterior se ve dificultado.

En cambio, la muestra en agua de mar mantuvo sólo los microplásticos en suspensión, mientras la resaca precipitó casi en su totalidad. Las diferencias en la composición pueden observarse también en las fotos a continuación, una vez que se extrajo el material en suspensión



Imagen 39: Elaboración propia. Fotografía Izquierda, microplásticos extraídos de la muestra artificial utilizando agua de mar. Derecha, microplásticos extraídos utilizando salmuera de la NOAA.

Es destacable que en ambos casos, como resultado de la separación y conteo de los microplásticos, se recuperó el 100% de los materiales plásticos utilizados en la construcción de la muestra artificial, es decir: 10 pellets, 10 fragmentos de telgopor y 10 fragmentos de poliuretano expandido. Esto permite afirmar que tanto el agua de mar como la salmuera de la NOAA son eficientes en el proceso de separación de los microplásticos.

Sin embargo, la cantidad de resaca separada, permite concluir que para la separación de microplásticos en este tipo de muestras es conveniente la utilización de agua de mar, en detrimento de la salmuera de la NOAA.



Imagen 40: Elaboración propia. Fotografía Izquierda, resultado de la extracción de microplásticos de una muestra artificial utilizando agua de mar. Derecha, resultado de la extracción de microplásticos de una muestra artificial utilizando salmuera de la NOAA. Notar la gran cantidad de resaca en comparación con la muestra en la que se utilizó agua de mar.

## TÉCNICA DEL REBASE

En lugar de utilizar el Cono Imhoff para separar las fases, eliminando por la parte inferior aquella que decanta, se probó eliminar la fase de flotabilidad positiva por rebase. A diferencia de las pruebas anteriores, se pesaron 100 grs de muestra en bruto (del mismo lote que las pruebas anteriores), sin ningún tipo de tamizado, sólo se eliminaron piedras, macroresiduos y otros elementos visibles a simple vista.

Una vez pesada la muestra en bruto, se la pasó por los 3 tamices: de más de 1cm de abertura, de 5mm y de 1mm.



Imagen 41: Elaboración propia. Fotografías del proceso de tamizado sucesivo. Izquierda, tamizado en malla >1cm. Centro, tamizado en malla 5mm. Derecha, tamizado en malla 1mm.

Una vez tamizada la muestra, se trabajó sólo con la fracción que pasó por la malla de 5mm y quedó retenida en la de 1mm, de esta forma se separarían los microplásticos en el rango de tamaño large, al mismo tiempo que eliminamos gran parte de la arena y materiales pequeños cuyo tamaño es menor que el requerido en esta tesis. Fue notable la reducción del volumen de estos materiales arenosos y sedimentables, por lo que se aplicará esta técnica en otros ensayos.



Imagen 42: Elaboración propia. Fotografía de la ubicación del vaso de precipitados, para el procedimiento de rebase.

Esta parte de la muestra tamizada se la colocó en un vaso de precipitados, el que se ubicó dentro de un envase para que contenga el rebase (en este caso un cristalizador) como se muestra en la foto a continuación. Se la dejó decantar durante 15 minutos, con aproximadamente el doble de volumen de agua de mar.

Una vez decantados los materiales sedimentables, con suavidad (para no remover los materiales precipitados en el fondo) se fue vertiendo más agua de mar para provocar el rebase del vaso de precipitados. El primer inconveniente fue que al haber utilizado un vaso de precipitados para provocar el rebase, la resaca se acumuló en la parte superior, se adhirió entre si y lo único que rebasaba era el agua de mar, por la hendidura del recipiente. Para evitar que escape el agua, se tapó la hendidura (improvisadamente con el dedo), y con ayuda de una varilla de vidrio se fue eliminando el material que flotaba en bloque.



Imagen 43: Elaboración propia. Fotografía del procedimiento de separación por rebase. Obsérvese que se tuvo que recurrir al uso de una varilla de vidrio, ya que el material se eleva en bloque y no permite una separación eficaz.

Al respecto, otro inconveniente con esta técnica fue que la resaca flotaba en bloque, de forma tal que no se iba eliminando gradualmente sino que se elevaba por encima del nivel del vaso de precipitados. Ese bloque permitía nuevamente que escape sólo el agua de mar, sin derramar la resaca. Por ello, se recurrió al uso de

una varilla de vidrio para separar gradualmente el material con flotabilidad positiva.

El movimiento de la muestra, sumado a la gran cantidad de agua de mar que fue necesaria para poder separar la fase con flotabilidad positiva, generaba el inconveniente de remover el fondo de la muestra y resuspender los materiales sedimentados.

### **ENSAYO N°3: CONCLUSIONES**

- 1- El uso de una botella cortada para la separación inicial de los materiales sedimentables con salmuera de la NOAA, resultó ser ineficiente no sólo por la coloración del vidrio de la botella, sino porque se obstruyó la salida inferior, del mismo modo que sucedió en el Ensayo N° 2 con el Cono Imhoff. Cabe destacar, que esta muestra no había sido previamente tamizada en la malla de 1mm para separar las arenas.
- 2- La técnica del rebase para la separación inicial de las fases utilizando agua de mar demostró ser inefectiva principalmente por la naturaleza de la resaca, que tiende a agruparse en bloque en la parte superior de la muestra, evitando su desprendimiento gradual, y al mismo tiempo que permite que el agua de mar escape libremente. Por esta razón, se necesitó mucho tiempo y agua de mar para poder separar la muestra, la que no permitió una separación eficaz de la fracción sedimentable porque se resuspendió parcialmente con el manipuleo y el agregado de grandes cantidades de agua de mar.
- 3- Respecto al uso de la salmuera de la NOAA para el proceso, se destaca que es más eficiente el agua de mar, al mismo tiempo que permite ahorrar tiempos y recursos en su implementación. Por ello, para posteriores ensayos, se descarta el uso de la salmuera de la NOAA.
- 4- El tamizado previo de las muestras, por los tamices de distintos calibres, permite trabajar con muestras más pequeñas, que permiten un manejo más cómodo del volumen de cada muestra, al mismo tiempo que podría evitar la obturación de la salida del Cono Imhoff. Se observó que las muestras deben estar bien secas para que en el proceso de tamizado se puedan separar los microplásticos de la resaca, ya que al tener humedad los microplásticos se adhieren a la superficie de la resaca, al mismo tiempo que ésta no corre bien por la malla del tamiz porque tiende a agruparse.



#### **2.4.4 ENSAYO 4: SEPARACIÓN EN CONO IMHOFF CON TAMIZADO PREVIO**

El objetivo de este ensayo es perfeccionar la técnica de separación inicial por densidades, utilizando 3 tamices con diferentes calibres para eliminar la mayor cantidad de material en una primer etapa del proceso, achicar el tamaño de la muestra para que sea más cómodo el trabajo en el laboratorio, e impedir que se obture el Cono Imhoff durante la separación por densidades. Cabe destacar al respecto, que en las publicaciones consultadas el material se tamiza luego de la separación por densidades, ya que el material que flota es aquel que interesa a los fines de los análisis posteriores.

El ensayo se realizó el día 5 de Junio del 2017, en el Laboratorio de Química de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, con supervisión permanente del Tutor de esta tesis, el Dr. Marcelo Pereyra.

#### **DESARROLLO:**

Se pesó 100grs de una muestra (igual lote que las anteriores) en bruto. Luego se la tamizó sucesivamente por el tamiz de abertura > 1cm, 5mm y 1mm. Se pesó cada una de las fracciones que se fueron separando, obteniéndose los siguientes resultados:

- Arena (tamiz 1mm) = 55,6 grs
- Resaca fina (tamiz 5mm) = 6,7 grs
- Resaca gruesa (tamiz >1cm) = 1 gr

En total, de la masa inicial de la muestra de 100 grs, se obtuvo una muestra con una masa de 36,7grs, con la granulometría adecuada a los fines de esta tesis. Esta muestra, se colocó en el Cono Imhoff con 3 veces su volumen de agua de mar, y se la dejó decantar. Aunque el volumen de sedimentos que decantó fue notoriamente inferior al que decanta sin el tamizado inicial, al cabo de unos 10 minutos, al intentar descargar el Cono, éste se hallaba obstruido. Sin embargo, la desobstrucción en este caso fue más sencilla que en los anteriores.



Imagen 44: Elaboración propia. Fotografías Izquierda: ensayo 1 en Cono Imhoff sin tamizar (la fracción sedimentable ocupó aproximadamente 100 ml) y Derecha: ensayo 4 en Cono Imhoff con tamizado previo (la fracción sedimentable ocupó menos de 40 ml)

En la práctica, aunque el volumen de material fue menor (por el tamizado previo), existe una dificultad en la separación de la fracción con flotabilidad positiva, ya que al inclinar el Cono Imhoff, la fracción flotante se dispersa por todo el cono, y se adhiere a las paredes. Para poder sacar limpiar estos restos adheridos a las paredes, se necesita más agua, y el resultando es un gran volumen de muestra que deberá llevarse a mechero. Esto dificulta el procedimiento y genera gastos en tiempos y recursos.

Una vez separadas, la fracción con flotabilidad positiva conteniendo la resaca y los microplásticos, se llevó a mechero, en un vaso de precipitados. Luego de la ebullición se la tapó con un papel de aluminio y se la dejó reposar durante 1 hr. Transcurrido ese tiempo, la resaca precipitó y se separó la fracción flotante conteniendo los microplásticos.

NOTA:

**Experiencia con Muestra 2: Peso bruto: 142,1grs**

Luego de los 3 tamizados sucesivos se obtuvieron los siguientes resultados:

-Arena: 75,3 grs

-Resaca 5 mm: 12 grs

-Resaca > 1cm: 6,4 gs

Peso luego de la separación por tamizados sucesivos: 48,4 grs.

En esta ocasión, aunque se repitieron los pasos de la experiencia anterior, el Cono Imhoff se descargó cada 3 o 4 minutos, con lo cual se logró que no se obstruyera. Aún así, el destapado de la parte inferior del Cono es un proceso complejo y se pierde mucho material, ya que no se tiene control de la velocidad y volumen de las descargas.

Se utilizó agua de mar, y se dejó que la muestra decantara durante 1 semana. No se observaron cambios.

#### **ENSAYO N° 4: CONCLUSIONES**

1. Los tamizados sucesivos previos a la separación por densidades resultaron en una gran ventaja no sólo por la reducción en el volumen de la muestra, sino porque permite desobturar el Cono Imhoff más fácilmente.
2. Para extraer la fracción flotante del Cono Imhoff se necesita mucho volumen de agua, lo que dificulta el paso posterior de llevar a mechero la muestra.
3. Estos ensayos se efectuaron sobre una misma muestra. En el caso de una muestra arcillosa, se observó que al secarse la misma no era posible de tamizarla, ya que se agrupaba en conglomerados muy grandes y duros que no pasaban por la malla. Al respecto, esto se solucionó efectuando el tamizado en forma húmeda sin previo secado de la muestra. En este sentido, resulta fundamental una primer aproximación a una clasificación de las muestras según su granulometría en arcillosas o arenosas.

## 2.4.5 ENSAYO N° 5 – CALIBRACIÓN DE SEGUNDA SEPARACIÓN POR DENSIDADES

Objetivo: registrar cuánto tiempo deberá esperarse para proceder a la extracción del sobrenadante con microplásticos, luego de llevar a mechero (a ebullición) la muestra. Como la temperatura es función del tiempo de enfriamiento y de la masa del material que debe enfriarse, se realizaron varios registros con sus correspondientes masas para llegar a una conclusión.

### REGISTRO 1

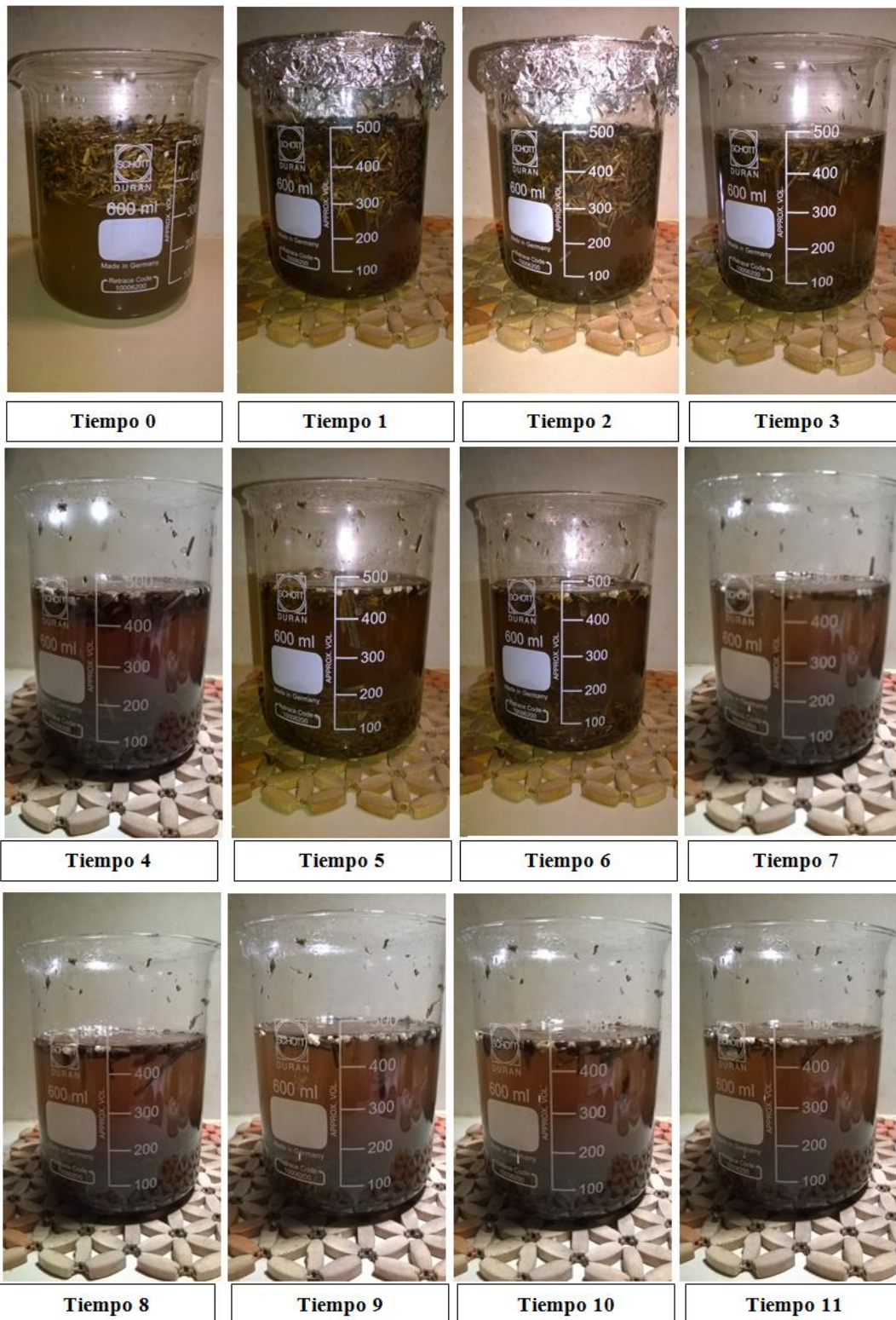
METODOLOGÍA: Se siguió el protocolo con una masa de material de aproximadamente 200 ml, luego de lo cual, la masa se redujo a unos 150 ml. Antes de llevar la muestra al mechero, en un vaso de precipitados de 500 ml de capacidad, se comenzó a registrar las temperaturas con un termómetro de mercurio con capacidad hasta 110 °C. A partir del Tiempo 1 los intervalos de tiempo en las mediciones de la temperatura fueron de 10 minutos.

Registro 1: Observación el termómetro se apoyó en el fondo del vaso de precipitados en cada medición. El proceso consistió en tomar una fotografía, realizar la medición de la temperatura y agitar suavemente con una cuchara metálica en cada uno de los tiempos. Durante el intervalo de tiempo, la muestra permaneció tapada con papel de aluminio.

Cuadro 5: Resultados de las mediciones Registro N°1 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.

Temperatura	Tiempo	Observación / Descripción	Tiempo transcurrido desde el punto de ebullición
12 °C	0	Muestra en agua de mar a temperatura ambiente. 500 ml volumen total.	0
98 °C	1	Punto de ebullición.	0
76 °C	2	Comienzo de la decantación de la resaca.	10 minutos
65 °C	3		20 minutos
61 °C	4	Precipitó más del 50% de la resaca.	30 minutos
49 °C	5	-	40 minutos
44 °C	6	Queda poca resaca en flotación, ya se podría retirar el sobrenadante para la separación de microplásticos.	50 minutos
40 °C	7	-	60 minutos
37 °C	8	-	70 minutos
35 °C	9	No se observan cambios con respecto a Tiempo 7.	80 minutos
32 °C	10	No se observan cambios con respecto a Tiempo 7.	90 minutos
30 °C	11	No se observan cambios con respecto a Tiempo 7.	100 minutos
28 °C	12	No se observan cambios con respecto a Tiempo 7.	110 minutos

Imagen 45: Elaboración propia. Registro fotográfico del Registro N° 1 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.





**Tiempo 12**

*Análisis de resultados del Registro 1: entre los 50 y 60 minutos, la muestra ya estaba en condiciones de ser analizada.*

## REGISTRO 2

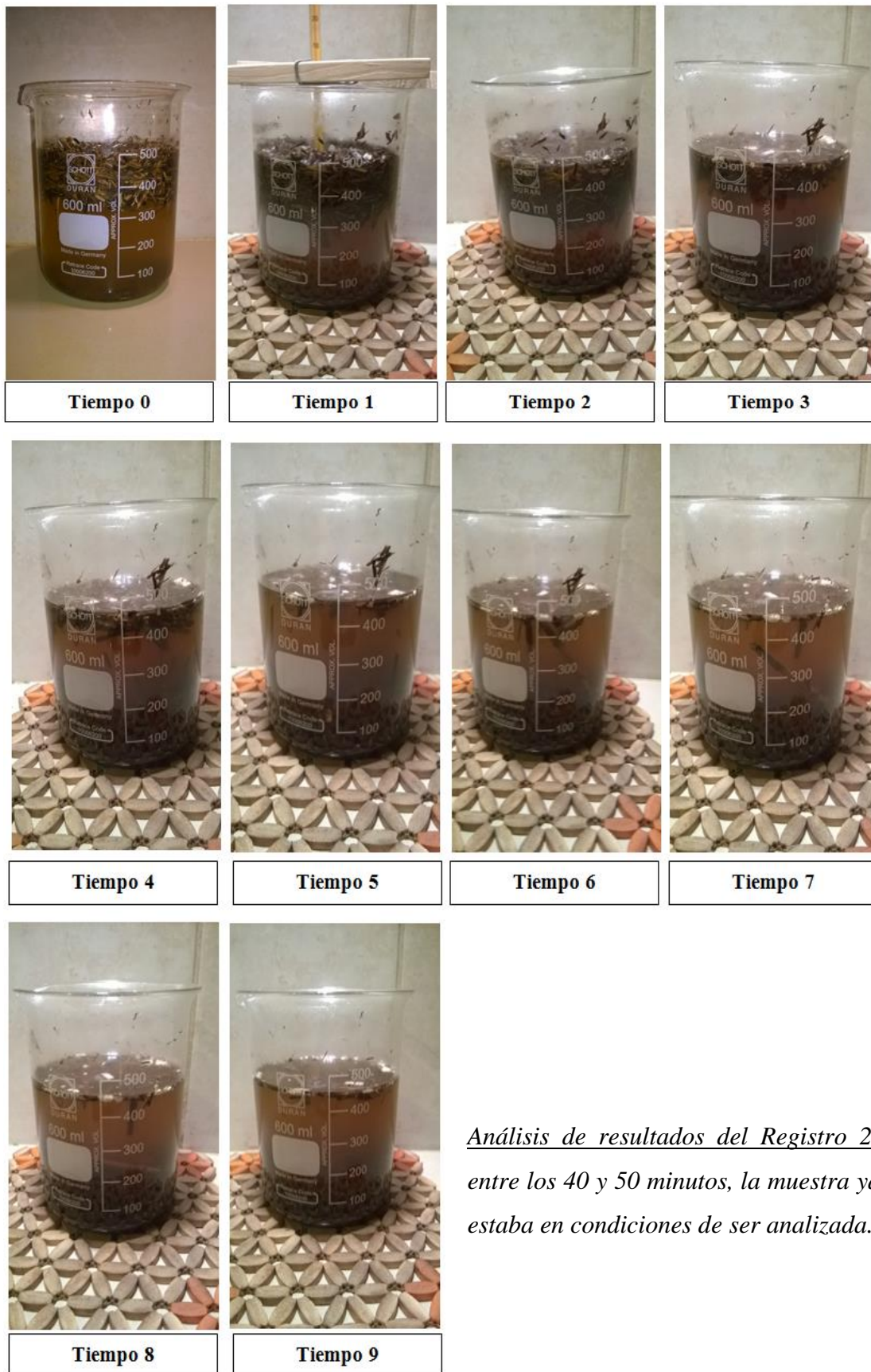
**METODOLOGÍA:** Se siguió el protocolo con una masa de material de aproximadamente 200 ml, luego de lo cual, la masa se redujo a unos 150 ml. Antes de llevar la muestra al mechero, en un vaso de precipitados de 500 ml de capacidad, se comenzó a registrar las temperaturas con un termómetro de mercurio con capacidad hasta 110 °C. A partir del Tiempo 1 los intervalos de tiempo en las mediciones de la temperatura fueron de 10 minutos.

**Observación:** el termómetro no se apoyó en el fondo del vaso de precipitados en cada medición, sino que se mantuvo en el medio del fluido. El proceso consistió en tomar una fotografía, realizar la medición de la temperatura y agitar suavemente con una cuchara metálica en cada uno de los tiempos. Durante el intervalo de tiempo, la muestra permaneció sin cubrir con papel de aluminio.

Cuadro 6: Resultados de las mediciones Registro N° 2 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.

Temperatura	Tiempo	Observación / Descripción	Tiempo transcurrido desde el punto de ebullición
14 °C	0	Muestra en agua de mar a temperatura ambiente. 500 ml volumen total.	0
95 °C	1	Punto de ebullición.	0
72 °C	2	Comienzo de la decantación de la resaca.	10 minutos
58 °C	3	Precipitó más del 50% de la resaca.	20 minutos
53 °C	4	-	30 minutos
44 °C	5	Queda poca resaca en flotación, ya se podría retirar el sobrenadante para la separación de microplásticos.	40 minutos
40 °C	6	No se observan cambios con respecto a Tiempo 5.	50 minutos
38 °C	7	No se observan cambios con respecto a Tiempo 5.	60 minutos
33 °C	8	No se observan cambios con respecto a Tiempo 5.	70 minutos
31 °C	9	No se observan cambios con respecto a Tiempo 5.	80 minutos

Imagen 46: Elaboración propia. Registro fotográfico del Registro N° 2 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.



*Análisis de resultados del Registro 2: entre los 40 y 50 minutos, la muestra ya estaba en condiciones de ser analizada.*



### **REGISTRO 3**

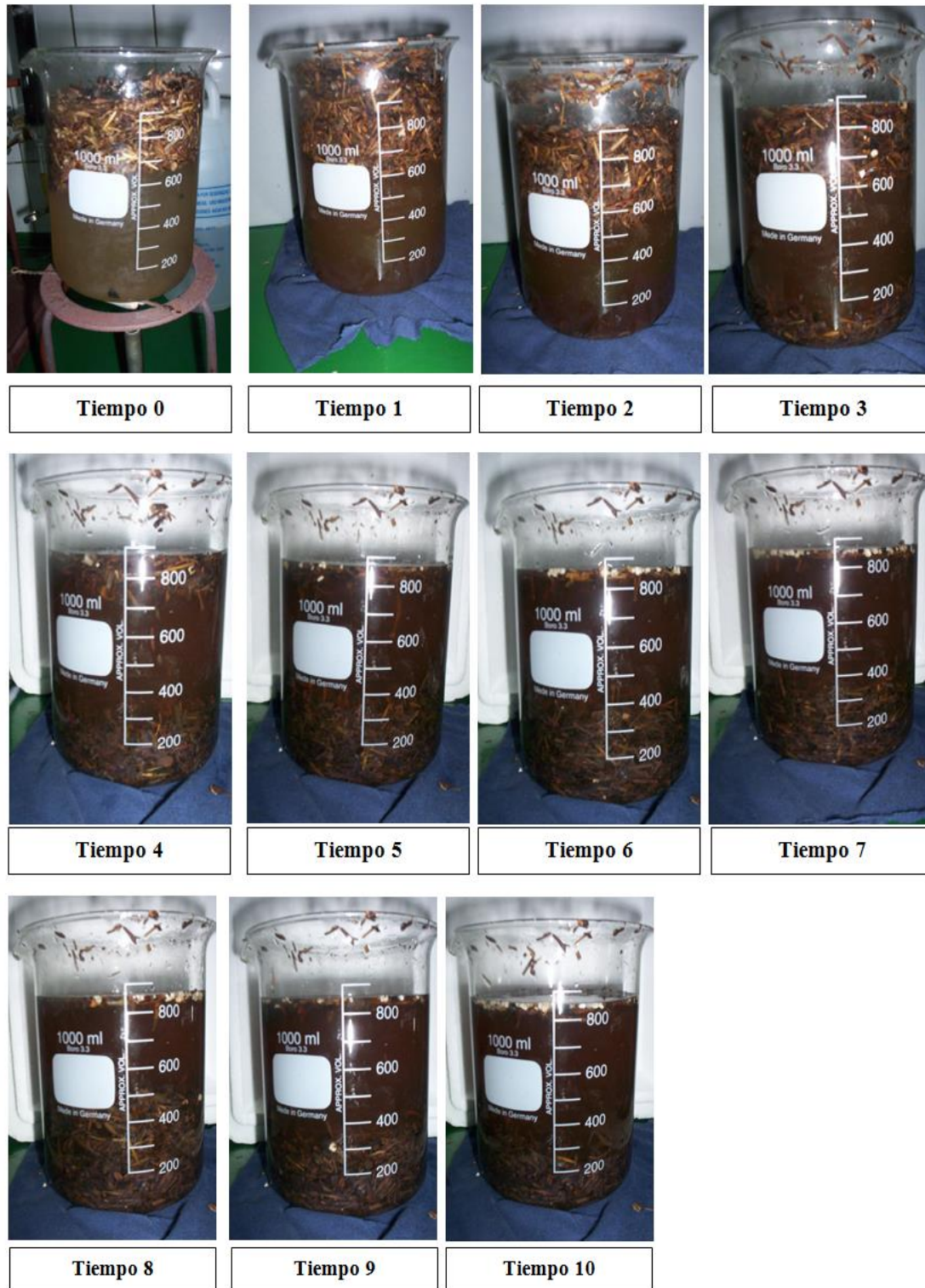
**METODOLOGÍA:** Se siguió el protocolo con una masa de material de aproximadamente 500 ml, luego de lo cual, la muestra se redujo a unos 300 ml. Antes de llevar la muestra al mechero en un vaso de precipitados de 1lt de capacidad, se comenzó a registrar las temperaturas con un termómetro de mercurio con capacidad hasta 110 °C. A partir del Tiempo 1 los intervalos de tiempo en las mediciones de la temperatura fueron de 10 minutos.

**Registro 3:** Observación el termómetro no se apoyó en el fondo del vaso de precipitados en cada medición, sino que se mantuvo en el medio del fluido. El proceso consistió en tomar una fotografía, realizar la medición de la temperatura y agitar suavemente con una cuchara metálica en cada uno de los tiempos. Durante el intervalo de tiempo, la muestra permaneció cubierta con papel de aluminio.

Cuadro 7: Resultados de las mediciones Registro N° 3 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.

<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Observación / Descripción</b>	<b>Tiempo transcurrido desde el punto de ebullición</b>
18 °C	0	Muestra en agua de mar a temperatura ambiente. 900 ml volumen total.	0
97 °C	1	Punto de ebullición.	0
86 °C	2	Comienzo de la decantación de la resaca.	10 minutos
77 °C	3	-	20 minutos
68 °C	4	Precipitó más del 50% de la resaca.	30 minutos
62 °C	5	-	40 minutos
58 °C	6	Queda poca resaca en flotación, ya se podría retirar el sobrenadante para la separación de microplásticos.	50 minutos
55 °C	7	-	60 minutos
50 °C	8	-	70 minutos
47 °C	9	No se observan cambios con respecto a Tiempo 7.	80 minutos
44 °C	10	No se observan cambios con respecto a Tiempo 7.	90 minutos

Imagen 47: Elaboración propia. Registro fotográfico del Registro N° 3 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.



*Análisis de resultados del Registro 3: entre los 50 y 60 minutos, la muestra ya estaba en condiciones de ser analizada.*

### REGISTRO 4

**METODOLOGÍA:** Se siguió el protocolo con una masa de material de aproximadamente 500 ml, luego de lo cual, la muestra se redujo a unos 300 ml. Antes de llevar la muestra al mechero en un vaso de precipitados de 1 lt de capacidad, se comenzó a registrar las temperaturas con un termómetro de mercurio con capacidad hasta 110 °C. A partir del Tiempo 1 los intervalos de tiempo en las mediciones de la temperatura fueron de 10 minutos.

**Registro 4:** Observación el termómetro no se apoyó en el fondo del vaso de precipitados en cada medición, sino que se mantuvo en el medio del fluido. El proceso consistió en tomar una fotografía, realizar la medición de la temperatura y agitar suavemente con una cuchara metálica en cada uno de los tiempos. Durante el intervalo de tiempo, la muestra no permaneció cubierta con papel de aluminio.

Cuadro 8: Resultados de las mediciones Registro N° 4 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.

Temperatura	Tiempo	Observación / Descripción	Tiempo transcurrido desde el punto de ebullición
20 °C	0	Muestra en agua de mar a temperatura ambiente. 800 ml volumen total.	0
99 °C	1	Punto de ebullición.	0
77 °C	2	Comienzo de la decantación de la resaca.	10 minutos
61 °C	3	-	20 minutos
54 °C	4	Precipitó más del 50% de la resaca.	30 minutos
48 °C	5	-	40 minutos
43 °C	6	Queda poca resaca en flotación, ya se podría retirar el sobrenadante para la separación de microplásticos.	50 minutos

Imagen 48: Elaboración propia. Registro fotográfico del Registro N° 4 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.



*Análisis de resultados del Registro 4: A los 50 minutos, la muestra ya estaba en condiciones de ser analizada.*

### REGISTRO 5

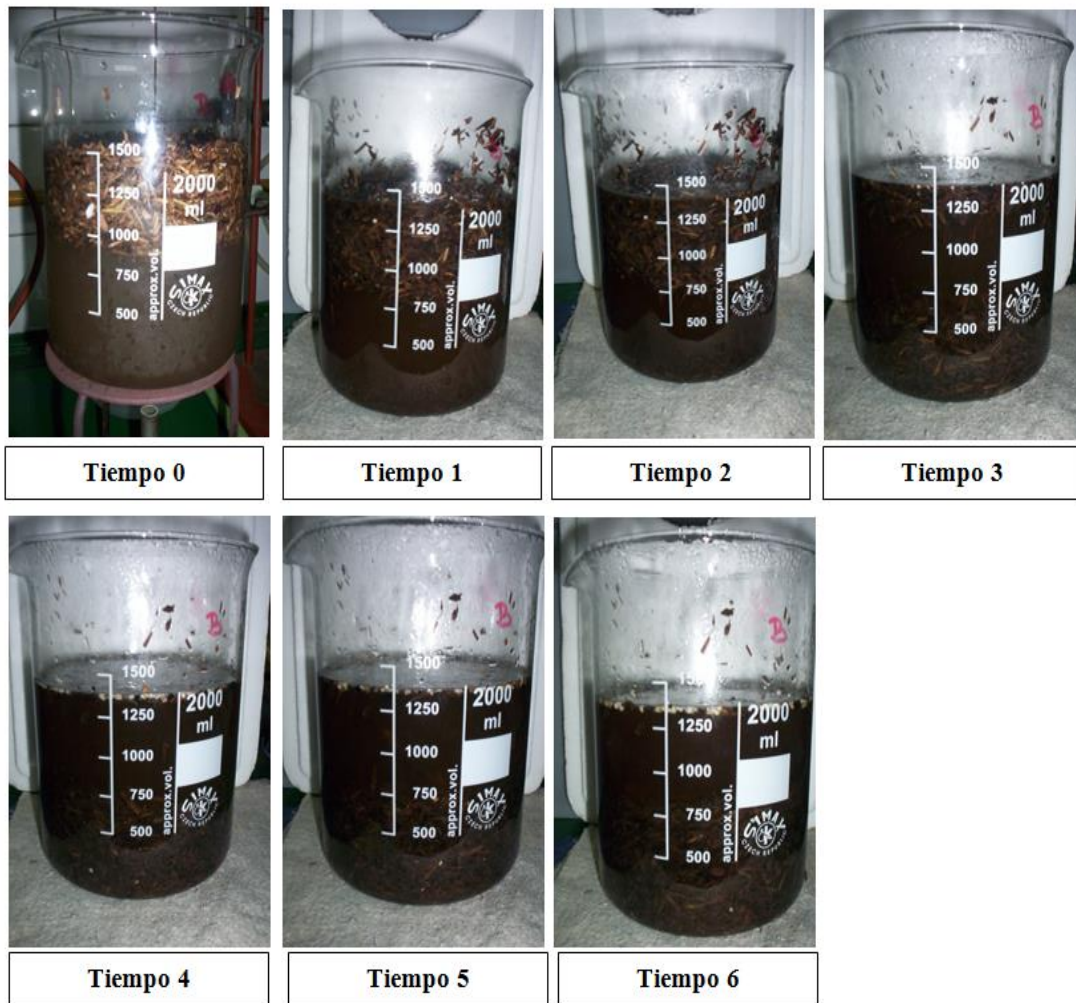
**METODOLOGÍA:** Se siguió el protocolo con una masa de material de aproximadamente 750 ml, luego de lo cual, la muestra se redujo a unos 500 ml. Antes de llevar la muestra al mechero en un vaso de precipitados de 2 lt de capacidad, se comenzó a registrar las temperaturas con un termómetro de mercurio con capacidad hasta 110 °C. NOTA: en este caso, la muestra se mantuvo en estado de ebullición durante 2 min aproximadamente, revolviendo en forma constante para evitar su rebase. A partir del Tiempo 1 los intervalos de tiempo en las mediciones de la temperatura fueron de 10 minutos.

**Registro 5:** Observación: el termómetro no se apoyó en el fondo del vaso de precipitados en cada medición, sino que se mantuvo en el medio del fluido. El proceso consistió en tomar una fotografía, realizar la medición de la temperatura y agitar suavemente con una cuchara metálica en cada uno de los tiempos. Durante el intervalo de tiempo, la muestra permaneció cubierta con papel de aluminio.

Cuadro 9: Resultados de las mediciones Registro N° 5 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.

Temperatura	Tiempo	Observación / Descripción	Tiempo transcurrido desde el punto de ebullición
18 °C	0	Muestra en agua de mar a temperatura ambiente. 900 ml volumen total.	0
99 °C	1	Punto de ebullición.	0
85 °C	2	Comienzo de la decantación de la resaca.	10 minutos
75 °C	3	Precipitó más del 50% de la resaca.	20 minutos
68 °C	4	Queda poca resaca en flotación, ya se podría retirar el sobrenadante para la separación de microplásticos.	30 minutos
64 °C	5	-	40 minutos
57 °C	6	No se observan cambios respecto a tiempo 5.	50 minutos

Imagen 49: Elaboración propia. Registro fotográfico del Registro N° 5 de la calibración del proceso de segunda separación por densidades.



*Análisis de resultados del Registro 5: entre los 30 y 40 minutos, la muestra ya estaba en condiciones de ser analizada.*

**NOTA:** en este caso, dado el gran volumen de material trabajado y la velocidad a la cual precipitó la resaca, fue necesario agitar la muestra removiendo el fondo, ya que la gran masa de resaca había arrastrado algunos microplásticos al fondo.

### ENSAYO N° 5: CONCLUSIÓN

Luego de haber probado con diversos volúmenes de muestra, puede concluirse que el tiempo de decantación mínimo que deberá dejarse las muestras en reposo luego de la ebullición es de una hora. No obstante, se recomienda remover cada 15 minutos el fondo, ya que la decantación de la resaca puede arrastrar microplásticos al fondo del recipiente. De la misma forma, una vez que se retiró el sobrenadante, se recomienda



remover el fondo nuevamente para asegurarse de que no hay microplásticos atrapados entre la resaca.



*Luego de un arduo trabajo de años, ensayos, observaciones, pruebas y errores, se pudieron superar las dificultades más importantes para afrontar la elaboración de un protocolo para la separación de microplásticos Large de muestras recolectadas en ambientes de marismas saladas del Estuario de Bahía Blanca, el que se presenta a continuación:*



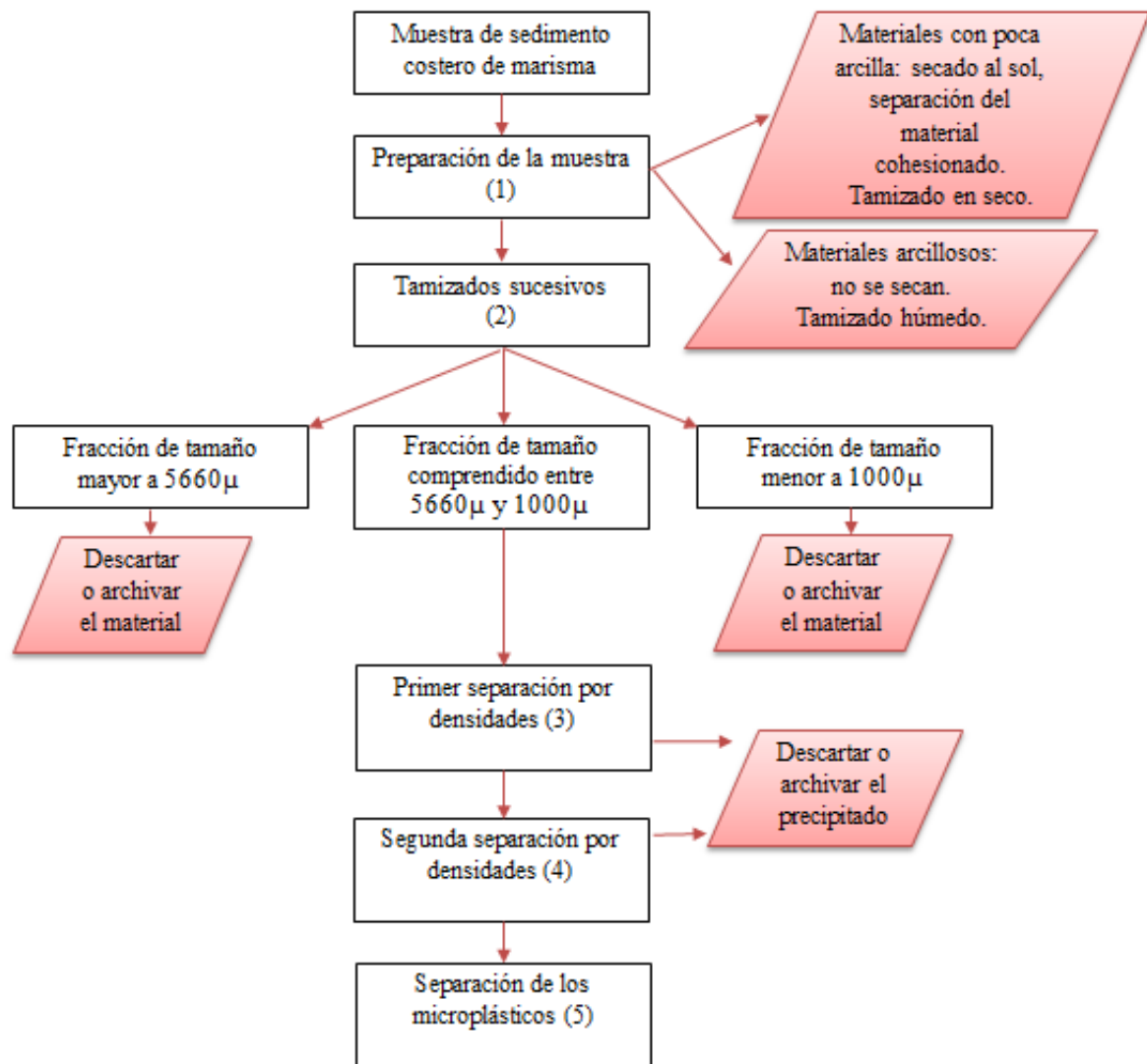
## **2.5 PROTOCOLO DE LABORATORIO PARA LA SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS LARGE DE MUESTRAS DE SEDIMENTO COSTERO DE MARISMAS DEL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA (MARISMA SALADA)**

Éste método puede ser utilizado para separar microplásticos de muestras de sedimentos costeros de marismas, caracterizados por poseer una alta proporción de restos vegetales. Los materiales plásticos que pueden ser separados aplicando esta metodología incluyen los de uso más común, tales como polietileno (densidad 0,91-0,97 g/ml), polipropileno (densidad 0,94 g/ml), y poliestireno (densidad 1,05 g/ml) cuya densidad es menor a la del agua de mar. En este sentido, como se trata de muestras extraídas de una zona costera, se asume que los microplásticos serán arrastrados por el agua de mar, y que se encontrarán en forma mayoritaria aquellos con flotabilidad positiva en este elemento (Nuelle et al., 2014) por lo que la utilización de agua de mar para este protocolo, además de ser efectiva y económica a los fines perseguidos, resulta ecológica.

Los residuos plásticos separados con este protocolo pueden ser considerados microplásticos en el rango de tamaño Large, que van desde los 5mm a 1mm. En este método los microplásticos son definidos como cualquier material sólido en el rango de tamaños referido, que exhibe flotación en agua de mar en los dos procesos de separación por densidades, resiste el punto de ebullición en agua de mar, y pasa una inspección visual bajo la lupa.

### 2.5.1 DIAGRAMA DE FLUJOS PARA LA SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS LARGE DE SEDIMENTOS COSTEROS DE MARISMAS SALADAS

Imagen 50: Elaboración propia. Diagrama de flujos para la separación de microplásticos large de sedimentos costeros de marismas del Estuario de Bahía Blanca.



*La numeración se corresponde con el número de cada paso en el proceso descrito a continuación.*

### **2.5.2 ELEMENTOS NECESARIOS:**

- Tamiz de 1 cm aproximado de abertura de malla (puede ser preparado en base a alguna malla que tenga una abertura similar a esta medida, no es necesaria la calibración de este tamiz).
- Tamiz de 5660  $\mu$  de abertura de malla (ASTM N° 3.5)
- Tamiz de 1000  $\mu$  de abertura de malla (ASTM N° 18)
- Agua de mar, cantidad necesaria
- Muestra de sedimento costero de marisma
- Cono Imhoff de 2 Lts de capacidad como mínimo
- Manga para repostería transparente
- Vaso de precipitados de 500 ml y 1 lt
- Piceta
- Mechero
- Cuchara metálica

### 2.5.3 CONSIDERACIONES GENERALES

Este protocolo para la separación de microplásticos está diseñado para su aplicación en ambientes costeros de marismas saladas, caracterizadas por una abundante vegetación halófila, cuyos fragmentos con flotabilidad positiva (aquí llamados “resaca”) no permiten la aplicación eficiente de otros procedimientos. En el caso del Estuario de Bahía Blanca, ésta resaca está compuesta principalmente por restos de *Spartina alterniflora*, *Spartina densiflora* y *Sarcocornia perennis*.



Imagen 51: Elaboración propia. Fotografía del aspecto físico de la resaca costera del Estuario de Bahía Blanca.

Para la toma de muestras, almacenamiento y todo tipo de procedimientos que tengan contacto con ellas, se recomienda minimizar el uso de materiales plásticos (principalmente telgopores) que puedan producir fragmentos en su manipuleo, generando errores en las estimaciones finales. Del mismo modo, para la limpieza de todos los materiales utilizados para las tomas de muestras y trabajos en el laboratorio, no es recomendable utilizar esponjas sintéticas (plásticas) ya que suelen desprenderse pequeños fragmentos del material, los que luego contaminan las muestras. Al respecto, se recomienda la utilización de esponjas vegetales o bien materiales textiles para la limpieza.

### 2.5.4 CONSIDERACIONES PARA LA TOMA DE MUESTRAS

Para la toma de muestras en ambientes de marismas, no es recomendable la utilización de un caño para extracción de testigos, ya que la resaca tiende a compactarse al presionarla, lo que altera drásticamente la profundidad de la toma de la muestra. Por



otro lado, la resaca tiende a obstruir la boca del caño y la muestra se ve alterada.

Imagen 52: Elaboración propia. Fotografía de la extracción de muestras utilizando un molde cuadrado. Se clava el molde en el sedimento, y se extrae del interior del mismo la muestra con ayuda de una cuchara metálica.

Se recomienda la utilización de un molde de forma cuadrada, de volumen conocido y acorde a lo necesario para los análisis posteriores. Este molde permite también recortar la resaca con un cuchillo, por los laterales exteriores, en los casos en que sea necesario.

Para la construcción del molde puede utilizarse un envase con el tamaño adecuado, al cual se le recorta el fondo, quedando sólo los laterales disponibles. Es importante que el material sea resistente, ya que se ejercerá presión sobre éste para poder clavarlo en el sedimento.



Imagen 53: Elaboración propia. Fotografía del recorte de la resaca de los laterales del molde con un cuchillo para extraer las muestras.

Se recomienda también la toma de muestras por duplicado y conservarlas secas.

Respecto a las condiciones meteorológicas para la toma de muestras, se recomienda evitar los días de fuertes vientos, ya que se volatilizan parte de los materiales más livianos, y evitar días posteriores a fuertes lluvias, para disminuir el contenido de humedad de las muestras que luego deberán secarse.

Las muestras se pueden almacenar en bolsas plásticas, cerradas y rotuladas, hasta su uso.

### **2.5.5 (1) PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

Una vez que se toma la muestra en bruto, se la clasificará dependiendo del contenido en arcillas del material:

- Las muestras que contienen abundantes arcillas, se caracterizan en general por manchar las manos al tacto y tener plasticidad (por la cohesión entre sus materiales), si se las seca se tornan muy duras.
- Las muestras arenosas, al tacto son más ásperas, no manchan las manos y carecen de plasticidad, si se las seca se disgregan fácilmente y corren bien por las mallas de los tamices.

Las muestras arcillosas no se secarán, las arenosas o con alto contenido de resacas sí.

Para las muestras arcillosas, pasar al punto 2.B.

Para las muestras con pocas arcillas, se las secará al sol (el tiempo de secado dependerá del contenido de humedad inicial de la muestra), removiéndola diariamente de forma cuidadosa con una cuchara metálica, de forma tal de lograr un secado homogéneo de la muestra. Si la muestra bruta está muy húmeda, puede ser necesaria más de una semana de secado. Es importante notar que si la muestra se seca en el exterior, deberá estar protegida del viento, ya que éste puede hacer que se vuelen los materiales más livianos. En este sentido, se recomienda el secado de las muestras en un sitio protegido del viento, para evitar pérdidas de materiales livianos.

El secado previo al tamizado es muy importante, ya que hay muchas partículas plásticas que quedan adheridas a la superficie de la resaca al encontrarse húmedas, lográndose una separación más satisfactoria cuando los materiales se encuentran completamente secos. A veces puede ser necesario remover o incluso presionar suavemente los materiales con una cuchara metálica, para favorecer la separación de muestras con abundantes arcillas o materiales con alta cohesión. La resaca húmeda tiende a apelmazarse entre sí y no corre bien por las mallas de los tamices, por lo que es importante un buen secado previo para lograr que los materiales se separen lo mejor posible durante los tamizados sucesivos.



Imagen 54: Elaboración propia. Fotografía de una muestra bruta seca. En este caso, es de estructura arenosa.



Imagen 55: Elaboración propia. Fotografía de una muestra bruta seca. En este caso, se observa abundante resaca.

Una vez seca, dividimos la muestra en tantas fracciones como sea necesario de unos 300 a 400 ml aproximadamente. Para ello, podemos medirlas en el vaso de precipitados. No se recomienda trabajar con muestras de mayor volumen, ya que con los tamices utilizados se satura la superficie de la malla y no se logra una separación satisfactoria de los materiales (principalmente en el tamiz de 1000 $\mu$ ).

## 2.5.6 (2) TAMIZADOS SUCESIVOS

El procedimiento de tamizados sucesivos, dependerá del contenido de arcillas de las muestras.

### 2.A MATERIALES CON POCA ARCILLA

Los materiales con poca arcilla (o más arenosos) una vez secos, al zarandearlos se observa que se separan entre sí y corren libremente por la malla de los tamices. Los materiales más arcillosos, en cambio, tienden a apelmazarse y al estar secos se tornan muy duros, lo que dificulta el tamizado.

Se encastran los tamices, uno encima del otro, quedando en la parte superior el de mayor calibre, y en la inferior el menor (es decir, primero el de abertura de malla de 1cm, en el medio el de 5660 $\mu$  y en la parte inferior el de 1000 $\mu$ ). Se coloca una de las fracciones de 300 ml de la muestra, de a poco, mientras se realiza el tamizado. Una vez que se colocó la totalidad de la fracción de la muestra en el primer tamiz y se tamiza, se retira, y se descarta el material (o se guarda, dependiendo del objetivo de la investigación) y se continúa tamizando con los otros dos aún encastrados durante al menos 20 segundos. Luego se retira el tamiz de 5660 $\mu$ , se descarta el material retenido (o se conserva) y se continúa durante 40 segundos más, tamizando sólo con el de abertura de malla de 1000 $\mu$ . El material que resulta de interés a los fines de separar los microplásticos en el rango de tamaño Large, es el retenido en la malla de 1000 $\mu$ .

En síntesis, los tiempos aproximados de tamizado por cada malla son:

- Malla de 1cm: 10 segundos
- Malla de 5660 $\mu$ : 20 segundos
- Malla de 1000 $\mu$ : 40 segundos

NOTA: Estos tiempos son estimativos y varían según la naturaleza del material a tamizar, en caso de que se advierta que aún queda material que pueda pasar por las mallas, se continúa tamizando hasta eliminarlo completamente, o bien si ya se ha eliminado la fracción de interés se puede acortar el tiempo. No se recomienda extender los tiempos de tamizado innecesariamente, ya que la estructura de la espartina (larga y delgada) hace que un tiempo de tamizado prolongado favorezca que ésta pase por las mallas y luego dificulte las separaciones por densidades.





Imagen 56: Elaboración propia. Fotografía del material retenido en el tamiz de 1000 $\mu$ .

Por último, el material retenido en la malla de 1000 $\mu$  se recolecta y repetimos el tamizado encastrando sólo los tamices de 5660 $\mu$  (en la parte superior) y 1000 $\mu$  (en la parte inferior). Se repite el proceso de tamizado.

Una vez finalizado el tamizado, se vuelve a unificar las distintas fracciones de la muestra (que ahora tendrán un volumen menor producto del material separado), y las fraccionamos nuevamente en volúmenes de 200 a 250 ml.

Tener en cuenta que una vez finalizado el proceso de tamizado, en el tamiz de 1000 $\mu$  suelen quedar atrapados fragmentos de materiales entre las aberturas de la malla. Estos fragmentos deben ser retirados cuidadosamente de la malla con una escobilla o pincel y recolectados para la posterior separación por densidades.



Imagen 57: Elaboración propia. Fotografía de la remoción del material retenido en las aberturas del tamiz de 1000 $\mu$ .

**NOTA:** Para evitar dañar, deformar o descalibrar las mallas de los tamices, no se recomienda el uso de una cuchara u otro instrumento rígido para remover los materiales contenidos, sino simplemente inclinarlo suavemente y acompañar los materiales delicadamente con cepillo o pinceleta, evitando rozar o presionar sobre la malla calibrada.

## 2.B MATERIALES CON ALTO CONTENIDO DE ARCILLAS

En algunos sectores del intermareal, principalmente entre la bajamar y la altamar, existen sitios ricos en arcillas, cuyas muestras una vez secas no se pueden disgregar (ya que poseen una alta dureza y cohesión). Por ello, el proceso de tamizado se realizará sin el secado previo de la muestra, y en forma húmeda.



Imagen 58: Elaboración propia. Fotografía de materiales secos con alto contenido en arcillas. Puede observarse la gran cohesión y dureza de los materiales

Las muestras brutas no se secan al sol, sino que se colocan los trozos del material en un vaso de precipitados de 1lt y se le agrega agua de mar suficiente para cubrirlos e hidratarlos por completo. Se los remueve suavemente con una cuchara metálica, para ir disgregando y separando los materiales que lo contienen.



Imagen 59: Elaboración propia. Fotografía de la disgregación de las arcillas con agua de mar.

Se encastran los tamices de 5660 $\mu$  y de 1000 $\mu$  tal como como se indicó en 2.A, y se vierte el contenido líquido sobre ellos.

En el fondo del vaso de precipitados, se acumularán los materiales no disgregados, o más pesados, los que se removerán nuevamente agregándole más agua de mar, hasta conseguir su disgregación. Este paso se repite tantas veces como sea necesario, hasta alcanzar la completa disgregación de las arcillas.

Imagen 60: Elaboración propia. Fotografías del tamizado húmedo en malla de 5660 $\mu$ .



En el tamiz de malla de 5660 $\mu$ , se acumularán los materiales más voluminosos. En caso de observarse material cohesionado, con el chorro de agua de mar de una piseta se pueden deshacer y lograr que el material pase al otro tamiz. Es importante lograr la mayor disgregación posible de los materiales arcillosos.

Se retira el tamiz de malla de 5660 $\mu$ , y el siguiente se remueve con ayuda de un chorro de agua de mar, para eliminar la mayor cantidad de arcillas posibles. También puede sumergirse parcialmente el tamiz, hasta superar unos milímetros el nivel de la malla, y con movimientos suaves separar los materiales. El material retenido en este tamiz se deja contenido en él, y se lo seca al sol durante un día o dos, hasta que se observe que el material no tiene humedad y perdió adherencia con las paredes del tamiz y entre sí.



Imagen 61: Elaboración propia. Fotografía del material retenido en la malla de 1000 $\mu$ , se lo seca al sol dentro del mismo tamiz.

Una vez seco el material contenido en el tamiz, se lo retira con ayuda de un cepillo suave, y se procede al punto 3.

## 2.5.7 (3) PRIMER SEPARACIÓN POR DENSIDADES

### 3.1 CONSTRUCCIÓN DEL SEPARADOR POR DENSIDADES

Para construir el separador por densidades: se corta el pico de la manga para repostería, con una abertura de aproximadamente 1cm, y se le pasa un alambre galvanizado perforándola por uno de sus costados como se muestra a continuación.

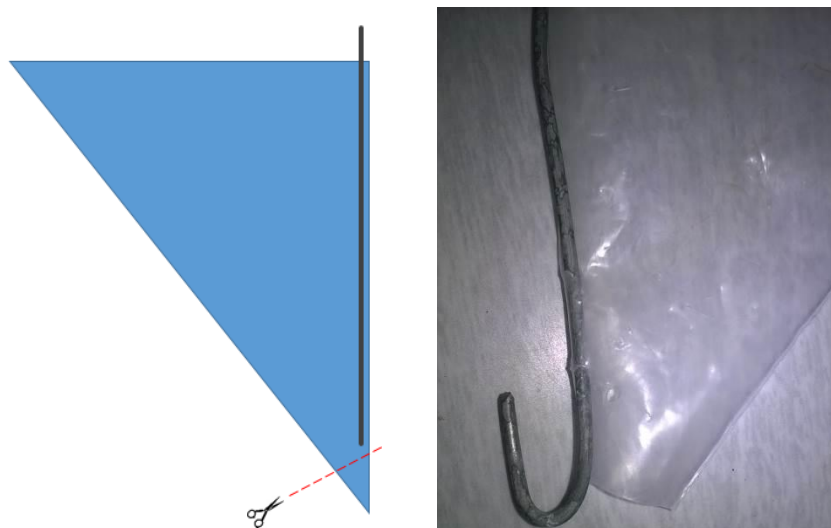


Imagen 62: Elaboración propia. Izquierda: esquema del corte de la manga, la línea muestra la ubicación del alambre galvanizado, y de la costura de la manga. Derecha: fotografía del corte de la manga, y ubicación del alambre con doblez.



Para la perforación de la manga, se recomienda utilizar el lado opuesto al de la costura, y realizar dos agujeros: por uno ingresa el alambre y por el otro sale nuevamente de la manga. De esta forma, el alambre galvanizado queda enganchado en el lateral de la manga, lo que permite enrollarla sobre si misma para retirarla de Cono Imhoff, y también desobturarla en caso necesario. Es importante notar que la perforación de la parte inferior de la manga, debe quedar con un margen de 1cm aproximadamente, para evitar roturas de la manga al manipularla.

Luego, se coloca la manga dentro del Cono Imhoff como se muestra en la foto a continuación. Se engancha la manga con un clip en sus bordes externos para evitar deslizamientos el verterle

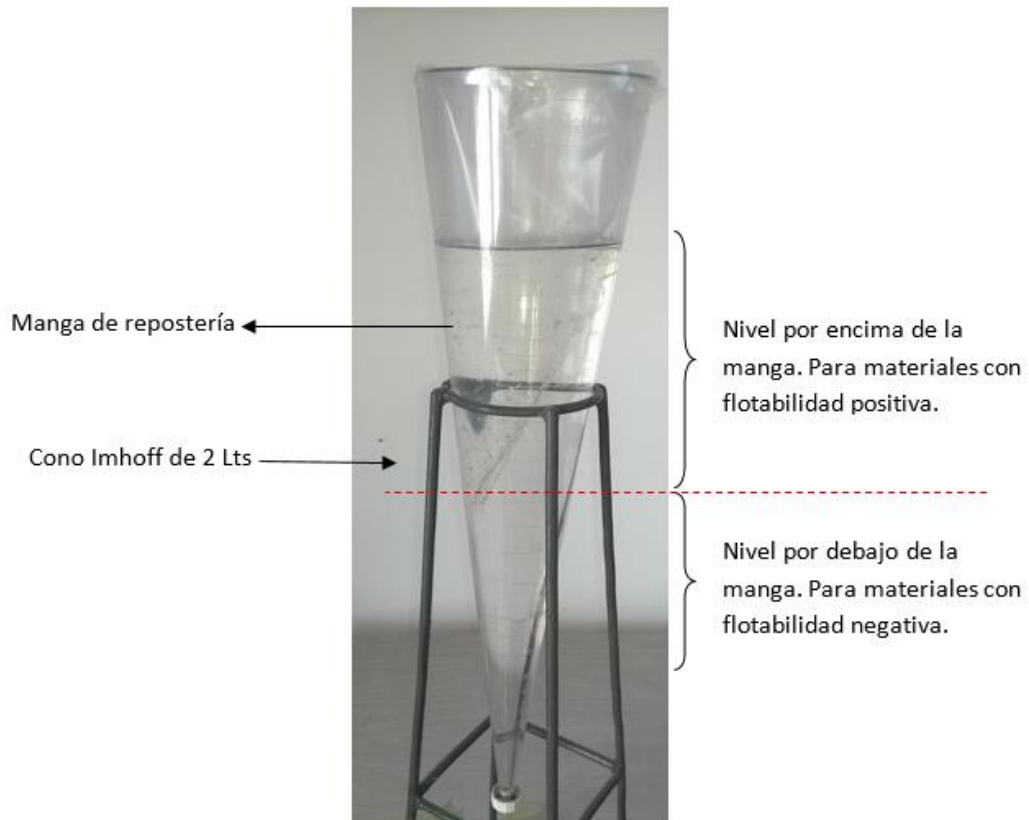
Imagen 63: Elaboración propia. Fotografía de la ubicación de la manga dentro del Cono Imhoff.

el agua de mar o las muestras. Es importante observar el excedente del alambre que sobresale del nivel del Cono Imhoff, esto permite la posterior extracción de las muestras decantadas.

El funcionamiento del separador por densidades consiste en dos niveles bien definidos:

- En el nivel superior, dentro de la manga, se acumularán los materiales con flotabilidad positiva entre los que se encuentran los microplásticos que luego serán extraídos.
- En el nivel inferior, por fuera de la manga, escapan por la abertura los materiales con flotabilidad negativa, tales como arcillas, arenas, clastos y conchillas.

Imagen 64: Elaboración propia. Fotografía con descripción del funcionamiento del separador por densidades.



En este ensamblado, es importante considerar que aunque debe haber espacio debajo de la manga para almacenar los materiales sedimentables, para muestras de marismas donde abunda la materia orgánica con flotabilidad positiva, el mayor volumen debe quedar disponible en la parte superior del Cono Imhoff. Aunque esto dependerá de la



composición de la muestra, en líneas generales podemos estimar que se necesitará aproximadamente un 30% para los materiales sedimentables (es decir, debajo de la manga) y un 70% para los que tienen flotabilidad positiva (retenidos en el interior de la manga). Es decir, la abertura inferior de la manga, no debe llegar al fondo del Cono Imhoff, sino que deberá quedar unos centímetros sobre éste, para darle lugar al material a que decante.

Imagen 65: Elaboración propia. Fotografía del comportamiento del material en el sedimentador por densidades.

Una vez efectuada la separación por densidades, los materiales quedarán distribuidos como se muestra en la fotografía. Con ayuda del alambre, se enrolla sobre sí misma la manga de repostería, por su parte inferior y se retira la parte cuya flotabilidad es positiva (incluyendo parte del agua de mar contenida en su interior), y que contiene los microplásticos a ser extraídos. Se vierte el contenido de la manga en un vaso de precipitados de 1lt y se continúa con el próximo paso.

### 3.2 PROCEDIMIENTO:

Vertemos agua de mar dentro del Cono Imhoff, dejando un margen de unos 10 a 15 cm hasta el borde. Colocamos una fracción de la muestra, de a poco, y agitamos suavemente con una cuchara metálica. A medida que la muestra se va hidratando, se observará que la resaca y los microplásticos flotarán en la superficie, mientras que la arena, sedimentos densos y conchillas precipitarán atravesando la manga, saliendo de ésta, y luego llegando al fondo del Cono Imhoff. Si la cantidad de material sedimentable es importante, puede obturarse el pico de la manga, para lo cual con el alambre en el lateral de ésta podemos ayudar a destaparla (con movimientos suaves) y permitir el flujo de estos sedimentos al fondo del Cono Imhoff. Continuamos moviendo la muestra suavemente con la cuchara, hasta que observemos que está completamente mojada.

Dejamos reposar 1 minuto y la removemos nuevamente. Repetimos este paso de 5 a 8 veces (o más de ser necesario), hasta que dejemos de observar material que precipita. Una vez que no precipita más material, la dejamos reposar hasta observar una disminución en la turbidez del agua y una clara separación de la fase flotante (puede llevar aproximadamente 2 a 4 minutos para muestras con poca arcilla, para sedimentos arcillosos puede demorar 1 hora, o más, la separación de las fases). Con suavidad, y con ayuda del alambre, cerramos el pico de la manga (retorciéndolo) y la extraemos del Cono Imhoff. Introducimos la muestra contenida dentro de la manga, en un vaso de precipitados, la manga se limpia con ayuda de una piceta para extraer todos los materiales adheridos en sus paredes. Al ser transparente el material de la manga, esto permite una inspección satisfactoria que evita que queden restos de material en ésta. Luego, para asegurarnos de que no ha quedado material flotante en el Cono Imhoff, removemos el fondo y dejamos que precipite nuevamente. Si se detectan microplásticos, se los remueve manualmente con ayuda de una pinza o una cuchara.

El material en el vaso de precipitados, es decir, aquella parte de la muestra con flotabilidad positiva, será con la que se trabajará en el paso siguiente.

La fracción sedimentada en el Cono Imhoff se descarta o conserva según el objetivo de la investigación. A los fines de este protocolo, ya no será necesaria.



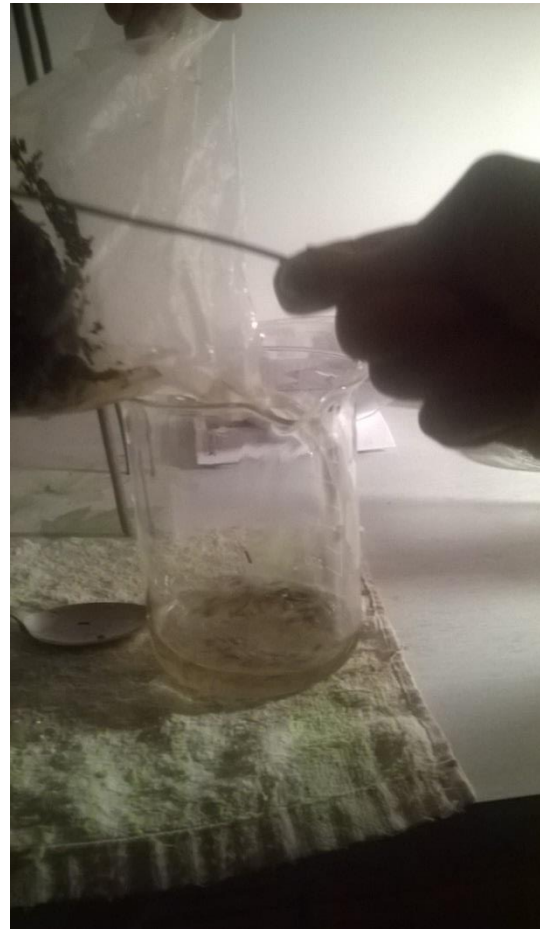


Imagen 66: Elaboración propia. Fotografías del proceso de remoción de los materiales con flotabilidad positiva.

Superior izquierda: remoción de la manga contenida en el Cono Imhoff, retorciendo la abertura inferior con el alambre.

Superior derecha: Vertido del contenido de la manga en el vaso de precipitados. Primero cae la fracción líquida.

Inferior: Vertido de la fracción sólida contenida en la manga en el vaso de precipitados. Luego con una piceta se limpia los restos adheridos a la manga, y se va vertiendo en el vaso.

### 2.5.8 (4) SEGUNDA SEPARACIÓN POR DENSIDADES

Observamos el volumen que ocupa la muestra dentro del vaso de precipitados de 1 Lt, es importante destacar, que la muestra flotará por lo que el volumen de la muestra incluye sólo el material flotante y no el agua de mar que la contiene. Por ejemplo, en la imagen a continuación el volumen de la muestra es de 200 cm<sup>3</sup>, mientras que con el agua de mar, suma 600 cm<sup>3</sup>.



Imagen 67: Elaboración propia. Fotografía del volumen de la muestra con flotabilidad positiva.

Volumen de muestra

Llevar el volumen de la muestra a 200 o 250 cm<sup>3</sup>, para lo cual se deberá unificar dos o más fracciones del paso anterior. Para ello, se puede pasar con una cuchara metálica parte del sobrenadante de uno a otro vaso de precipitados. Una vez alcanzado el volumen deseado de muestra, se triplica éste con agua de mar, considerando la que ya tenemos disponible en el vaso de precipitados.

Luego se lleva a mechero, hasta su ebullición.

**PRECAUCIÓN:** al entrar en ebullición la muestra tiende a elevarse y sobrepasar el nivel del vaso de precipitados.

Mientras se calienta, la removemos suavemente con una varilla de vidrio, o cuchara metálica, asegurándonos de que toda la resaca se humecte con agua caliente. Cuando llega al punto de ebullición, la dejamos un minuto más y luego la retiramos del mechero. Revolvemos suavemente cada 10 minutos mientras se enfría la muestra. Luego del proceso de calentamiento de la muestra, se observará que el agua de mar adquiere una tonalidad amarronada.

La muestra tardará aproximadamente unos 45 a 55 minutos en decantar completamente. Al enfriarse, la resaca tenderá a hundirse, mientras los microplásticos permanecerán en suspensión. Es normal que algunos fragmentos de materia orgánica aún permanezcan en suspensión, éstos se retirarán a posteriori con ayuda de pinzas. Para la extracción de los microplásticos se puede realizar un filtrado del sobrenadante, vertiéndolo suavemente en un filtro de abertura de malla inferior a 1mm. Es importante asegurarse de pasar todo el sobrenadante al filtro, de ser necesario se puede agregar más agua de mar al vaso de precipitados y con ayuda de una piceta limpiar los bordes. Otra forma de extraer el sobrenadante puede ser con cuchara, o pinzas.

Es importante que una vez que es extraído todo el sobrenadante, la muestra se agite varias veces nuevamente, ya que puede suceder que la resaca al precipitar arrastre con ella microplásticos al fondo del vaso. Una vez que nos aseguramos de haber extraído todos los materiales flotantes, puede descartarse el precipitado.

Se recomienda almacenar los materiales flotantes extraídos en placas de Petri, para facilitar la separación posterior.

### **2.5.9 (5) SEPARACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS**

El filtro conteniendo los microplásticos y vestigios de materia orgánica se deja secar al sol durante unos 4 a 6 días, o bien, la placa de Petri se la deja secar al sol hasta que no tenga más humedad su contenido. Luego se separan los materiales de forma manual, con ayuda de unas pinzas y lupas u otro método para magnificar las muestras.

Los microplásticos se pueden clasificar según su aspecto físico en:

- Microplásticos primarios: pellets
- Microplásticos secundarios:
  - o Fragmentos y telgopores (o espumas)
  - o Fibras (filamentos o tanzas)
  - o Celofanes (fragmentos de envoltorios de papel plástico)

En caso de dudas, se recomienda no contabilizarlo como microplásticos (Thompson et al., 2012).

En el apéndice a este protocolo, se presentan fotografías orientativas para la clasificación de los microplásticos.

## 2.5.10 APÉNDICE: FOTOGRAFÍAS ORIENTATIVAS PARA LA SEPARACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS

Todas las imágenes fueron tomadas sobre papel milimetrado (cada cuadrado anaranjado posee 1mm de lado), para orientar al lector acerca de los tamaños relativos de los materiales.

### 2.5.10.1 MICROPLÁSTICOS PRIMARIOS (PELLETS):

Pueden tener diversos aspectos, tamaños y coloraciones, dependiendo del estado de degradación del material y de su forma de fábrica.

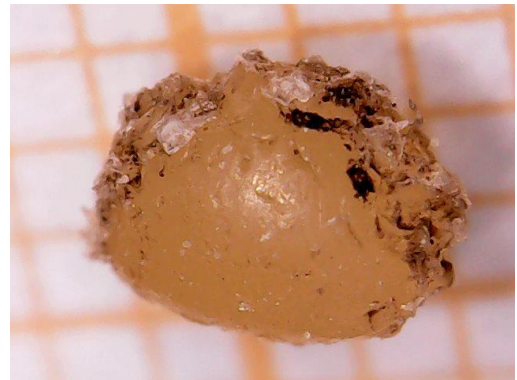
Imagen 68: Elaboración propia. Fotografías al microscopio de pellets, sobre hoja milimetrada



*En este caso, el pellet tiene un aspecto nuevo, poco degradado, su coloración es muy similar a la de fabricación. En general ésta es la forma predominante de los pellets.*

*En estos casos, el pellet tiene un aspecto de degradación avanzada, obsérvense sus bordes, su coloración es amarillenta y su forma, aunque esferoidal ha sido parcialmente modificada por la degradación del material.*

*Debajo, ampliación de la degradación de los bordes. Se pierde la definición de un borde limpio. En cambio se encuentra parcialmente deformado y con faltantes de material.*

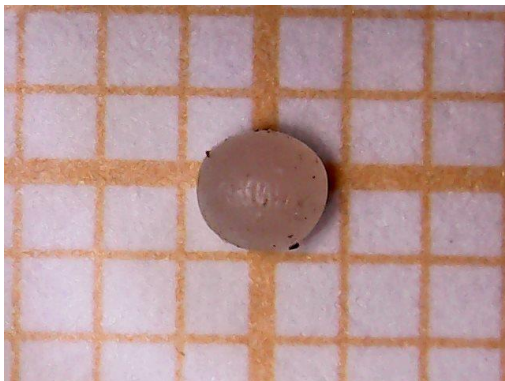




*En algunos casos los pellets tienen un aspecto tubular.*

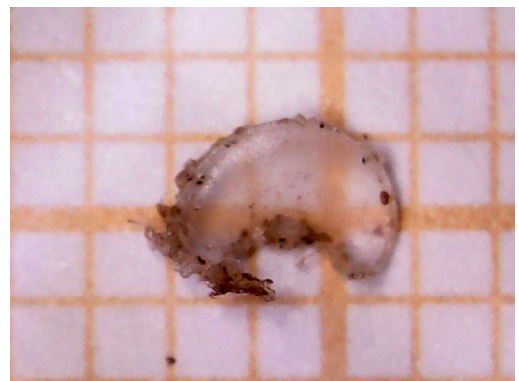
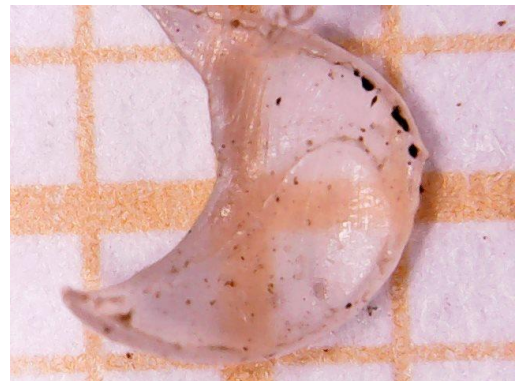


*En otros casos, los pellets tienen un aspecto discoidal. Más planos que esferoidales, lo que permite una cierta transparencia del material.*



*El tamaño de los pellets es altamente variable. Desde 5mm en el caso del tubular, hasta menos de 1mm.*

*La forma puede variar también a media luna, como los de las fotos a la derecha.*



*O pueden tener forma de óvalos, elongados en sus extremos.*



### 2.5.10.2 MICROPLÁSTICOS SECUNDARIOS:

**FRAGMENTOS Y TELGOPORES (O ESPUMAS):** Sin ser excluyentes, a continuación se describen varios de los tipos más frecuentes de fragmentos y telgopores.

Imagen 69: Elaboración propia. Fotografías al microscopio de microplásticos secundarios, sobre hoja milimetrada.



*Los fragmentos pueden tener los bordes con aspecto recto o bien deformado. En el caso de la fotografía, se observan bordes de aspecto más suave, degradado, deformado.*



*Los bordes de este fragmento, en cambio, poseen un aspecto más recto, más filoso. Del mismo modo, el espesor del material es diferente y su coloración también.*



*En esta fotografía, puede observarse una ampliación del filo del borde del microplástico de la fotografía anterior. Este tipo de bordes son los que generan lesiones en los animales al ingerirlos.*



*En este caso, el microplástico tiene un aspecto angular, y su coloración es totalmente transparente. Posee un aspecto similar al de un mineral.*



*Los bordes de este fragmento poseen un aspecto anguloso. Su coloración es intensa, y se observan incrustaciones de otros materiales que se han fusionado al plástico. Se observa su superficie degradada, resquebrajada.*



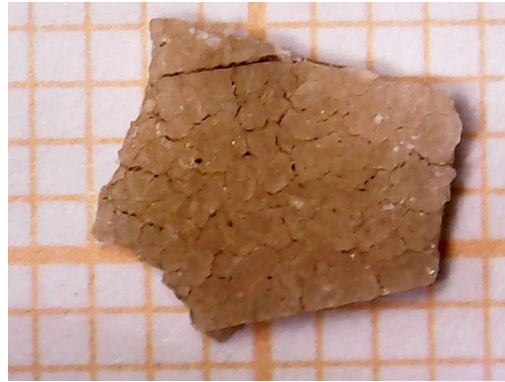
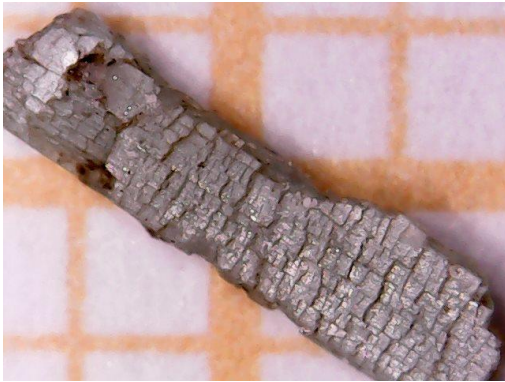
*Los bordes de este fragmento poseen un aspecto más suave, erosionado. Aunque conserva un patrón estriado que puede haber sido de fábrica, se observan acumulaciones de materiales no plásticos en las hendiduras.*

*En estos casos, el microplástico tiene bordes redondeados, una forma no definida y una coloración intensa.*

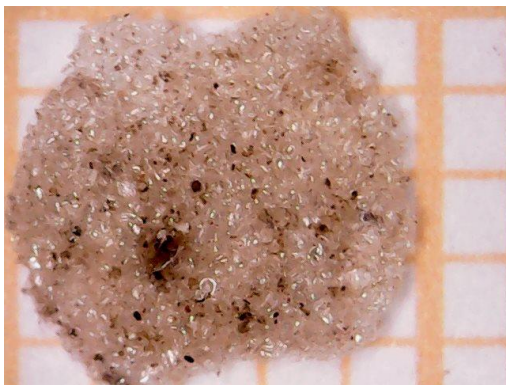




*En este caso, el microplástico tiene bordes angulosos. Se destaca el aspecto de degradación del material, que se observa resquebrajado, con hendiduras pronunciadas.*



*En el caso de los telgopores, pueden observarse bordes de aspecto suave. Al presionarlos con las pinzas para recogerlos, se notan suaves al tacto y con cierta esponjosidad. Al soltarlos recuperan su forma original. No se fragmentan al presionarse.*



*Hay materiales que tienen un aspecto espumoso. Son suaves al tacto, con bordes redondeados, y poseen cierta esponjosidad. Al soltarlos recuperan su forma original. No se fragmentan al presionarse.*

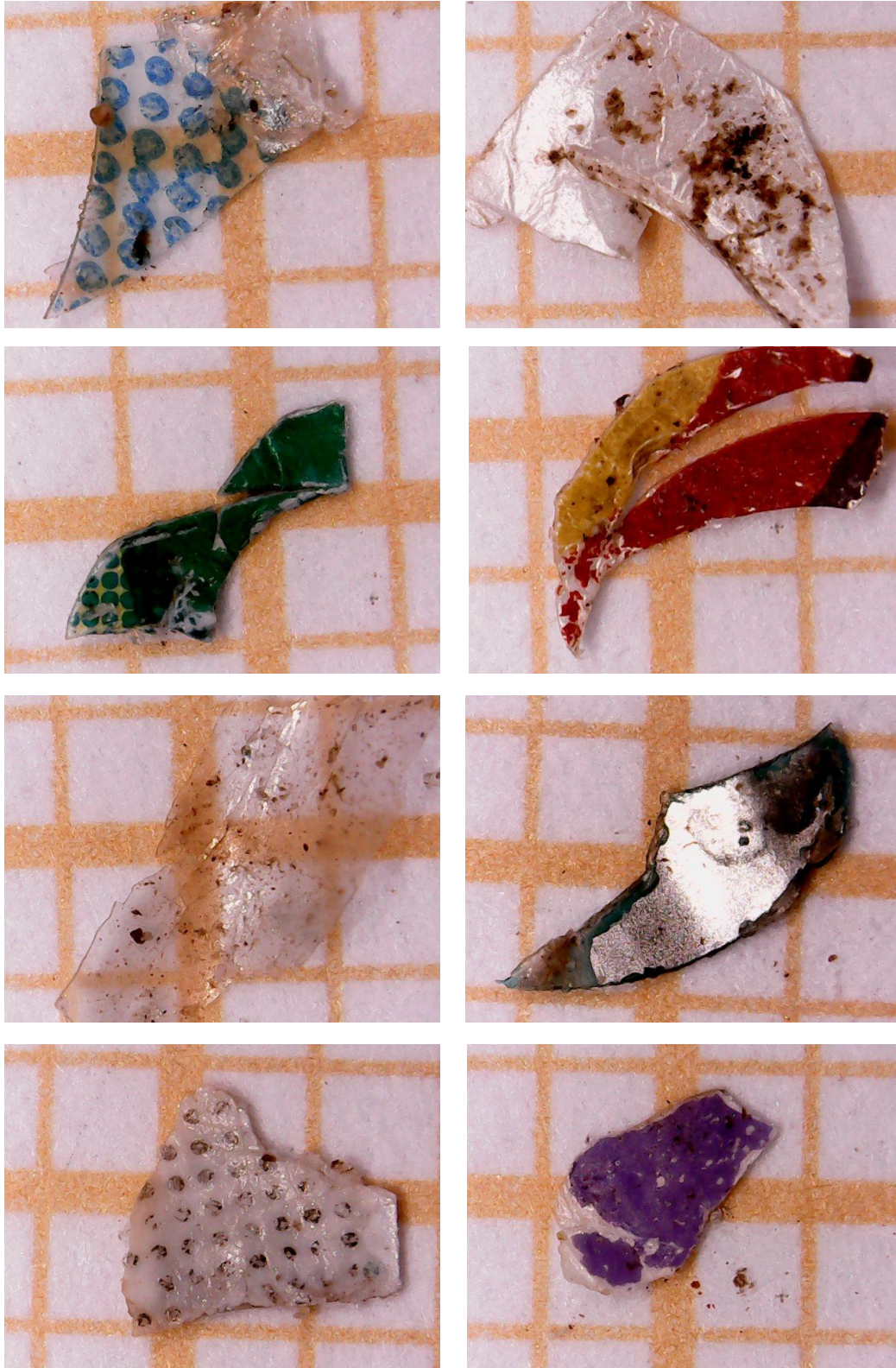


*Los telgopores tienen el aspecto de varias esferas de distintos tamaños, adheridas unas a otras. En general su coloración es blanca. Al presionarlos con las pinzas para recogerlos, se notan suaves al tacto y con cierta esponjosidad. Al soltarlos recuperan su forma original. No se fragmentan al presionarse.*

**FIBRAS:** poseen un aspecto elongado, con un espesor parejo en toda su longitud. No necesariamente deben ser rectos.



**CELOFANES:** tienen el aspecto de un papel plástico, con muy poco espesor. Generalmente producto de envoltorios, conservan su plasticidad y en muchos casos son transparentes. Pueden ser metalizados o con coloraciones o impresiones con patrones variables, por lo que pueden no poseer una coloración pareja en toda su longitud.



### 2.5.10.3 OTROS MATERIALES QUE SUELEN ENCONTRARSE DURANTE LA SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS

A continuación se presentan los materiales más comúnmente hallados durante la separación de microplásticos, algunos de los cuales pueden confundirse fácilmente con ellos. Ante la duda, se recomienda no clasificar un material como microplástico, siguiendo el criterio de Thompson et al., 2012.

Imagen 70: Elaboración propia. Fotografías al microscopio de materiales que suelen encontrarse durante el proceso de separación de microplásticos, de sedimentos costeros del Estuario de Bahía Blanca.



**SEMILLAS:** algunas poseen un patrón de coloración característico, o estriaciones como la superior izquierda. Otras, como la superior derecha poseen poca dureza, por lo que al apretarlas con las pinzas se rompen. En general se encuentran en grandes cantidades en las muestra de marismas.



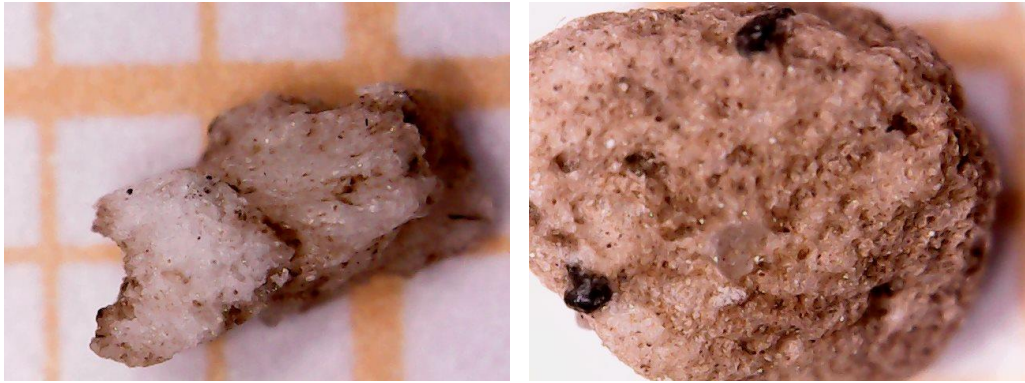
**CONCHILLAS:** Aunque su flotabilidad es negativa, la geometría de algunas hace que acumulen aire en su interior y permanezcan con las muestras de microplásticos.



**FRAGMENTOS VEGETALES:** son las más abundantes en las muestras, aunque luego de la separación precipitan, algunas permanecen en flotación. A veces pueden observarse las fibras vegetales (lignina), como en la imagen superior izquierda, y otras puede manipularse el material con las pinzas y observar que tienen cierta elasticidad y presencia de fibras.



**CARBÓN:** en algunas muestras se observó una abundante presencia de fragmentos de carbón, que al erosionarse, presentan formas redondeadas. Para identificarlos, se los puede tomar con pinzas y pasarlos sobre una hoja de papel, y se observa que rayan. O bien, al apretarlos con las pinzas, se rompen fácilmente haciéndose polvo parcialmente y sus fragmentos manchan una hoja de papel.



**MINERALES:** en el caso de los materiales como el de la fotografía superior izquierda, poseen un color blanco intenso característico, y son blandos al tacto, degradándose fácilmente. En el caso del de la derecha, la dureza del material puede escucharse fácilmente al contacto con las pinzas.



# 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

*“La nuestra será recordada como la era de los polímeros.”*

*(Paul Jhon Flory, Premio Nobel de Química 1974)*

### 3.1 MUESTREOS PRELIMINARES

Como se indicó en el inciso 2.3.1 de esta tesis, el muestreo preliminar se efectúa con una combinación de toma de muestra aleatoria en puntos ubicados en una grilla sistemáticamente replicada en cada sitio de muestreo. Aleatoria, en relación al sitio puntual en la costa del Estuario de Bahía Blanca donde ha de efectuarse el muestreo, y sistemático, porque se utiliza la grilla que se muestra en la imagen a continuación como guía para la toma de muestras.

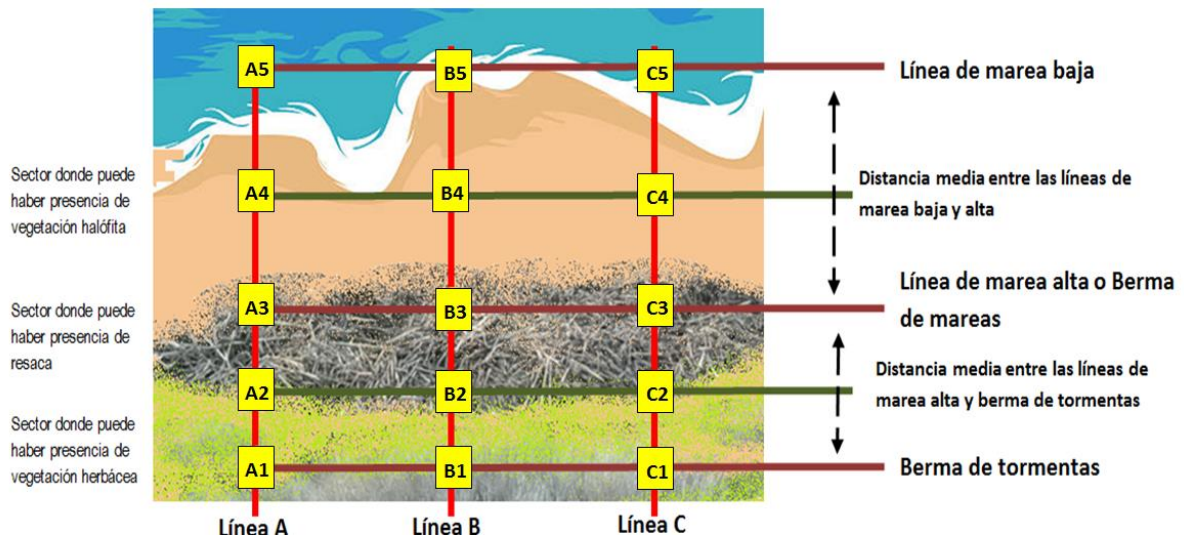


Imagen 71: Elaboración propia. Grilla para la toma de muestras sistemáticas, con codificación.

La grilla es similar a la presentada anteriormente en esta tesis, con la salvedad de que ahora se le incorporó una codificación consistente en una combinación de números y letras, que tienen un orden lógico, a los fines de individualizar cada una de las muestras. Esta codificación es la que se utilizará a los fines de presentar los resultados en el conteo de los microplásticos.

Para poder identificar estos puntos en el terreno, se reitera la importancia de efectuar una observación detenida de la franja costera, previo a la toma de muestras, para poder definir la berma de tormentas, la línea de marea alta y la de bajamar como puntos de referencia fundamentales. Así, en cada sitio de referencia se tomaron 15 muestras, siguiendo el criterio anteriormente explicado.

Se tomaron como referencia 3 sitios, cada uno de los cuales será representativo de los distintos sectores del estuario: cabecera, boca y parte central, todos sobre el margen norte del estuario.



### 3.1.1 SITIO 1 - MUESTREO PRELIMINAR EN ARROYO PAREJA:

Se efectuó el día 13/10/2018, hora de inicio 15:00 hs, hora de fin 18:30 hs. El día estaba soleado y con viento moderado, el que se incrementó a las 17 hs, razón por la cual tuvo que concurrir un acompañante para parar el viento y evitar voladuras de los materiales más livianos. Las distancias entre las líneas A, B y C tuvieron una separación de 20 mts respectivamente.



Imagen 72: Elaboración propia. Fotografía del trazado de la línea A en el intermareal en Arroyo Pareja. Obsérvese la gran extensión cubierta con resaca.

Para el traslado de las muestras, se utilizaron bolsas de polietileno nuevas, de uso comercial. La espartina por su estructura larga y fibrosa (y con una dureza considerable) rompió varias de las bolsas que se utilizaron para el traslado de las muestras, razón por la cual, las mismas debieron trasladarse en triple bolsa, y con sumo cuidado para evitar pérdidas de materiales. A raíz de éste inconveniente, para muestreos posteriores se utilizaron sachet de leche (reutilizados) que poseen una capacidad de 1lt (que es el volumen de las muestras tomadas) y el material plástico que los compone posee una densidad tal que no son perforados por la espartina. Los sachet fueron abiertos en su parte superior, lavados con agua corriente y se los dejó secar, previo a su utilización para el traslado de las muestras. Una vez tomada la muestra, se dobla la parte superior y con una abrochadora se la asegura para evitar pérdidas de materiales. Además de contar con un material más seguro para el traslado de las muestras, la reutilización de los sachet de leche evitó la generación de residuos de bolsas plásticas, minimizando el impacto ambiental del estudio.

Para la toma de muestras, no se pudo acceder al sector de la línea de marea baja, ya que se asienta sobre un cangrejal que es intransitable a pie. Por ello, se caminó hasta el punto más cercano posible y desde allí se tomaron las muestras.

### 3.1.1 SITIO 2 - MUESTREO PRLIMINAR EN ZONA FRANCA – GALVÁN:

Resulta muy dificultoso el acceso a una zona costera para la extracción de muestras dentro del conglomerado industrial que abarca a la zona de Ingeniero White, cabecera del Estuario de Bahía Blanca. Por ello, se recurrió inicialmente al Balneario Maldonado, pero la infraestructura costera se encontraba muy alterada, por la construcción de rompeolas de piedras, lo que dificulta la definición de las líneas de marea alta, y berma de tormentas. Además, aunque se pudiera identificar, los elementos para la toma de muestras no permiten extraerlas de entre las piedras, para lo cual habría que desarrollar otra técnica.

Adyacente al Balneario Maldonado, se encuentra el ex basural Belisario Roldán, sitio donde se observó que actualmente (aunque clausurado como basural) sigue siendo utilizado como tal, aunque en forma clandestina. No se pudo llegar a la zona costera, ya que era tal la acumulación de residuos que impedía el tránsito vehicular y la permanencia en ese sitio sin los elementos de protección personal necesarios representaba un riesgo para la salud.

Luego de recorrer la costa, se encontró un pequeño sitio, en Puerto Galván, adyacente a Zona Franca, donde el acceso a la costa era libre, aunque restringido en cuanto al espacio disponible para poder efectuar los muestreos. Este fue el único sitio que se pudo identificar para poder acceder a la costa, dentro del conglomerado industrial de Ingeniero White. El acceso a la costa, no permitió extender los muestreos a 60 mts, por lo que las muestras debieron tomarse con una distancia mínima de separación de 7,5 mts



entre si (no de 20, como era la máxima prevista). El muestreo se realizó el día 08/12/2018, hora de inicio 12:45hs, y finalización a las 16:30hs, con marea baja y con viento moderado (que se incrementó cerca de la finalización de los muestreos).

Imagen 73: Elaboración propia. Fotografía del aspecto del intermareal en Zona Franca, Galván.

La zona costera se observó detenidamente previo a la extracción de las muestras, y era evidente que en el sitio se habían efectuado movimientos de suelo. No obstante, se identificó la berma de tormentas y la línea de marea alta, lo que permitió poder efectuar los muestreos según la grilla de referencia.



Imagen 74: Elaboración propia. Fotografía de la berma de tormentas en Zona Franca, Galván.

Al momento de extraer las muestras de la zona de marea baja, el suelo era tan arcilloso que se dificultaba transitar sobre él, al punto en el que por el mismo peso corporal quién tomó

las muestras se enterró y tuvo que recurrir a ayuda para poder salir del lodo. No obstante se tomaron muestras desde el lugar más accesible y cercano para tener como referencia. Al momento de analizar las muestras, este alto contenido de arcillas del suelo interfirió con el procedimiento normal de tamizado en seco, por lo que se las debió tamizar en forma húmeda, razón por la cual tampoco se las pudo pesar (por ello, las muestras A5, B4, B5, C4, y C5 poseen peso = 0grs).

Cuando estábamos por finalizar el muestreo, se incrementó la velocidad del viento, por lo que previo a la extracción de la muestra, una persona debía interceptar el viento (con ayuda de una bandeja), mientras que la otra extraía la muestra. Esto es importante, ya que los microplásticos son materiales muy livianos y la extracción de muestras con viento permite pérdida de materiales, lo que puede generar errores en los conteos posteriores.

### 3.1.3 SITIO 3 - MUESTREO PRELIMINAR EN BASE NAVAL BATERÍAS (BNIM)



El muestreo se efectuó el día 18/11/2018, en el sector denominado localmente “Playa de Oficiales”. La hora de inicio fue a las 06:30hs y la de fin 11:00hs.

Imagen 75: Elaboración propia. Fotografía de las acumulaciones de microplásticos en la berma de tormentas sin resaca. Base Naval Baterías.

Se recorrió el sitio, previo a la extracción de las muestras y se observó que las dunas son vivas, esto genera una migración de la arena desde y hacia el mar, lo que hace que la resaca y los microplásticos al momento de la toma de la muestra se hallen parcialmente enterrados en la arena. Cabe destacar que días previos al muestreo había habido una fuerte tormenta de viento.



Imagen 76: Elaboración propia. Fotografía del proceso de toma de muestras en el sector de baja mar, BNIM.

El intermareal en este sitio posee una extensión aproximada de unos 200 mts, por lo que fue necesaria colaboración para evitar que suba la marea mientras terminaba de marcar los puntos para efectuar el muestreo. Este sitio fue el único en el que se pudo acceder hasta el sector de baja mar para poder efectuar el muestreo.

En el intermareal de esta zona, a diferencia de las anteriores, no hay presencia de vegetación halófila (*Spartina densiflora*, *Spartina alterniflora* y *Sarcocornia perennis*) por ello, el acceso con el instrumental para el muestreo se facilita. No obstante, hay abundante resaca en el sector de la berma de tormentas.



Imagen 77: Elaboración propia. Fotografía del proceso de marcado de la grilla sistemática para la toma de muestras en la BNIM. Obsérvese que en esta zona del intermareal, aunque no hay presencia de vegetación halófila, si hay abundante resaca.

Las muestras tomadas en este sitio, a diferencia de las anteriores, poseen abundantes conchillas, baja proporción de arcillas y gran proporción de arenas. No obstante, esto no afectó al desarrollo del protocolo de laboratorio para la separación de los microplásticos.

## 3.2 RESULTADOS DE LOS MUESTREOS PRELIMINARES

### 3.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS MUESTRAS

El aspecto físico de cada una de las muestras fue similar (con algunas salvedades en cuanto a la proporción de arcillas), y se muestra a continuación.

Imagen 78: Elaboración propia. Registro fotográfico del aspecto físico de las muestras, según el sector en el que fue extraída.



**Sector 5: línea de marea baja**  
Sedimento uniforme, arcilloso, sin resaca.



**Sector 4: distancia media entre las líneas de marea baja y alta**  
Sedimento uniforme, arcilloso, sin resaca



**Sector 3: Línea de marea alta o berma de mareas**  
Sedimento con resaca, arenoso, con conchillas y otros materiales orgánicos (tales como exoesqueletos de cangrejos, etc.)



**Sector 2: Distancia media entre las líneas de marea alta y berma de tormentas**  
Sedimento con abundante resaca de gran tamaño. Presencia de conchillas y otros materiales orgánicos.



**Sector 1: Berma de tormentas**  
Sedimento con abundante resaca de pequeño tamaño, residuos del pastizal y otros materiales orgánicos (tales como semillas y exoesqueletos de insectos).

### 3.2.2 CONTEO DE MICROPLÁSTICOS

Para efectuar el conteo de los microplásticos se los separó de los materiales del intermareal utilizando el protocolo de laboratorio desarrollado en el Capítulo 2 de esta tesis. El rango de tamaños contabilizados fue de 5mm a 1mm (microplásticos Large, según la clasificación de Van Cauwenberghe et al, 2015). Se los segregó en dos tipos principales: microplásticos primarios y secundarios, y éstos últimos se los clasificó en fibras, film/celofanes y fragmentos/telgopor, según el criterio que se describe a continuación:

**Microplásticos primarios:** Consisten en material plástico, en forma pura manufacturada, tales como pellets vírgenes o microesferas plásticas, que ingresan en el océano a través del escurrimiento desde la tierra.

**Microplásticos secundarios:** Se forman cuando materiales plásticos de grandes dimensiones (meso / macro plásticos) ingresan a la costa o el océano, donde se produce una degradación mecánica (erosiva), foto-oxidativa y biológica de los materiales, que los transforman en pequeños fragmentos plásticos. Se los subdivide en:

- **Fragmentos:** partículas producidas a partir de la fragmentación de materiales más grandes.
- **Telgopor:** distintas espumas, tales como poliuretano expandido, telgopor, etc.
- **Films/celofanes:** segmentos blandos de polímeros delgados.
- **Filamentos:** polímeros similares a hilados, producidos por la fragmentación de sogas o líneas de pesca.

La clasificación como tales, se efectuó realizando una inspección visual bajo la lupa.

Los resultados de las muestreos se presentan a continuación:

Cuadro 10: Registros del relevamiento preliminar en Arroyo Pareja.

RELEVAMIENTO PRELIMINAR EN ARROYO PAREJA, 13 DE OCTUBRE DE 2018										
Muestra	Peso (grs)	Volumen (ml)	Densidad (grs/ml)	Tipos de Microplásticos (en Unidades)			Primarios	Total	Cantidad/lt	Cantidad/m <sup>3</sup>
				Secundarios						
				Fibras	Film/Celofán	Fragmentos/Telgopor				
A1	164	780	0,21	60	267	3307	412	4046	5187	5.187.179
A2	252	700	0,36	0	3	25	2	30	43	42.857
A3	762	700	1,09	4	10	103	11	128	183	182.857
A4	729	680	1,07	0	9	0	0	9	13	13.235
A5	862	740	1,16	0	0	0	0	0	0	0
B1	146	700	0,21	26	191	1207	222	1646	2351	2.351.429
B2	368	800	0,46	0	3	11	6	20	25	25.000
B3	780	680	1,15	0	4	19	6	29	43	42.647
B4	684	620	1,10	0	0	3	0	3	5	4.839
B5	805	720	1,12	0	0	0	0	0	0	0
C1	400	600	0,67	42	786	1421	201	2450	4083	4.083.333
C2	102	650	0,16	2	16	41	7	66	102	101.538
C3	197	750	0,26	2	8	33	5	48	64	64.000
C4	581	700	0,83	0	3	22	6	31	44	44.286
C5	749	700	1,07	0	0	0	1	1	1	1.429
<b>Subtotales</b>				<b>136</b>	<b>1300</b>	<b>6192</b>	<b>879</b>	<b>8507</b>		



Cuadro 11: Registros del relevamiento preliminar en la Base Naval Baterías.

<b>RELEVAMIENTO PRELIMINAR EN LA BASE NAVAL BATERÍAS (BNIM), 18 DE NOVIEMBRE DE 2018</b>										
Muestra	Peso (grs)	Volumen (ml)	Densidad (grs/ml)	Tipos de Microplásticos (en Unidades)			Primarios	Total	Cantidad/lit	Cantidad/m <sup>3</sup>
				Secundarios						
				Fibras	Film/Celofán	Fragmentos/Telgopor				
A1	829	600	1,38	0	0	15	63	78	130	130.000
A2	1267	750	1,69	0	0	0	0	0	0	0
A3	493	900	0,55	0	0	11	5	16	18	17.778
A4	1042	750	1,39	0	0	0	0	0	0	0
A5	936	700	1,34	0	0	0	0	0	0	0
B1	828	600	1,38	0	0	4	3	7	12	11.667
B2	1133	700	1,62	0	0	0	0	0	0	0
B3	820	520	1,58	0	0	2	6	8	15	15.385
B4	1076	800	1,35	0	0	0	0	0	0	0
B5	861	700	1,23	0	0	0	0	0	0	0
C1	560	600	0,93	0	0	4	3	7	12	11.667
C2	1155	700	1,65	0	0	0	0	0	0	0
C3	884	600	1,47	0	0	1	4	5	8	8.333
C4	906	620	1,46	0	0	0	0	0	0	0
C5	841	620	1,36	0	0	0	0	0	0	0
<b>Subtotales</b>				<b>0</b>	<b>0</b>	<b>37</b>	<b>84</b>	<b>121</b>		

Cuadro 12: Registros del relevamiento preliminar en Zona Franca, Puerto Galván.

RELEVAMIENTO PRELIMINAR EN ZONA FRANCA, PUERTO GALVÁN, 8 DE DICIEMBRE DE 2018										
Muestra	Peso (grs)	Volumen (ml)	Densidad (grs/ml)	Tipos de Microplásticos (en unidades)			Primarios	Total	Cantidad/lt	Cantidad/m <sup>3</sup>
				Secundarios						
				Fibras	Film/Celofán	Fragmentos/Telgopor				
A1	369	800	0,46	2	3	130	54	189	236	236.250
A2	733	700	1,05	0	0	6	0	6	9	8.571
A3	581	500	1,16	0	0	3	1	4	8	8.000
A4	675	800	0,84	0	0	0	1	1	1	1.250
A5	0	750	0,00	0	0	0	0	0	0	0
B1	282	750	0,38	1	9	1472	297	1779	2372	2.372.000
B2	475	450	1,06	0	0	1	0	1	2	2.222
B3	597	500	1,19	0	0	4	1	5	10	10.000
B4	0	800	0,00	0	0	0	0	0	0	0
B5	0	800	0,00	0	0	0	0	0	0	0
C1	452	500	0,90	0	1	149	41	191	382	382.000
C2	752	700	1,07	0	0	1	0	1	1	1.429
C3	433	450	0,96	0	0	9	0	9	20	20.000
C4	0	600	0,00	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	750	0,00	0	0	0	0	0	0	0
<b>Subtotales</b>				<b>3</b>	<b>13</b>	<b>1775</b>	<b>395</b>	<b>2186</b>		

### 3.2.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS MUESTREOS PRELIMINARES

(MP: microplásticos)

Imagen 79: Elaboración propia. Gráfico lineal comparativo de la distribución de los microplásticos en Arroyo Pareja, según los distintos sectores.

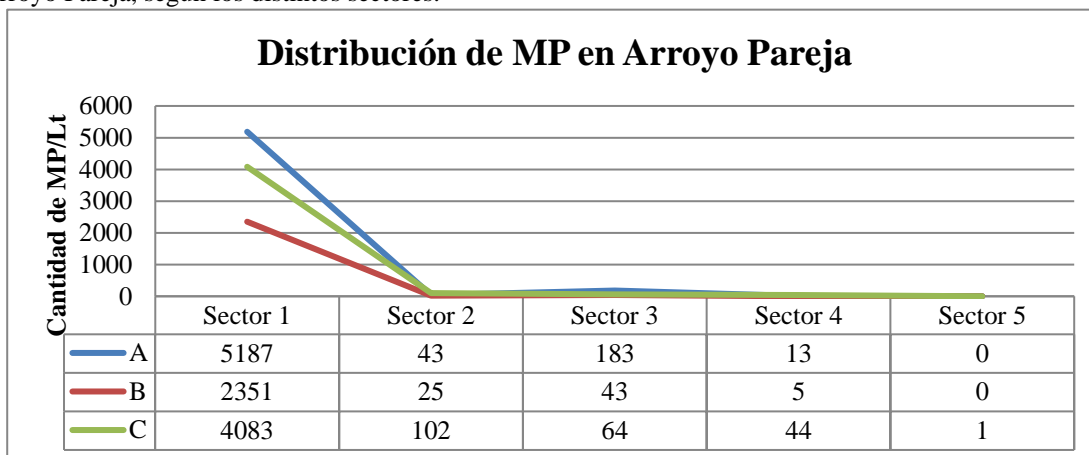


Imagen 80: Elaboración propia. Gráfico lineal comparativo de la distribución de los microplásticos en la Base Naval Baterías, según los distintos sectores.

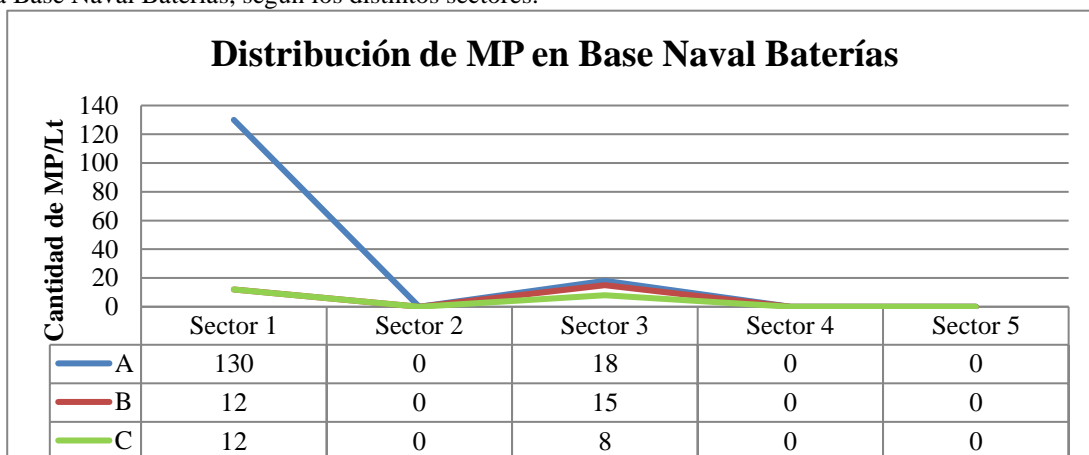
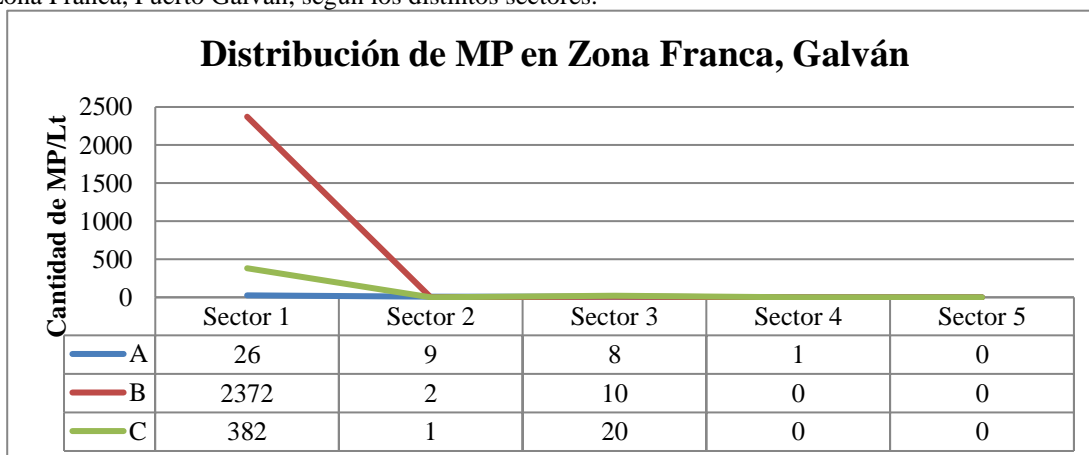


Imagen 81: Elaboración propia. Gráfico lineal comparativo de la distribución de los microplásticos en Zona Franca, Puerto Galván, según los distintos sectores.



Como puede observarse de los gráficos precedentes, en el sector de la berma de tormentas (A1, B1 y C1) es donde se han encontrado la mayor concentración de los microplásticos. En los otros sectores, o bien hay menos proporción o no se encuentran. Esto es consistente con las observaciones de campo efectuadas previo a los muestreos preliminares en diversos puntos del Estuario de Bahía Blanca, donde se observó que la mayor proporción de los microplásticos se encuentran en la berma de tormentas, junto a los fragmentos de resaca más pequeños.

Al respecto, cabe destacar que la berma de tormentas posee un ancho y una altura variables: en algunos sitios no se la haya presente (particularmente en sitios donde hay obstáculos tales como vegetación arbustiva, construcciones o modificaciones antrópicas de la franja costera, o donde la línea de costa hace un cambio abrupto de su morfología), en otros posee un ancho de metros, y como todo entorno costero, es altamente dinámico. Esto exige que al momento de tomar los muestreos, se efectúe una observación detenida de la costa, y paralelamente no permite un seguimiento en el tiempo en sitios puntuales para la observación de la evolución en cuanto a cantidades relativas de microplásticos,

ya que puede suceder que al momento de efectuar la toma de muestras haya habido una migración de materiales, producto de condiciones meteorológicas particulares, o mareas de sicigia o cuadratura.



Imagen 82: Elaboración propia. Fotografía de la berma de tormentas en BNIM luego de una sudestada.

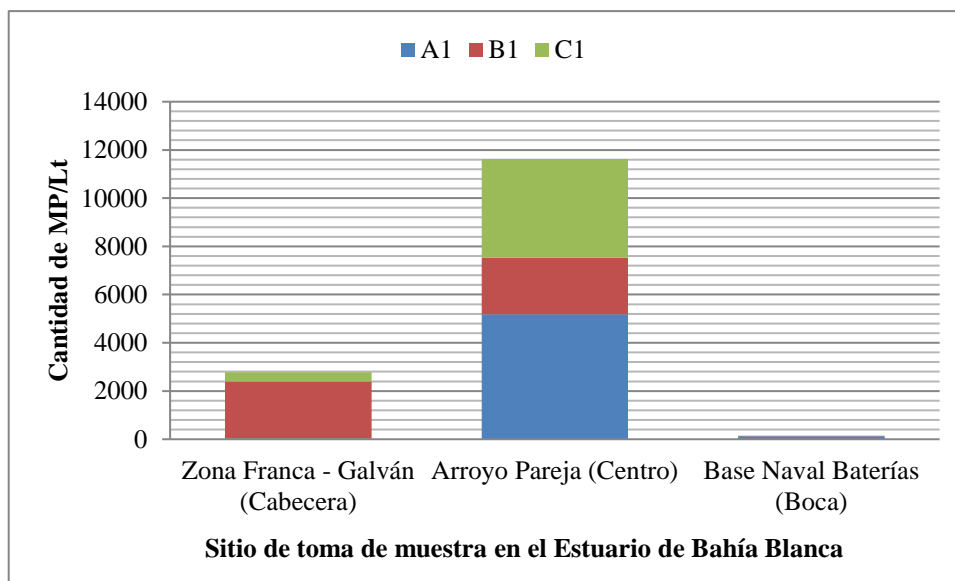
A modo de ejemplo en la zona de la boca del Estuario de Bahía Blanca, en la Base Naval Baterías, se efectuó una recorrida luego de una fuerte sudestada y lo que se observó fue una gran acumulación de resaca y materiales macroplásticos y microplásticos, asentados sobre la berma de tormentas. Fue notoria la

altura de los materiales allí acumulados, que alcanzó los 60 cm aproximadamente. Cabe

destacar que en esta zona no crece vegetación halófila en el intermareal, y que no hay desarrollos urbanos ni turísticos adyacentes que puedan aportar residuos plásticos. Por ello, se sugiere la realización de muestreos en grandes extensiones (mínimo 15 muestras sobre la berma de tormentas, dependiendo de las características particulares de cada sitio), las cuales tengan una separación mínima entre sí de 5 metros y una máxima de 20 mts, y en épocas del año distintas, tal que permitan observar las variaciones en la concentración de microplásticos luego de (por ejemplo) una sudestada o fenómenos climáticos o de mareas extraordinarios.

En el gráfico a continuación puede observarse la gran variabilidad en cantidades relativas de microplásticos por litro de muestra en la zona de berma de tormentas, según cada sitio de toma de muestras.

Imagen 83: Elaboración propia. Gráfico de barras comparativo de cantidades de microplásticos por litro de muestra, según sectores A1, B1 y C1 de los distintos puntos de toma de muestra del Estuario de Bahía Blanca.

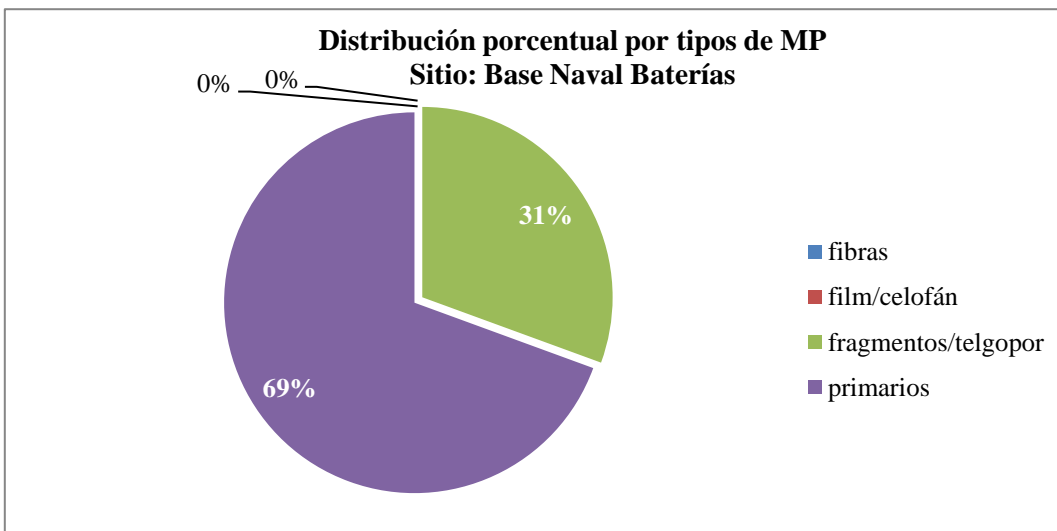
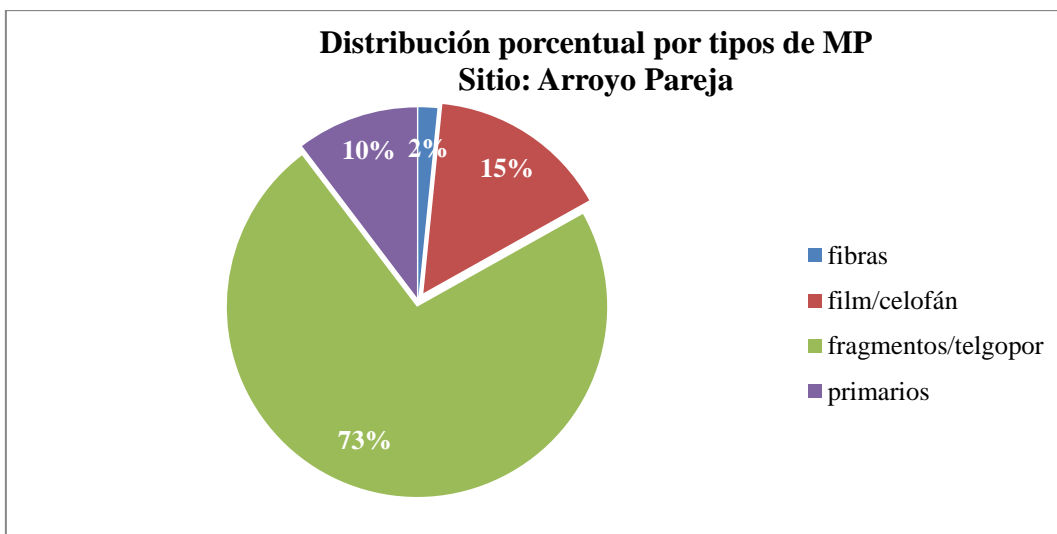


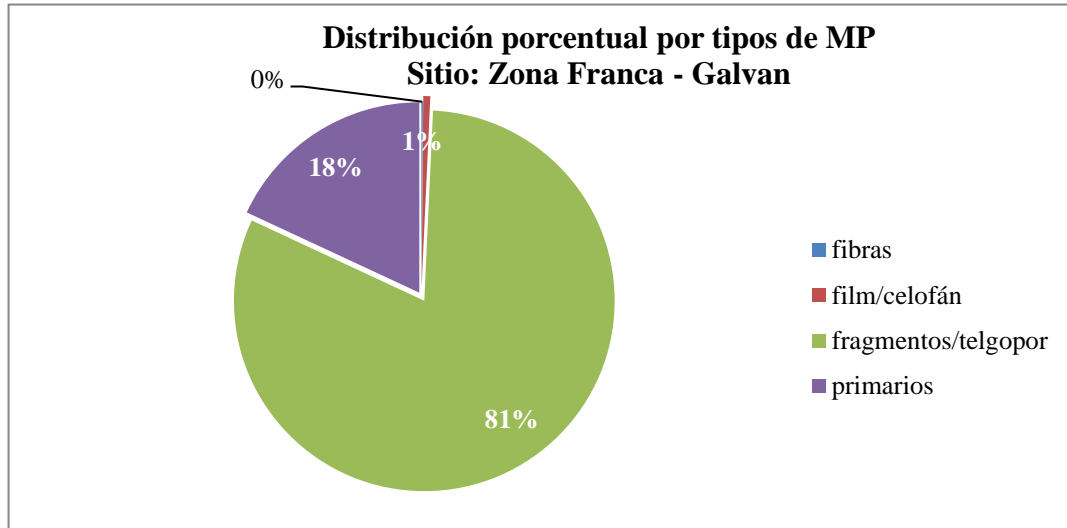
En este muestreo preliminar, puede observarse que la cantidad de microplásticos es altamente variable dependiendo del sitio de toma de muestras, y la mayor concentración de microplásticos evidenció acumulación en la zona central del Estuario de Bahía Blanca. Del mismo modo, las muestras de la Base Naval Baterías son las que menor concentración de microplásticos se observó, esto puede deberse a que su ubicación es más cercana al mar abierto, y la renovación del agua favorece la dispersión de los materiales. No obstante, esto debería confirmarse con muestreos pormenorizados en otros sitios que complementen estos datos preliminares.

### 3.2.3.1 ANÁLISIS POR TIPOS DE MICROPLÁSTICOS

Para la elaboración de los gráficos por tipos de microplásticos, se utilizó la sumatoria total de cada uno de los tipos de MP contabilizados, independientemente del sector donde fue tomado, y del volumen de las muestras (en las tablas comprende a las celdas “Subtotales”). De esta forma se obtiene una visión global de la composición total de los MP, como una primera aproximación a la caracterización del Estuario de Bahía Blanca.

Imagen 84: Elaboración propia. Gráficos de torta porcentuales, según composición de microplásticos. Superior Arroyo Pareja, medio Base Naval Baterías, inferior Zona Franca, Galván.





Las mayores proporciones de microplásticos se corresponden con los fragmentos/telgopor y microplásticos primarios. Al respecto, es variable la proporción relativa de cada uno de ellos, destacándose la proporción de MP primarios (respecto a los secundarios) en la zona de boca del Estuario (BNIM) respecto a la que se observa en la zona central (Arroyo Pareja). Cabe destacar que en las cantidades totales de microplásticos, se destaca la zona central del Estuario: Arroyo Pareja. Si bien esta es una primer aproximación, resulta interesante efectuar un segundo muestreo para conocer más de este sitio donde tienden a acumularse los microplásticos en el Estuario de Bahía Blanca.

### 3.2.3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE MICROPLÁSTICOS SECUNDARIOS CON MACRO RESIDUOS PLÁSTICOS

En el área de muestreo preliminar de la zona de Arroyo Pareja, se efectuó en el mismo año (2018) el Censo de Residuos de la Costa Atlántica Bonaerense, en el cual se contabilizan los macro residuos, clasificándolos según categorías, las que se detallan en el Anexo I de esta tesis. Tomando como base estos datos, se construyó la siguiente tabla en la cual se correlacionaron las posibles fuentes macro plásticas, según su clasificación en microplásticos secundarios, a los fines de poder efectuar una comparación con los microplásticos secundarios relevados. Se omiten los microplásticos primarios, ya que no se contabilizan los mismos en el censo de residuos.

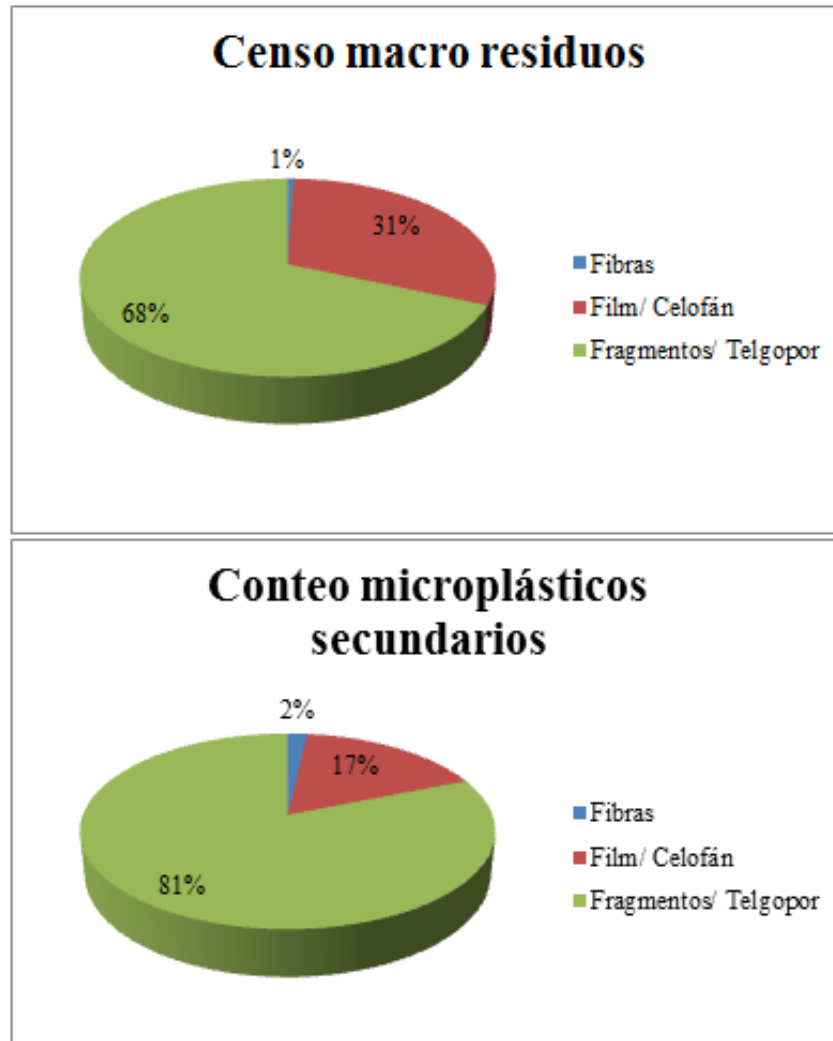
Cuadro 13: Resultados del Censo de Residuos de la Costa Atlántica Bonaerense, Arroyo Pareja, Año 2018. Información provista por la ONG HAPIC. Clasificados según microplásticos secundarios.

Tipo de MP Secundario	Fuente de generación (macro residuo plástico)	Sumatoria cantidades censadas año 2018	Subtotal
Fibras	Zunchos	5	16
	Soga/cabos/redes	11	
	Tanza – monofilamento	0	
Film / Celofán	Restos nylon	271	923
	Bolsas plásticas	292	
	Preservativos	74	
	Restos Celofán	286	
Fragmentos / Telgopor	Botellas plásticas	715	2035
	Boya, cubierta de vehículo	0	
	Caucho	2	
	Globos	8	
	Guantes	8	
	Pañal / Toallita femenina	9	
	Restos plásticos	389	
	Sorbetes	25	
	Tapitas	256	
	Telgopor	541	
	Otros	51	
	Colillas cigarrillo	31	
<b>SUPERFICIE CENSADA: 6000 M<sup>2</sup></b>			
Total ítems plásticos		2974	
Ítems plásticos/m <sup>2</sup>		0,50	



Tomando como base los datos del censo de residuos macro plásticos, del cuadro precedente, y los obtenidos del muestreo preliminar de microplásticos en Arroyo Pareja para el año 2018, se puede observar que hay una tendencia marcada entre la composición porcentual de cada uno de los tipos de plásticos secundarios.

Imagen 85: Elaboración propia. Gráficos de torta para comparación porcentual de los macro residuos plásticos y microplásticos secundarios, relevados en la zona de Arroyo Pareja, en el año 2018.



De la comparación de ambos gráficos porcentuales, puede observarse que la principal diferencia (14%) se encuentra entre el conteo de los Fragmentos/ Telgopor y el Film/ Celofán. No obstante, en líneas generales, el análisis de los macro residuos plásticos permite tener una idea bastante cercana a la composición porcentual de los microplásticos secundarios. Esto sin considerar que se omiten los microplásticos primarios.



Esto resulta interesante a los fines de poder realizar un primer acercamiento a la problemática de los microplásticos secundarios, sin tener que efectuar el conteo de los microplásticos. Además, permite establecer una relación entre la presencia de los macro residuos plásticos y los microplásticos que se encuentran en el mismo sitio. De esta forma se destaca el rol de las limpiezas costeras como medida de mitigación de la contaminación producida por microplásticos.

Más adelante, en el inciso 3.3.2 de esta tesis, se efectúa un nuevo conteo de microplásticos en esta área de estudio, que permite complementar la información del análisis precedente.

### 3.2.3.3 ANÁLISIS DE LOS MICROPLÁSTICOS PRIMARIOS

Varios investigadores analizan el aspecto físico de los microplásticos primarios, para poder determinar el tiempo que hace que se encuentran en el ambiente en cuestión. En este sentido, lo que se observa son dos detalles: el borde y la coloración de los pellets.

Los bordes que pueden presentarse en dos estados: erosionados, o bien definidos. Cuando los bordes se observan erosionados, esto indica que el material ha estado expuesto a las fuerzas mecánicas del ambiente marino durante un tiempo más prolongado que si se lo compara con aquellos que tienen los bordes definidos (o con aspecto nuevo).

La coloración de los pellets se va modificando a medida que transcurre el tiempo, por la exposición a los rayos del sol del ambiente. En este sentido, los pellets más nuevos presentan una coloración uniforme, blanca o transparente (en el caso de los hallados en el Estuario de Bahía Blanca) y a medida que se exponen a la radiación solar del ambiente van adquiriendo una tonalidad amarillenta, opaca o amarronada.

Como referencia, puede remitirse al inciso 2.5.10.1 de esta tesis, para observar fotografías orientativas y una descripción más pormenorizada de estos pellets.

A continuación se observan los pellets hallados en las distintas zonas que se tomaron como referencia para este muestreo preliminar en el Estuario de Bahía Blanca. Se tomaron como referencia, aquellas muestras en las cuales los microplásticos primarios eran más numerosos.

Imagen 86: Elaboración propia. Fotografías de la comparación de los microplásticos primarios hallados en el muestreo preliminar del Estuario de Bahía Blanca.



En una primer aproximación y comparación entre las muestras, puede observarse que hay poca presencia de pellets cuya coloración pueda indicar un estado de degradación avanzada. En general se los observa con colores claros, y en algunos pocos casos amarillentos o amarronados. Del mismo modo, en pocos casos se observan pellets con los bordes erosionados. Así, puede afirmarse que en general, se trata de materiales cuya presencia en el ambiente es relativamente reciente.

En la imagen a continuación puede observarse una vista en detalle de las muestras de pellets recolectados de Arroyo Pareja, y de la ZF Galván. Obsérvese los tamaños de los pellets.

Imagen 87: Elaboración propia. Fotografías de las vistas en detalle de los pellets. Obsérvese los tamaños de los microplásticos, hay presencia de algunos muy pequeños (cerca de 1mm de tamaño).



MUESTRA A1 ARROYO PAREJA



MUESTRA B1 ZF GALVÁN

Hay una particularidad que no ha sido registrada en los estudios revisados en la bibliografía, y es la presencia de pellets muy pequeños, en grandes cantidades presentes en las muestras B1 ZF Galván, y A1 Arroyo Pareja, que no se observan en las muestras extraídas de la Base Naval Baterías.



MUESTRA A1 BASE NAVAL BATERÍAS

Imagen 88: Elaboración propia. Muestra de la Base Naval Baterías, sin presencia de pellets de tamaño pequeño.

Curiosamente, el punto donde no se los registró coincide con el que se encuentra en la boca del Estuario de Bahía Blanca. Esta observación podría deberse en un principio a la influencia del viento, que por ser éstos pellets más pequeños y livianos, tiende a desplazarlos a otras zonas de la costa, o bien podría deberse a la presencia local de médanos vivos, que tienden a enterrar las muestras. Estas hipótesis sólo pueden confirmarse con nuevos estudios al respecto.

### **3.2.4 CONCLUSIONES DE LOS MUESTREOS PRELIMINARES**

Para la extracción de muestras es necesario concurrir con un acompañante que en caso de necesitar interceptar el viento, pueda contar con un elemento que permita extraer las muestras sin voladuras de materiales.

Para la extracción de las muestras no se recomienda la utilización de bolsas de polietileno de uso comercial ya que son fácilmente perforables.

La mayor proporción de los microplásticos se hallan en la berma de tormentas, en el sector donde la resaca se halla más fragmentada, adyacente a la vegetación herbácea.

Es muy dificultoso el seguimiento en el tiempo de la evolución de los microplásticos en sitios puntuales de la costa, ya que al ser ambientes altamente dinámicos la migración de los materiales genera alteraciones en las cantidades relativas de los microplásticos. Se recomienda efectuar muestreos en grandes extensiones de territorio costero, abarcando diversos puntos de un mismo sitio.

La coloración y el estado de conservación de los bordes de los pellets, permite afirmar que los mismos tienen poco tiempo en el ambiente. De esta forma, podría suponerse que la fuente de vertido de los mismos se encuentra en un lugar cercano al punto de toma de las muestras preliminares. Esto sólo puede confirmarse con una investigación más detallada.

Son necesarios nuevos muestreos locales para analizar la ausencia de microplásticos primarios de pequeño tamaño en las muestras extraídas de la zona de la boca del Estuario de Bahía Blanca (Base Naval Baterías).

### 3.3 MUESTREO 2 EN ARROYO PAREJA

Como resultado de los muestreos preliminares efectuados en los distintos sitios del Estuario de Bahía Blanca, se observó la predominancia de microplásticos en el sector central del Estuario, en el sitio Arroyo Pareja. Por ello, y a los fines de ensayar y obtener resultados consistentes de la concentración de microplásticos en este lugar del Estuario, se efectuó un segundo muestreo, que tenga una mayor representatividad.

Para ello, se analizó con detenimiento el sitio en cuestión, su morfología, su orientación respecto a las mareas y sudestadas, y las posibilidades de acceso libre para poder efectuar los muestreos. Se tomaron 31 muestras, con una separación de 20 metros respectivamente (excepto una en particular). Por la extensión del muestreo, el volumen de material a trasladar, la dificultad de transitar a campo traviesa con los materiales para extraer las muestras y la disponibilidad de meteorología favorable para efectuar la labor, el muestreo se efectuó en 4 salidas de campo, todas realizadas durante el mes de junio de 2019.

Las muestras se tomaron de forma tal que queden comprendidos los sectores norte, sur, este y oeste de la Isla Cantarelli en los sitios donde el acceso es público (ya que parte de ésta corresponde a la empresa Oil Tanking Ebytem, y a la Zona Franca). Además, se tomaron muestras del sector que linda con la costa en un sitio donde no hay afloramientos rocosos y se distingue con claridad la berma de tormentas (muestras N° 20 a 30 inclusive).

Cuadro 14: Elaboración propia. Detalle de los sectores muestreados en Isla Cantarelli (muestras 1 a 19 inclusive)

Sector	Muestras comprendidas
Norte	Muestras 11, 11.5 y 12
Sur	Muestras 6 a 10 inclusive
Este	Muestras 13 a 19 inclusive
Oeste	Muestras 1 a 5 inclusive

En una imagen satelital, el sitio de muestreo y los puntos de muestreo se presentan a continuación en imágenes satelitales.

Imagen 89: Elaboración propia. Imagen Satelital de Google Earth indicando el Sitio de Muestreo en la parte central del estuario de Bahía Blanca: Arroyo Pareja, con una marca de posición verde.



Imagen 90: Elaboración propia. Imagen Satelital de Google Earth con vista general de los puntos de muestreo (31 en total) en el Sitio Arroyo Pareja.







Imagen 91: Elaboración propia. Imagen satelital con el detalle de la distribución de las muestras tomadas en el sector costero de Arroyo Pareja, sitio sin afloramientos rocosos.

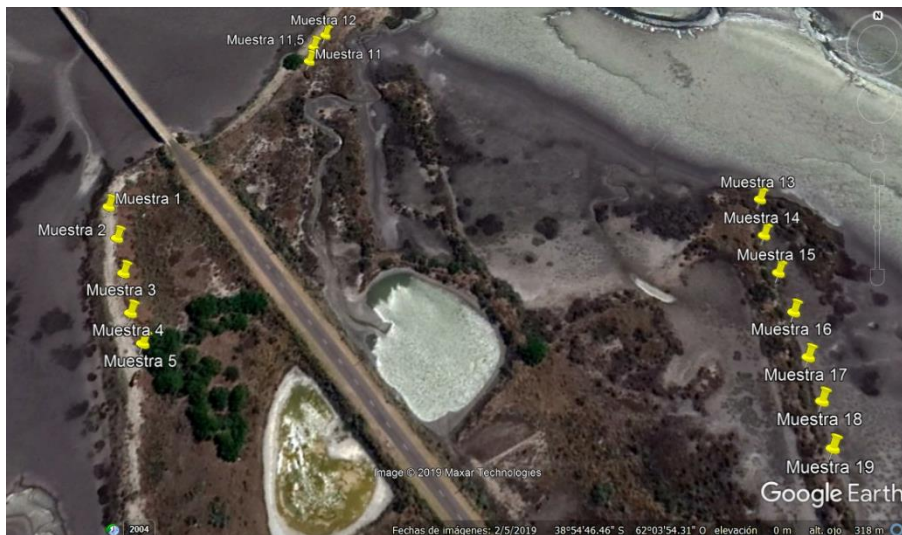


Imagen 92: Elaboración propia. Imagen satelital de Google Earth con el detalle de la distribución de las muestras tomadas en la Isla Cantarelli, sectores Norte, Este y Oeste.



Imagen 93: Elaboración propia. Imagen satelital de Google Earth con el detalle de la distribución de las muestras tomadas en la Isla Cantarelli, sector Sur.

### 3.3.1 RESULTADOS

*Observación: Para el conteo de los microplásticos, se utilizó el protocolo de laboratorio desarrollado en el Capítulo 2 de esta tesis. El rango de tamaños de los microplásticos es el Large (de 1mm a 5mm). El peso de las muestras, es peso seco.*

Cuadro 15: Elaboración propia. Registros del relevamiento efectuado en Arroyo Pareja e Isla Cantarelli.

Muestra	Peso (grs)	Volumen (ml)	Densidad (grs/ml)	Tipos de Microplásticos (en unidades)			Primarios	Total	Cantidad / lt	Cantidad / m <sup>3</sup>
				Fibras	Film/ Celofán	Fragmentos/ Telgopor				
1	146	700	0,21	6	7	326	41	380	543	542.857
2	77	600	0,13	1	17	86	23	127	212	211.667
3	73	1000	0,07	1	7	58	6	72	72	72.000
4	72	600	0,12	5	36	202	18	261	435	435.000
5	362	600	0,60	18	34	591	156	799	1.332	1.331.667
6	70	1000	0,07	1	4	325	81	411	411	411.000
7	115	700	0,16	0	9	113	77	199	284	284.286
8	83	900	0,09	6	15	152	85	258	287	286.667
9	37	700	0,05	1	5	143	61	210	300	300.000
10	58	700	0,08	20	16	400	129	565	807	807.143
11	34	800	0,04	0	2	14	2	18	23	22.500
11.5	95	650	0,15	9	12	707	97	825	1.269	1.269.231
12	127	500	0,25	3	19	731	84	837	1.674	1.674.000
13	60	400	0,15	0	4	93	14	111	278	277.500
14	139	650	0,21	0	16	385	36	437	672	672.308
15	266	500	0,53	4	1	631	54	690	1.380	1.380.000
16	79	450	0,18	1	12	570	40	623	1.384	1.384.444
17	182	400	0,46	0	13	192	25	230	575	575.000
18	74	400	0,19	1	0	224	22	247	618	617.500
19	99	700	0,14	6	12	426	89	533	761	761.429
20	45	500	0,09	0	1	57	24	82	164	164.000
21	67	300	0,22	1	48	244	75	368	1.227	1.226.667
22	79	600	0,13	1	4	69	19	93	155	155.000
23	73	600	0,12	4	15	191	44	254	423	423.333
24	49	700	0,07	4	4	92	21	121	173	172.857
25	64	800	0,08	3	13	322	122	460	575	575.000
26	120	400	0,30	2	5	173	62	242	605	605.000
27	81	800	0,10	10	31	974	354	1369	1.711	1.711.250
28	60	650	0,09	2	19	276	56	353	543	543.077
29	126	700	0,18	9	20	932	263	1224	1.749	1.748.571
30	70	800	0,09	4	7	220	103	334	418	417.500

### **3.3.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **3.3.2.1 VARIABILIDAD EN LA DENSIDAD DE LAS MUESTRAS**

Se observó que los sedimentos tienen una densidad muy variable, siendo la menor de las muestreadas, de 0,04 grs/ml, mientras que la máxima de 0,6 grs/ml, esto se debe principalmente por el contenido de resaca que posee la muestra (muy liviana) en relación al contenido de suelo.

En los sectores donde la berma de tormentas tiene un espesor muy alto, al tomarse la muestra no se llega al suelo. En cambio, en sitios donde la berma de tormentas es muy somera, la muestra contiene una alta proporción de suelo, lo que le otorga una densidad superior. Al momento de extraer la muestra, en aquellos sectores donde la berma es somera y no llega a los 10 cm de profundidad (que es la profundidad a la que llega el molde para extraer la muestra) se recoge abundante suelo. En cambio, donde el espesor de la berma supera los 10 cm de profundidad, sólo se recolecta resaca, que posee mucho volumen y poco peso (y por lo tanto baja densidad).

### 3.3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS

En la bibliografía existen diversas formas de expresar los resultados, en algunas investigaciones se expresan en cantidad de microplásticos/250ml de sedimento (Browne et al, 2011), cantidad de microplásticos/50ml de sedimento (Browne et al, 2010), cantidad de microplásticos/m<sup>2</sup> (Hidalgo-Ruz et al, 2013), cantidad de microplásticos/hectárea (Barnes et al, 2009), cantidad de microplásticos/kg de sedimento costero (Ballent, 2016; Claessens, 2011). Por la gran diversidad en la densidad obtenida de las muestras extraídas de la costa (ver inciso 3.3.2.1) se descartan las expresiones que vinculan el peso de las muestras, ya que tenderá a generar errores o confusiones en la interpretación de los resultados.

Para ser consistente con otras investigaciones de microplásticos en ambientes costeros (tales como Turra et al, 2014, y Ballent et al, 2012) los resultados serán expresados en cantidad de microplásticos/m<sup>3</sup> de sedimento costero (si se quisiera convertir la unidad de medida, se puede efectuar con los datos disponibles en la tabla de resultados; si se desea extrapolar a m<sup>2</sup>, o Ha, considerar que las muestras poseen una superficie de 100 cm<sup>2</sup> y una profundidad de 10 cm).

Promediando la totalidad de las muestras extraídas, se observó que poseen unos 685 microplásticos/Lt. Si se compara con el muestreo preliminar, existe una diferencia del 20% respecto a los resultados obtenidos (810 microplásticos/Lt en el muestreo preliminar). Además, no se pudieron observar tendencias, o puntos de concentración de los materiales.

En la imagen a continuación puede observarse la dispersión de los resultados obtenidos.

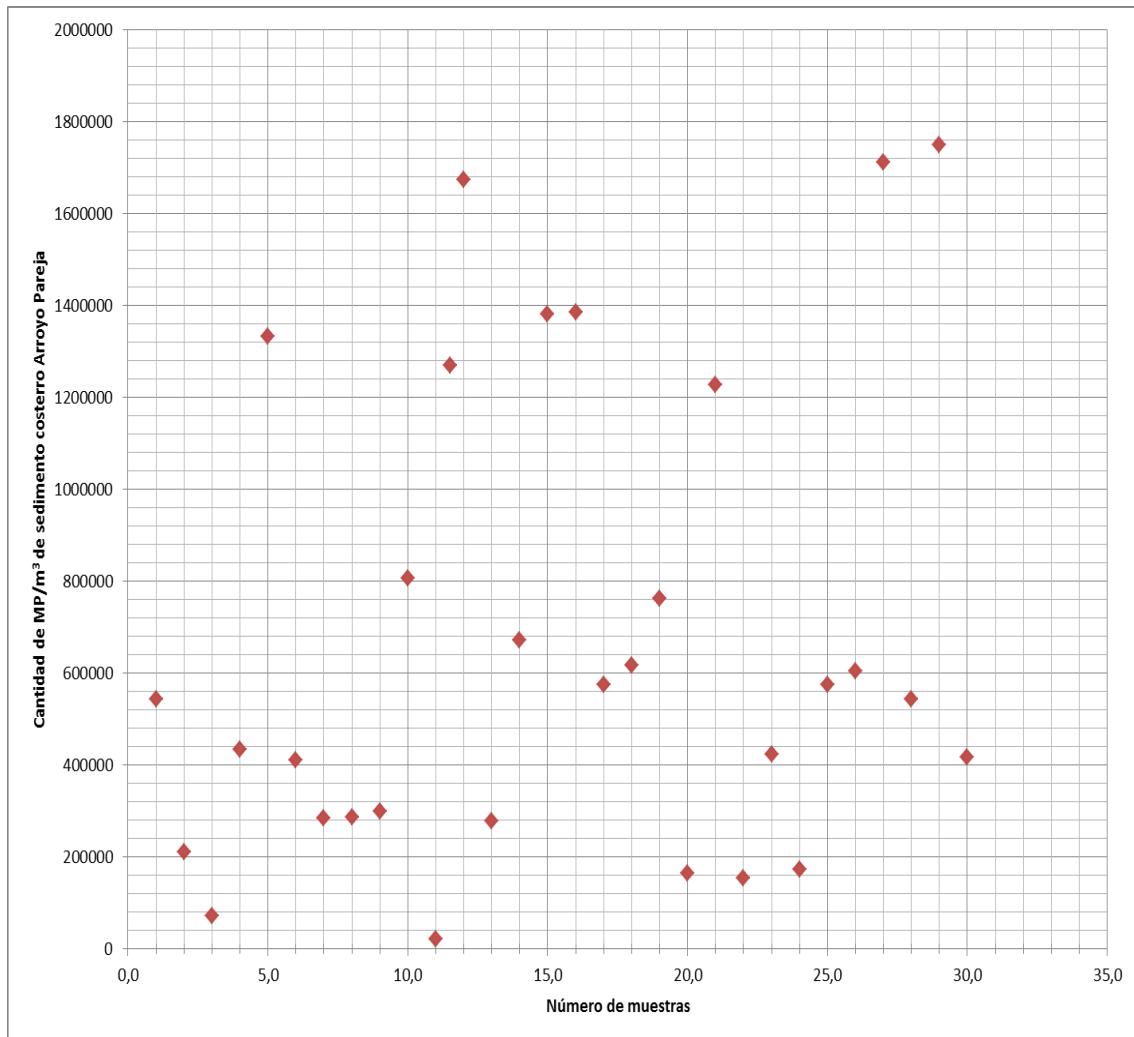
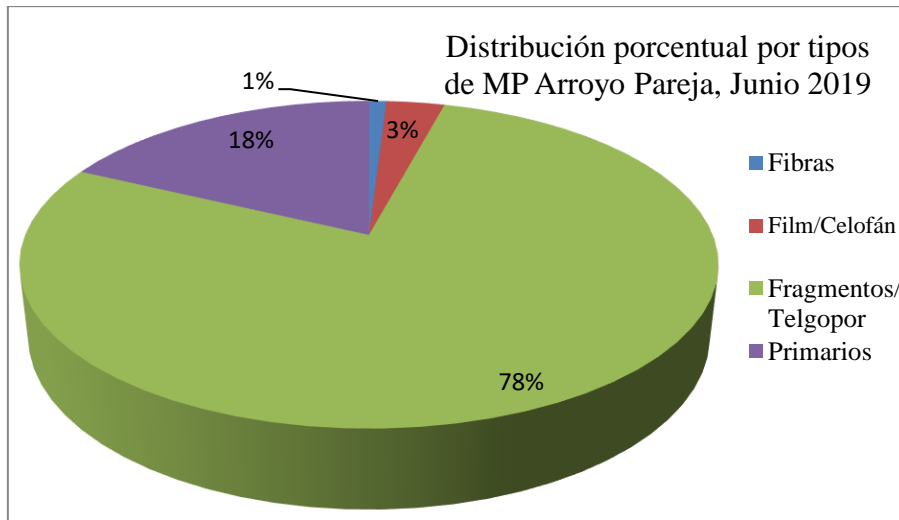


Imagen 94: Elaboración propia. Gráfico de dispersión que muestra la distribución de los microplásticos (totales) en las distintas muestras obtenidas de Arroyo Pareja

No puede definirse un patrón respecto a la acumulación de los microplásticos. Resulta muy variable, aún en muestras adyacentes. No obstante se destaca el sector norte (muestras 11, 11.5 y 12), y el sector de la costa de Arroyo Pareja (muestras 20 a 30 inclusive), donde se observaron las muestras que más ítems/m<sup>3</sup> poseen. Por otro lado, el sector sur de la Isla Cantarelli, (muestras de 6 a 10 inclusive) se observó una baja acumulación de microplásticos. La desviación estándar total de los datos recolectados es igual a 509507.

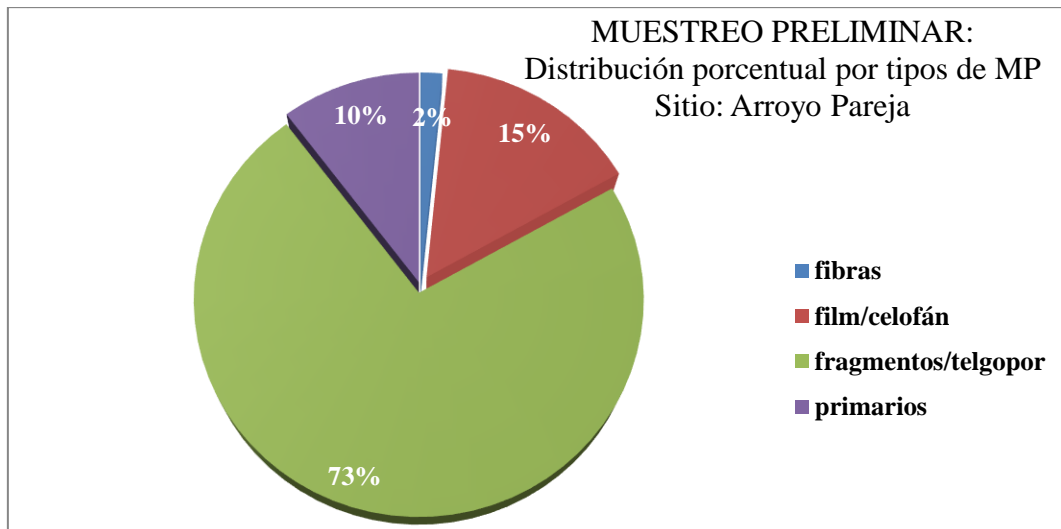
En cuanto a la distribución por tipos de materiales microplásticos hallados, se observa una predominancia de microplásticos secundarios, particularmente de fragmentos y telgopores (78%), en tanto que los microplásticos primarios suman una proporción del 18%. Esto es consistente con los resultados obtenidos en el muestreo preliminar.

Imagen 95: Elaboración propia. Gráfico de tortas con distribución porcentual por tipos de microplásticos, muestras extraídas de Arroyo Pareja e Isla Cantarelli.



Si se compara este gráfico, con el obtenido para el mismo sitio en el muestreo preliminar, es llamativa la concordancia en cuanto a los porcentajes obtenidos en la distribución por tipos de microplásticos. La diferencia es de entre un 5 y un 8%, aunque la cantidad de muestras tomadas haya sido considerablemente menor.

Imagen 96: Ídem Imagen 84. Gráfico de tortas con distribución porcentual por tipos de microplásticos, muestreo preliminar en Arroyo Pareja.



### 3.3.2.2.1 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS SECUNDARIOS CON MACRO RESIDUOS PLÁSTICOS

La predominancia de los microplásticos secundarios, se encuentra claramente asociada a la presencia de abundantes macro residuos plásticos presentes en el área de estudio. En este sitio, durante los años 2016 a 2019 inclusive se han efectuado censos de residuos costeros que permiten afirmar que en promedio hay 0,84 ítems macroplásticos por m<sup>2</sup>. Para mayor información, en el Anexo I se presenta el detalle de los conteos efectuados para los años en cuestión. Esta presencia de residuos se encuentra claramente asociada a la presencia de los efluentes pluviales de la ciudad de Punta Alta, los cuales desembocan en éste sitio puntualmente. Por otro lado, durante el trabajo efectuado en los censos como voluntaria, se pudo observar que los residuos macroplásticos tienden a acumularse en una franja más amplia del intermareal, en comparación con el sitio donde tienden a acumularse los microplásticos, quedando muchas veces atrapados en la vegetación halófito propia de las marismas.

Tomando como base los datos del censo de residuos de la costa Atlántica Bonaerense (disponibles en el Anexo I) para el año 2019, se construyó el siguiente cuadro en el cual se correlacionaron las posibles fuentes macroplásticas, según su clasificación en microplásticos secundarios.

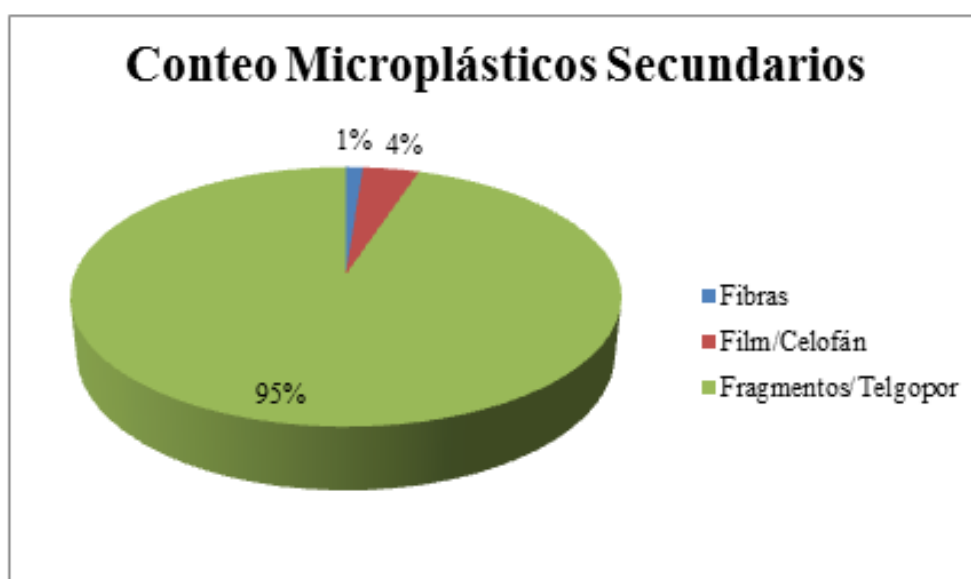
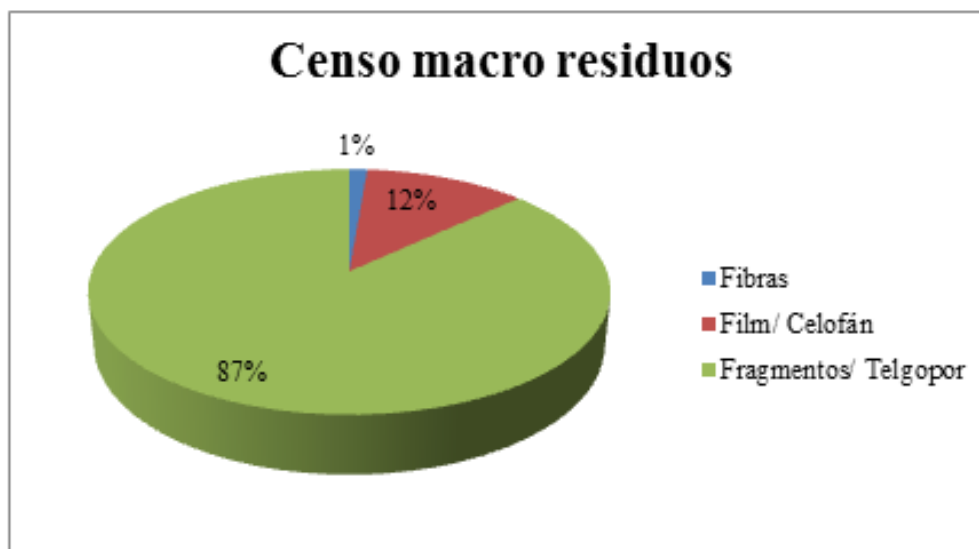
Cuadro 16: Resultados del Censo de Residuos de la Costa Atlántica Bonaerense, Arroyo Pareja, Año 2019. Información provista por la ONG HAPIC. Clasificados según microplásticos secundarios.

<b>Tipo de MP Secundario</b>	<b>Fuente de generación (macro residuo plástico)</b>	<b>Sumatoria cantidades censadas año 2019</b>	<b>Subtotal</b>
Fibras	Zunchos	27	51
	Soga/cabos/redes	20	
	Tanza - monofilamento	4	
Film / Celofán	Restos nylon	214	460
	Bolsas plásticas	192	
	Preservativos	19	
	Restos Celofán	35	
Fragmentos / Telgopor	Botellas plásticas	1944	3396
	Boya, cubierta de vehículo	2	
	Caucho	133	
	Globos	2	
	Guantes	13	

Pañal / Toallita femenina	16
Restos plásticos	417
Sorbetes	19
Tapitas	439
Telgopor	314
Otros	94
Colillas cigarrillo	3

En base a los subtotales, se calculó la composición porcentual de cada uno de ellos, a los fines de correlacionarlo con los resultados obtenidos de los conteos de microplásticos.

Imagen 97: Elaboración propia. Gráficos de torta para comparación porcentual de los macro residuos plásticos y microplásticos secundarios, relevados en la zona de Arroyo Pareja, en el año 2019.





En este caso, la brecha entre la composición porcentual de los microplásticos con sus homólogos macro residuos plásticos se reduce a un 8%. Nuevamente, la diferencia se encuentra en la relación entre Film/Celofán, y Fragmentos/ Telgopor. Esto puede deberse a varias razones, como por ejemplo la gran volatilidad de estos materiales, que hacen que sean más difíciles de hallar en forma de microplásticos, o bien que los mismos se degraden tan rápidamente, en fragmentos tan pequeños que escapan del alcance del rango trabajado en esta tesis (esto puede suceder también porque durante el proceso de tamizado de las muestras, estos fragmentos son tan maleables que pueden escapar de la malla, generándose errores en los conteos posteriores).

Es llamativa esta coincidencia, y esto permite generar evidencia empírica que sugiere que la fuente de los microplásticos secundarios en la zona de estudio, se debe a la presencia de los macro residuos plásticos presentes en la costa. Esto, sumado al análisis precedente del punto 3.2.5 de esta tesis, permite destacar la importancia de las limpiezas costeras como medida de mitigación para evitar la generación de microplásticos. Por otro lado, si se comprueba con más estudios como éste, que la composición porcentual de microplásticos secundarios está tan estrechamente asociada a la de los macro plásticos, podría plantearse a los censos de residuos costeros como método de monitoreo indirecto de los microplásticos secundarios.

### 3.3.2.2.2 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LA COSTA DE MEIJENDEL, PAÍSES BAJOS

Si se comparan los resultados obtenidos en este relevamiento preliminar de microplásticos, con los efectuados en otros sitios puede observarse que la magnitud de la acumulación de microplásticos en el Estuario de Bahía Blanca resulta alarmante.

Para la comparación de los resultados, se utilizará como referencia un paper publicado por Besley. A et al. 2016, “A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand”, cuya metodología de trabajo es comparativa a la de esta tesis. Las muestras en dicha investigación fueron tomadas a 1, 2, 5 y 10 cm de profundidad,

En el cuadro 17, (adaptado de la tabla N° 10 de la bibliografía de referencia) pueden observarse los resultados de 10 muestras extraídas del sector de la línea de mareas altas HTL (high tide line), que es el sector del intermareal que más se acerca a la berma de tormentas (aunque no se define como tal en esta investigación), en una playa llamada Meijendel de los Países Bajos.

En la tabla a continuación se muestran los resultados obtenidos en el estudio de referencia, en el sitio del intermareal que más se acerca a la berma de tormentas. En dicho estudio se tomaron sólo 10 muestras.

Cuadro 17: Elaboración propia. Síntesis de la Tabla N° 10 de la publicación de Besley. A et al. 2016.

Zona de la Playa	Número de muestra (Número de microplásticos cada 50 g de arena seca)										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
HTL	17	36	21	20	24	55	12	26	16	25	25 MP/50g

En la siguiente tabla, a partir de las muestras obtenidas en la berma de tormentas de la marisma de Arroyo Pareja, se calculó la cantidad de Microplásticos cada 50 grs de muestra, a los fines de poder efectuar una comparación.

Cuadro 18: Elaboración propia. Cantidad de Microplásticos (MP) cada 50 grs de muestra recolectada de la costa de la marisma de Arroyo Pareja e Isla Cantarelli.

Muestra	Peso (grs)	MP Totales	MP/50grs	Muestra	Peso (grs)	MP Totales	MP/50grs
1	146	380	130	16	79	623	394
2	77	127	82	17	182	230	63
3	73	72	49	18	74	247	167
4	72	261	181	19	99	533	269
5	362	799	110	20	45	82	91
6	70	411	294	21	67	368	275
7	115	199	87	22	79	93	59
8	83	258	155	23	73	254	174
9	37	210	284	24	49	121	123
10	58	565	487	25	64	460	359
11	34	18	26	26	120	242	101
11,5	95	825	434	27	81	1369	845
12	127	837	330	28	60	353	294
13	60	111	93	29	126	1224	486
14	139	437	157	30	70	334	239
15	266	690	130	-	-	-	-
<b>Promedio 225 MP/50grs</b>							

Efectuando una comparación de los promedios obtenidos para las muestras, puede observarse que en la marisma de Arroyo Pareja, existen 10 veces más microplásticos que en la de Meijendel, Países Bajos.

En cambio, si se analizan las muestras en las que se obtuvieron la mayor concentración de ítems/50grs, puede observarse que esta diferencia se incrementa, contando la muestra N° 6 del estudio de Besley. A et al. 2016, con unos 55 ítems/50grs, mientras que en el relevamiento efectuado en esta tesis, en la muestra N° 27 se contabilizaron 845 ítems/50grs. En este caso la diferencia es 15 veces superior, para el área de la berma de tormentas de Arroyo Pareja, en comparación con la de Meijendel.

Si se analizan las muestras en las que se obtuvieron la menor concentración de ítems/50grs, en la muestra N° 7 del estudio de Besley. A et al. 2016, con unos 12 ítems/50grs, mientras que en el relevamiento efectuado en esta tesis, en la muestra N° 11 se contabilizaron 26 ítems/50grs. En este caso la diferencia no es tanta, duplicándose la concentración de microplásticos en la zona de Arroyo Pareja.



En el estudio de referencia no se segregaron los microplásticos en primarios o secundarios, por lo que no pueden efectuarse comparaciones respecto a la composición de los ítems de las muestras.

### 3.4 MUESTREO 3: ISLA EMBUDO

El sitio donde se asienta la Isla Embudo se encuentra alejado del desarrollo urbanístico, y muy internado dentro de los canales de marea. Éstos factores presumen que la presencia de residuos plásticos podría ser somera o nula.

El muestreo se efectuó el día 11/01/2019, iniciando a las 15 hs y finalizando a las 18 hs, el estado de la marea era bajante al inicio del muestreo, comenzando a subir al finalizar. Se arribó al sitio en un velero (Son Bou) de un particular perteneciente al Yatch Club Puerto Belgrano. Dado que las condiciones meteorológicas cambiaron de un modo no esperado, se redujo el tiempo previsto para efectuar el muestreo y en consecuencia se tuvo que reducir la cantidad de muestras (de 21 a 15), de las cuales, la Muestra 15 no



pudo ser correctamente tomada, ya que no se pudo identificar la zona de la berma de tormentas. Respecto a las Muestras 1, 2 y 3, por la geometría de la costa, convergían en el punto de muestreo N° 4, sitio donde la berma era notoriamente abundante, respecto a lo observado en el resto de la costa. Así, en total, la cantidad de muestras representativas de la Isla Embudo suman 11.

Imagen 98: Elaboración propia. Toma de muestras en Isla Embudo.

En el intermareal este sitio posee una vegetación halófito abundante compuesta principalmente por *Spartina alterniflora* y *Sarcocornia perennis*. La berma de tormentas se observó muy internada en la zona de pastizal (en algunos casos hasta unos 12 mts dentro del terreno respecto a la línea del intermareal), con una extensión de 1 a 2 mts en promedio y con poco espesor (2 a 5 cm en general) el sustrato bajo la berma de tormentas era tan duro (arcilloso) que en algunos casos se pudo recolectar poco volumen de muestras ya que al presionar con el molde en un suelo tan duro, se resentía el material del molde. La vegetación arbustiva era muy abundante y espinosa, lo que dificultó sobremanera la tarea de la toma de muestras, dilató los tiempos previstos para ello, y no permitió cruzar la isla a pie, para poder observar el desarrollo de la berma de tormentas en el margen opuesto. Se observó muy poca presencia de residuos macroplásticos en general.

En el sector comprendido entre las muestras 10 a 15, la costa se observó con gran erosión, resultando evidente que allí las corrientes tienden a retirar material.



Imagen 99: Elaboración propia. Imágenes satelitales de Google Earth. Superior: Ubicación de la Isla Embudo en el Estuario de Bahía Blanca (marca de posición verde). Inferior: acercamiento del sitio donde se encuentra la Isla Embudo. Obsérvese que se encuentra muy internado en el Estuario y dentro de amplios canales de marea.

Imagen 100: Elaboración Propia. Imagen Satelital de Google Earth con vista general de los puntos de muestreo preliminares, Isla Embudo, Estuario de Bahía Blanca. Obsérvese la geometría de la costa en la zona de las muestras 1 a 4 (vértice de un ángulo).





### 3.4.1 RESULTADOS:

Observación: Para el conteo de los microplásticos, se utilizó el protocolo de laboratorio desarrollado en el Capítulo 2 de esta tesis. El rango de tamaños de los microplásticos es el Large (de 1mm a 5mm). El peso de las muestras, es peso seco.

Cuadro 19: Elaboración propia. Registros del relevamiento efectuado en la Isla Embudo, Estuario de Bahía Blanca.

Muestra	Peso (grs)	Volumen (ml)	Densidad (grs/ml)	Tipos de Microplásticos (en unidades)			Primarios	Total	Cantidad / lt	Cantidad / m <sup>3</sup>
				Secundarios						
				Fibras	Film/ Celofán	Fragmentos / Telgopor				
1	Sin berma de tormentas									
2	Sin berma de tormentas									
3	Sin berma de tormentas									
4	105	500	0,21	0	3	26	86	115	230	230.000
5	69	400	0,17	0	1	4	6	11	28	27.500
6	205	500	0,41	0	5	10	8	23	46	46.000
7	166	300	0,55	0	6	6	10	22	73	73.333
8	366	600	0,61	1	0	5	10	16	27	26.667
9	49	300	0,16	0	0	4	2	6	20	20.000
10	72	300	0,24	0	0	5	1	6	20	20.000
11	23	250	0,09	0	2	4	3	9	36	36.000
12	34	550	0,06	0	0	1	1	2	4	3.636
13	48	600	0,08	0	1	7	2	10	17	16.667
14	122	600	0,20	0	2	4	5	11	18	18.333
15	25	200	0,13	0	0	0	0	0	0	0
<b>Subtotales</b>				<b>1</b>	<b>20</b>	<b>76</b>	<b>134</b>	<b>231</b>		

Como se comentó en párrafos precedentes, la Muestra 15 no pudo ser correctamente tomada, ya que no se pudo identificar la zona de la berma de tormentas. Aunque se recorrió el sitio, no se pudo identificar el sector para poder tomar la muestra, por lo que ésta se deja sin efecto para análisis posteriores.

Respecto a las Muestras 1, 2 y 3, por la geometría de la costa (triangular, con otra entrada de agua por un lado, que acumuló la resaca de la berma de tormentas en un punto central), convergían en el punto de muestreo N° 4, sitio donde la berma era notoriamente abundante, respecto a lo observado en el resto de la costa.

Así, en total, la cantidad de muestras representativas de la Isla Embudo suman 11.

### **3.4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **3.4.2.1 VARIABILIDAD EN LA DENSIDAD DE LAS MUESTRAS**

De la misma forma que para las muestras tomadas en Arroyo Pareja, la densidad de los sedimentos costeros recolectados varía ampliamente, siendo la mínima registrada de 0,06 grs/ml, mientras la máxima fue de 0,61 grs/ml (exactamente igual a la máxima registrada en Arroyo Pareja).

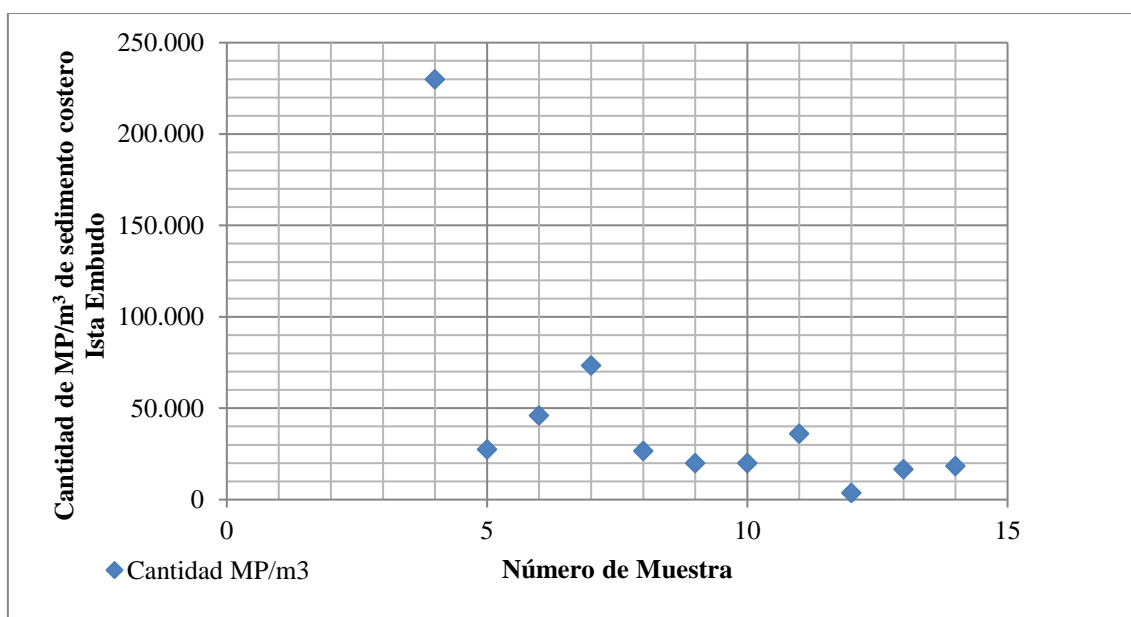
El suelo era muy arcilloso, por lo que las muestras no pudieron ser tomadas a una profundidad de 10 cm en algunos casos.

### 3.4.2.2 CUANTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS

Para la construcción de los gráficos los resultados serán expresados en cantidad de microplásticos/m<sup>3</sup> de sedimento costero (si se quisiera convertir la unidad de medida, se puede efectuar con los datos disponibles en la tabla de resultados; si se desea extrapolar a m<sup>2</sup>, o Ha, considerar que las muestras poseen una superficie de 100cm<sup>2</sup> y una profundidad de 10cm).

En la imagen a continuación puede observarse la dispersión de los resultados obtenidos.

Imagen 101: Elaboración propia. Gráfico de dispersión que muestra la distribución de los microplásticos (totales) en las distintas muestras obtenidas de la Isla Embudo.



Como puede observarse en la gráfica, existe una tendencia a la acumulación en un sitio, cercano a la muestra N°4. Esto se produce por la geometría de la costa, que converge en el punto 4. Por la misma razón fue que no se pudieron coleccionar muestras en los puntos 1, 2 y 3.

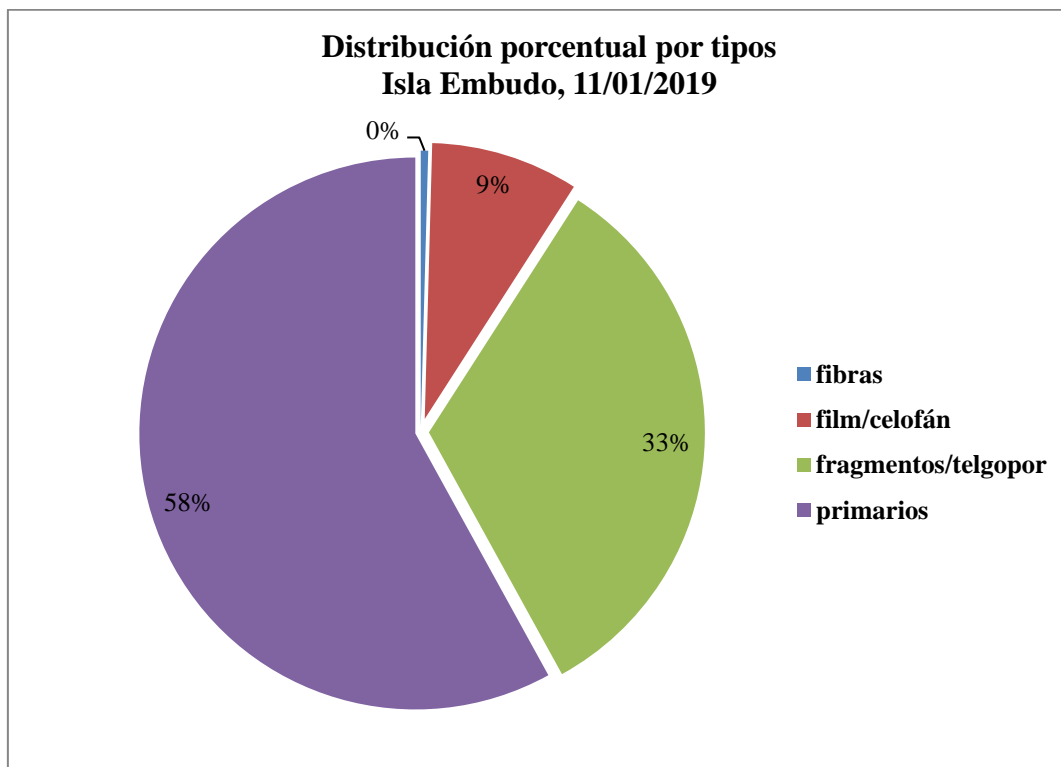
Promediando la totalidad de las muestras extraídas, se observó que poseen unos 47 microplásticos/Lt, mucho menos que lo observado en el margen norte del Estuario, en las muestras recolectadas en Arroyo Pareja. En este sentido, esto no es coincidente con lo formulado por varios autores (Melanie Bergmann et al., 2015) que sostienen que los microplásticos tienden a acumularse viento abajo. Browne et al., 2010, lo plantean así:

*“intertidal sediments on shores that were downwind in relation to prevailing wind direction can have greater quantities of microplastic than those on shorelines that were up-wind”*

Resulta interesante destacar que en este relevamiento preliminar en Isla Embudo, se observó exactamente lo opuesto a lo formulado por estos autores. La Isla Embudo se emplaza al Sur del Estuario, por lo que sería de esperar que los vientos predominantes del N-NO tiendan a acumular los materiales en este sector. Los resultados preliminares obtenidos muestran que esto no se produjo en este sitio en particular. Serán necesarios más estudios que permitan confirmar que éste fenómeno se produce viento arriba, al contrario de lo esperado por la teoría. Esto puede producirse por la fuerza de las corrientes de la marea, que arrastra los materiales con flotabilidad positiva viento arriba en este sitio en particular.

En cuanto a la distribución por tipos de materiales microplásticos hallados, se observa predominancia de microplásticos primarios (58%) en tanto que dentro de los secundarios se destacan los fragmentos y telgopores con un 33%.

Imagen 102: Elaboración propia. Gráfico de tortas con distribución porcentual por tipos de microplásticos, muestreo de Isla Embudo.





Si se comparan estos resultados con los obtenidos en Arroyo Pareja, es interesante observar que la cantidad de microplásticos primarios (en relación con los secundarios) es muy superior (58%) en comparación con lo observado en Arroyo Pareja, donde los pellets representaron tan solo el 18% del total.

En cambio, si se compara con los resultados obtenidos en la Base Naval Baterías, es más parecida la relación, teniendo este sitio un 69% de microplásticos primarios.

### 3.4.2.2.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LA COSTA DE MEIJENDEL, PAÍSES BAJOS

Para la comparación de los resultados con otro sitio fuera del Estuario de Bahía Blanca, se utilizará como referencia un artículo científico publicado por Besley, A et al. 2016, “A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand”, cuya metodología de trabajo es comparativa a la de esta tesis.

En el cuadro 17, adaptado de la bibliografía de referencia, pueden observarse los resultados de 10 muestras extraídas del sector de la línea de mareas altas HTL (high tide line), que es el sector del intermareal que más se acerca a la berma de tormentas (aunque no se define como tal en esta investigación), en una playa llamada Meijendel de los Países Bajos. El promedio de los resultados obtenidos en esa investigación alcanzó los 25 microplásticos/50grs de muestra.

En la siguiente tabla, a partir de las muestras obtenidas en la berma de tormentas de la marisma de la Isla Embudo, se calculó la cantidad de Microplásticos/50 grs de muestra, a los fines de poder efectuar una comparación.

Cuadro 20: Elaboración propia. Cantidad de Microplásticos (MP) cada 50 grs de muestra recolectada de la costa de la marisma de la Isla Embudo.

Muestra	Peso (grs)	Cantidad MP total	MP/50grs	Muestra	Peso (grs)	Cantidad MP total	MP/50grs
4	105	109	52	10	72	82	57
5	69	74	54	11	23	34	74
6	205	211	51	12	34	46	68
7	166	173	52	13	48	61	64
8	366	374	51	14	122	136	56
9	49	58	59	-	-	-	-
Promedio 58 MP/50grs							

Efectuando una comparación de los promedios obtenidos para las muestras, puede observarse que en la marisma de la Isla Embudo, existen 2 veces más microplásticos que en la de Meijendel, Países Bajos.

Es llamativo, que en general, las muestras de la Isla Embudo mantuvieron una gran relación en cuanto a cantidad de MP/50grs. Si se compara con las muestras extraídas de Arroyo Pareja, donde el rango de diferencias entre las muestras fue muy amplio: siendo la muestra N° 27 la más llamativa, donde se contabilizaron 845 ítems/50grs; y la que



menos tuvo, la muestra N° 11, donde se contabilizaron tan solo 26 ítems/50grs (32 veces menos). En la Isla Embudo, en cambio, la muestra N° 11 fue la que presentó más ítems, con 74 MP/50grs, mientras que la menor fue la N° 6, con 51 MP/50grs (0.4 veces menos).

### **3.5 DISCUSIÓN**

A lo largo del desarrollo de este Capítulo de la tesis se han arribado a varias observaciones que pueden dar lugar a discusión a nivel científico. A continuación se presentan las más relevantes:

- **Análisis bibliográfico:** Hay investigaciones en las cuales no se detalla el rango de tamaños máximo de los microplásticos (tales como Thompson et al, 2004), y aún no existe un consenso aceptado por la comunidad científica respecto a éste tema. Al respecto, se destaca que la definición que incluye a los microplásticos hasta un rango de tamaño de 5 mm (como la que plantea la NOAA), incluye a la mayor parte de los pellets (o microplásticos primarios), y resulta trascendente desde el punto de vista ambiental, conocer las cantidades, no sólo por su semejanza con huevos de varias especies de animales, sino porque esto representa un consumo no racional de recursos no renovables, en virtud de que los pellets no son residuos plásticos sino que constituyen materia prima que jamás se utilizó. Representan a la obsolescencia programada en su máxima expresión, superando a los descartables, y su contabilidad permitirá no sólo tener un parámetro de referencia para que las leyes (en prevención de vertidos de éstos contaminantes en el medio marino) tengan un sustento sólido, sino que además sirve a las empresas fabricantes para conocer la magnitud de las pérdidas de materias primas que poseen (y a partir de lo cual pueden tomar medidas de prevención de vertidos).
- **Trabajar en ambientes costeros:** cuando se trabaja en el entorno costero existe la posibilidad de que una fracción de los microplásticos presentes no venga directamente del mar, sino que sean producto de vertidos desde la tierra, más aún si se trabaja en costas turísticas. Es discutible la procedencia de los materiales, y aunque no se pueda afirmar que el 100% provengan del medio marino, aún así es importante conocer la presencia, tipos y distribución de microplásticos en estos ecosistemas de transición entre el mar y la tierra, no sólo por los impactos en la biota, sino porque pueden estar indicando una problemática latente en el ecosistema marino, cuyas consecuencias se desconocen en profundidad hasta la actualidad. Se ha reportado que la problemática de los microplásticos y en especial de los nanoplásticos (los más



pequeños identificados) es una “bomba de tiempo” (Koelmans, 2015) en la que es prácticamente imposible predecir qué pasará con los microplásticos en el ecosistema marino.

- Metodología formulada para la separación de Microplásticos Large en ambientes costeros de marismas: Esta metodología puede dar lugar a varias discusiones, en virtud de que es una metodología nueva que aún se encuentra en etapa de desarrollo y evaluación, aun así ha dado resultados satisfactorios. Aunque no se han observado pérdidas de microplásticos luego de su aplicación, tiene serias limitaciones respecto a la identificación de los materiales, ya que al ser tan importantes las cantidades de microplásticos contabilizados en las muestras, y su identificación ser dependiente de una inspección visual final, existen numerosos materiales que no son contabilizados como microplásticos ya que no se puede afirmar fehacientemente que así lo sean.

Otro punto de discusión es la limitación en cuanto a tipos de microplásticos que pueden ser extraídos aplicando esta metodología nueva, que por utilizar agua de mar, sólo permite separar aquellos cuya densidad es menor a ésta tales como polietileno (densidad 0,91-0,97 g/ml), polipropileno (densidad 0,94 g/ml), y poliestireno (densidad 1,05 g/ml), esto deja de lado muchos otros materiales plásticos cuya densidad supera a la del agua de mar y tienden a precipitarse durante el procedimiento. Por otro lado, y particularmente en el caso del Estuario de Bahía Blanca, la utilización de agua de mar puede generar errores por diferencias en su salinidad (y por lo tanto en su densidad) en las distintas épocas del año o condiciones meteorológicas que favorecen aportes de agua dulce, o bien concentran la salinidad a nivel local.

Por otro lado, la disponibilidad de tiempos al aplicar esta metodología es excesiva: algunas veces se necesita mucho tiempo para lograr un buen secado de las muestras previo a su tamizado (sobre todo si se las extrae en invierno, o en épocas húmedas), y luego de la segunda separación por densidades, es necesario esperar que se sequen completamente de nuevo, lo que genera una dilatación de los tiempos de espera, que sumado al tiempo que se tarda en la identificación de muestras (algunas de las cuales tienen, por ejemplo unos 1300 microplásticos) genera mucho tiempo de trabajo para alcanzar los resultados esperados. No es recomendable la identificación y conteo de los microplásticos durante tiempos

prolongados, ya que al ser materiales tan pequeños, se genera una fatiga ocular que genera errores en el conteo.

En cuanto a la extracción de las muestras, aunque fueron evaluadas varias metodologías, podrían plantearse otras formas de extraer las muestras que sean más rápidas y efectivas. El trabajo de campo también requiere mucho tiempo, ya que tener que recortar la resaca por los laterales del molde para extraer las muestras genera mucho tiempo, más aún si se considera que las mismas deben extraerse por duplicado. El viento es un factor que afecta la tarea de extraer las muestras, ya que al tratarse de materiales tan livianos, deben preverse días poco ventosos y concurrir con un acompañante que pueda obstruir las corrientes de aire durante las tomas de muestras. La especificación del sitio para la toma de muestras, a partir de una evaluación pormenorizada de varios lugares del intermareal de la forma en la que se trabajó en esta tesis, es un gran aporte a la metodología de extracción, ya que en la bibliografía de referencia no se detallan estos factores, de gran relevancia a la hora de efectuar un monitoreo de zonas costeras, más aún en nuestro país, que las condiciones de la plataforma continental permiten el desarrollo de intermareales con grandes extensiones en algunos sitios como ser el Estuario de Bahía Blanca.

Un aspecto importante que debe señalarse es que, en el presente estudio no se obtuvieron, por razones de tiempos que exceden a la tesis, series de tiempo de mediciones que pudieran evidenciar tendencias temporales. Se destaca que sería de gran interés que estudios futuros reprodujeran la metodología desarrollada y propuesta en esta tesis durante períodos de tiempo de al menos 2 años consecutivos, a fin de obtener mediciones regulares en el tiempo que permitan evaluar variaciones temporales (estacionales, mensuales, anuales). Asimismo, en el Estuario de Bahía Blanca es menester efectuar un estudio vinculado principalmente a la presencia de las sudestadas, que generan una gran remoción de la resaca.

- Resultados: Se ha arribado a dos resultados llamativos, que pueden dar lugar a discusión, el primero de ellos fue observar que los microplásticos tienden a acumularse más en el sector viento arriba (ver resultados en Arroyo Pareja), que viento abajo (ver resultados en Isla Embudo). Al respecto, esto contradice varias publicaciones donde se afirma que los microplásticos tienden a acumularse

viento abajo, también contradice el sentido común ya que tratándose de materiales tan livianos es de pensar que serán arrastrados por el viento. Esto es un factor de relevancia a ser analizado en estudios posteriores, ya que determina en gran parte la planificación y ejecución de programas de monitoreo de microplásticos.

El otro resultado llamativo, fue observar una tendencia a la acumulación de microplásticos primarios de tamaño muy pequeño en algunos puntos del Estuario de Bahía Blanca (parte central y cabecera) que no se observaron en las muestras extraídas de la boca. Esto debería corroborarse con estudios posteriores, que permitan confirmar esta tendencia, y arribar a conclusiones fehacientes respecto a sus causas.



# 4

# CONCLUSIONES

---

#### **4 - CONCLUSIONES**

Los resultados arribados en esta tesis de los muestreos preliminares, constituyen el primer acercamiento, a nivel nacional de la problemática de los microplásticos en ambientes de marismas, y más específicamente en el Estuario de Bahía Blanca. Estos resultados fueron alarmantes si se los comparan con otro sitio del globo, por ejemplo Meijendel, Países Bajos, duplicando en la Isla Embudo del Estuario de Bahía Blanca y llegando a 10 veces más en la costa de Arroyo Pareja y la Isla Cantarelli del mismo Estuario. Esto sienta las bases para poder efectuar más investigaciones al respecto, formular nuevas hipótesis y soluciones a esta problemática, que tantos impactos genera en el medio marino. Al respecto esta tesis es una contribución a las acciones de diagnóstico necesarias a nivel nacional, propuestas por la Resolución N° 407/2019, donde se destaca que “resulta importante la recopilación y análisis de la información y estudios existentes en el país sobre la problemática, en particular impactos en especies amenazadas y áreas marinas protegidas. Además, es importante conocer la situación de los residuos marinos en los sectores ribereños y costeros.”

Del análisis de los resultados obtenidos se han realizado dos observaciones que requieren un mayor detenimiento en su análisis: la presencia de pellets de tamaño reducido en los sectores central y cabeza del Estuario de Bahía Blanca, y la presencia de mayor cantidad de microplásticos viento arriba. Al respecto, serán necesarias más investigaciones, más muestreos y una observación detenida de los pellets, para poder arribar a mayores conclusiones. Del análisis de los pellets, puede concluirse que, en base a su coloración y estado de conservación de sus bordes, hace relativamente poco tiempo que se encuentran en el medio marino, lo cual permite generar la hipótesis de que las fuentes de vertido pueden estar en un lugar cercano al de la toma de muestras.

De la relación de los resultados obtenidos entre microplásticos primarios y secundarios, se observó que en el caso de Isla Embudo, predominan los primarios, y en el caso de la costa de Arroyo Pareja, predominan los secundarios. Esto, aunque curioso, permite formular varios frentes de trabajo, desde donde se puede atender a la problemática de los microplásticos en el medio marino.

En relación a los otros estudios efectuados en el Estuario de Bahía Blanca, en las publicaciones de Severini et al. 2019 y Arias et al., 2019, donde en ambos casos se destacó la presencia de microfibras como el mayor porcentaje contabilizado de tipos de

microplásticos secundarios, en esta tesis se observó que, por el contrario, representan el menor porcentaje de los microplásticos contabilizados en todos los puntos de muestreo. Esto puede deberse a varios factores que deberían analizarse en estudios posteriores a esta tesis, pero una hipótesis es que el uso de los tamices calibrados para la segregación de los materiales de las muestras, favorece que los materiales cuya forma es larga y fina como la de las fibras, pasen a través de las mallas y no sean contabilizados al final del proceso.

Respecto a los microplásticos primarios, existen iniciativas a nivel internacional tales como Operation Clean Sweep (OCS), cuyo objetivo es reducir la pérdida de pellets plásticos, residuos y polvos durante su transporte y producción (Ballent, 2016). Respecto a los secundarios, es evidente que la gran presencia de macro residuos costeros incrementa la cantidad de microplásticos a nivel local. Aunque serán necesarios más estudios, puede observarse a simple vista que la descarga de los efluentes pluviales de la Ciudad de Punta Alta, genera un gran aporte de macro residuos plásticos, los que con el tiempo se transforman en microplásticos. Así, la falta de limpieza de las calles de la ciudad, repercute en la cantidad de microplásticos secundarios, observados en las muestras. A nivel local, pueden tomarse acciones para reducir la presencia de macro y microplásticos. Las observaciones de campo y estudios efectuados por otros investigadores permiten afirmar que el ambiente más propenso para la generación de microplásticos en el ambiente marino son las playas (Andrady, 2011). Correlacionando los datos obtenidos del Censo de Residuos de la Costa Atlántica Bonaerense para el año 2019, pudo confirmarse que la composición de microplásticos es muy parecida a la de sus homólogos macroresiduos plásticos que actúan como fuente de generación en la zona de estudio. Esto destaca el hecho de que las limpiezas costeras constituyen una estrategia de mitigación efectiva para la problemática de los microplásticos en el ambiente marino. No obstante, esto no es suficiente. Además, si se comprueba con más estudios como éste, que la composición porcentual de microplásticos secundarios está tan estrechamente asociada a la de los macroplásticos, podría plantearse a los censos de residuos costeros como método de monitoreo indirecto de los microplásticos secundarios (cabe destacar que esto omite el conteo de los microplásticos primarios).

Para dar solución a esta problemática de los microplásticos, a nivel legal existen muchas herramientas que se pueden aplicar, que ya se implementaron en otros países, por ejemplo la Microbead-Free Waters Act of 2015 prohibió la manufactura, venta e

importación de cosméticos de uso personal conteniendo esferas plásticas cuyo tamaño sea menor a 5mm (Ballent, 2016). Sin ahondar en la temática, hay estrategias como la responsabilidad extendida del productor, fomento al reciclaje, desaliento al consumo de descartables, prohibiciones (por ejemplo de bolsas camiseta o bombillas plásticas), etc que pueden generar grandes cambios en el ambiente respecto a la problemática de los microplásticos. Ahora que se conoce el problema, al menos a nivel Estuario de Bahía Blanca, es hora de trabajar en las posibles soluciones.

Respecto a la nueva metodología de trabajo de laboratorio, luego de cuatro años de ardua labor, se ha cumplido exitosamente el objetivo de esta tesis, desarrollando una metodología que permite extraer los microplásticos de muestras de sedimento costero de marismas, donde la presencia de resaca interfiere con las metodologías ya probadas por otros investigadores. Además, se logró identificar objetivamente el sitio del intermareal desde donde deben ser extraídas las muestras, factor fundamental a la hora de formular un monitoreo de microplásticos en ambientes de marismas.

En líneas generales, y luego del análisis bibliográfico, se concluye que la falta de acuerdo en la comunidad científica en general sobre las metodologías de extracción de muestras en ambientes costeros (detalles respecto a la profundidad en la toma de muestra, a la metodología en la selección del sitio, a la zona del intermareal donde se trabaja, entre otros), la forma de expresión de los resultados (ítems/kg, ítems/m<sup>3</sup>, etc), los rangos de tamaño de microplásticos con los que se trabaja, son todos factores que dificultan la comparación y la integración de datos de distintas investigaciones, tal que permita arribar a conclusiones más universales. Éste es otro punto a trabajar, ya que no se trata de esfuerzos aislados, los microplásticos afectan a todo el mundo, y es necesario un consenso desde la comunidad científica, de forma tal que los trabajos puedan integrarse fehacientemente.



# 5

# BIBLIOGRAFÍA

---



## 5 BIBLIOGRAFIA

- Acha E. M., Mianzan H. W., Iribarne O., Gagliardini D. A., Lasta C. y Daleo P. (2003). The role of Río de la Plata bottom salinity front in accumulating debris. *Marine Pollution Bulletin* 46, 197 – 202.
- Andersson E. (2014). *Micro plastics in the oceans and their effect on the marine fauna*. (Tesis de Grado). Suecia: Universidad Agrícola, Facultad de Medicina Veterinaria y Ciencia Animal.
- Andrew T., y Luke H. (2011). Occurrence, distribution and characteristics of beached plastic production pellets on the island of Malta (central Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin*, 62, 377 – 381.
- Arias A. H., Ronda A. C., Oliva A. L., y Marcovecchio J. E. (2019). Evidence of Microplastic Ingestion by Fish from the Bahía Blanca Estuary in Argentina, South America. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102, 750-756.
- Ballent A. M. (2016). *Anthropogenic particles in natural sediment sinks: Microplastics accumulation in tributary, beach and lake bottom sediments of Lake Ontario, North America*. (Tesis de Maestría). Canada: University of Western Ontario, Electronic Thesis and Dissertation Repository 3941.
- Ballent A., Pando S., Purser A., Juliano M.F. y Thomsen L. (2013). Modelled transport of benthic marine microplastic pollution in the Nazaré Canyon. *Biogeosciences*, 10, 7957-7970.
- Ballent A., Purser A., de Jesus Mendes O., Pando S. y Thomsen L. (2012). Physical transport properties of marine microplastic pollution. *Biogeosciences Discussions*, 9, 19755-19798.
- Barnes D. K. A., Galgani F., Thompson R. C. y Barlaz M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of The Royal Society Biological Sciences*, 364, 1985-1998.
- Beltrán R. M. y Marcilla G. A. (2012). *Tecnología de Polímeros: Procesado y Propiedades*. España: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Bergmann M., Gutow L., y Klages M. (2015) *Marine Anthropogenic Litter*, Suecia, Universidad de Gothenburg: Springer Open.
- Bértola G. R. (2016). Impactos sobre el ambiente físico de la costa bonaerense. En Athor J. y Celsi C. E. (Eds.) *La costa Atlántica de Buenos Aires – Naturaleza y*

*Patrimonio Cultural* (pp. 87-113), Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara.

- Besley A., Vijver M. G., Behrens P. y Bosker T. (2016). A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin* 114, 77-83.
- Bortolus A. (2008). Influencia de los Ambientes Costeros Patagónicos sobre los Ecosistemas Marino-Oceánicos: las Marismas como Caso de Estudio. En Campagna C. y Falabella V. (Eds.) *El Mar Patagónico: Conservación y Uso del ecosistema oceánico en América del Sur Meridional* (pp. 80-105). Argentina: marpatagonico.org.
- Bortolus A. (2010). Marismas Patagónicas: las últimas de Sudamérica. *Publicaciones del Centro Nacional Patagónico, CONICET*. Volumen 19, N° 114, diciembre 2009 – enero 2010.
- Bowmer T. y Kershaw P. (Eds.) (2010). *Proceedings of the GESAMP International Workshop on Microplastic particles as a vector in transporting persistent, bioaccumulating and toxic substances in the ocean*. (IMO/ FAO/ UNESCO-IOC/ UNIDO/ WMO/ IAEA/ UN/ UNEP/ UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) Reports and Studies N° 82.
- Carson H. S., Colbert S. L., Kaylor M. J., y Mc Dermid K. J. (2011). Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1708–1713.
- Claessens M., Cauwenberghe L. V., Vandegehuchte M. B., y Janssen C. R. (2013). New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 70, 227–233.
- Cole M., Lindeque P., Halsband C., y Galloway T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588-2597.
- Colton, J. B., Burns, B. R., y Knapp, F. D. (1974). Plastic particles in surface waters of the Northwestern Atlantic. *Science*, 185 (4150), 491–497.
- Copello S. y Quintana F. (2003). Marine debris ingestion by Southern Giant Petrels and its potential relationships with fisheries in the Southern Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 1504-1515.

- Costa M. F. y Barletta M. (2015). Microplastics in Coastal and Marine Environments of the occurrence and effects. *Marine Environmental Research*, 111, 5-17.
- Costa M. F. y Barletta M. (2015). Microplastics in Coastal and Marine Environments of the Western Tropical and Sub-Tropical Atlantic Ocean. *Environmental Science Processes & Impacts*, 17, 1868-1879.
- Crawford R. J. (1999). *Plastics Engineering*, 3° Edición, Oxford, Reino Unido.
- Decreto Nacional N° 4516. “Régimen de la Navegación Marítima, Fluvial y Lacustre (REGINAVE)”. Boletín Oficial N° 22676, República Argentina, 30 de mayo de 1973.
- Denuncio P., Bastida R., M. Dassis, Giardino G., Gerpe M. y Rodríguez D. (2011), “Plastic ingestion in Franciscana dolphins, *Pontoporia blainvillei* (Gervais and d’Orbigny, 1884), from Argentina. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1836-1841.
- ECOPLAS, *Entidad Técnica Profesional Especializada en Plásticos y Medio Ambiente. ECOPLAS, Misión y Visión.* Recuperado de [http://www.ecoplas.org.ar/ecoplas\\_mision\\_vision.php](http://www.ecoplas.org.ar/ecoplas_mision_vision.php)
- European Commission. Environment. *Our Oceans, Seas and Coasts*. Recuperado de: [http://ec.europa.eu/environment/marine/eu-coast-and-marine-policy/marine-strategy-framework-directive/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/marine/eu-coast-and-marine-policy/marine-strategy-framework-directive/index_en.htm)
- Fisner M., Taniguchi S., Moreira F., Bicego M. C. y Turra A. (2013). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH`s) in plastic pellets: Variability in the concentration and composition at different sediment depths in a Sandy beach. *Marine Pollution Bulletin*, 70, 219-226.
- Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R. C., y Thiel M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46, 3060-3075.  
<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/observatorioresiduos/solidosurbanos/gestion/integral/matriz-economica-financiera-costos>  
[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mayds\\_informe\\_estado\\_ambiente\\_2016\\_baja\\_1\\_0.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mayds_informe_estado_ambiente_2016_baja_1_0.pdf)
- Iribarne O., Botto F., Martinetto P. y Gutierrez J. L. (2000). The Role of Burrows of the SW Atlantic Intertidal Crab *Chasmagnathus granulata* in Trapping Debris. *Marine Pollution Bulletin*, 40, 1057-1064.

- Ivar do Sul J.A., y Costa M. F. (2007). Marine debris review for Latin America and the Wider Caribbean Region: From de 1970s until now, and where do we go from here?. *Marine Pollution Bulletin* 54, 1087-1104.
- Ivar do Sul J.A., y Costa M. F. (2014). The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution Bulletin*, 185, 352-364.
- Kershaw P. J. (2016). *Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change*. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- Kershaw P. J. (Ed.) (2015). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment*. International Maritime Organization (IMO/ FAO/ UNESCO-IOC/ UNIDO/ WMO/ IAEA/ UN/ UNEP/ UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), Report Study N° 90.
- Kiessling T., Lars G. y Martin T. (2015) Marine Litter as Habitat and Dispersal Vector. En Bergmann M., Gutow L. y Klages M. (Eds.) *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 141-181). Alemania: Springer Open.
- Koelmans, A., Besseling, E., y Shim, W. (2015). Nanoplastics in the Aquatic Environment. Critical Review. En Bergmann M., Gutow L. y Klages M. (Eds.) *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 325-340). Alemania: Springer Open.
- Ley Nacional N° 21.947 “Convenio Sobre Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias”. Boletín Oficial N° 24121, República Argentina, 6 de marzo de 1979.
- Ley Nacional N° 24.089 “Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques de 1973, sus Protocolos Anexos, y el Protocolo de 1978”. Boletín Oficial N° 27420, República Argentina, 3 de junio de 1992.
- Marcovecchio J., Freije R. H. y otros (2013). *Procesos Químicos en Estuarios*. Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Marine & Environmental Research Institute (MERI). *Guide to microplastic identification*.
- Masura J., Baker J., Foster G., y Arthur C. (2015). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. Estados Unidos: National

Oceanic and Atmospheric Administration, Marine Debris Program, Technical Memorandum NOS-OR&R-48.

- Merrel T. R. (1980). Accumulation of Plastic Litter on Beaches of Amchitka Island, Alaska. *Marine Environmental Research*, 3, 171-184.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2016). *Informe del Estado del Ambiente*. República Argentina. Recuperado de:
- Mormeneo I. (2007) Universidad Nacional del Sur, Departamento de Agronomía. *Climatología de Bahía Blanca, Resumen Meteorológico Anual Período 1959-1998*. Recuperado de: <http://agrometeorologia.criba.edu.ar/climatologia.htm>
- Nuelle M. T., Dekiff J. H., Dominique R., y Fries E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments, *Environmental Pollution*, 184, 161-169.
- Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos. *Matriz Económico-Financiera de Costos*. República Argentina, Recuperado de:
- Ordenanza N° 2/98 de la Prefectura Naval Argentina (DPMA) - Tomo 6: “Régimen para la protección del medio ambiente”. Buenos Aires, 17 de Febrero de 1998.
- Perillo G. M. E. y Piccolo M. C. (2004) Qué es el Estuario de Bahía Blanca?. *Ciencia Hoy*, 14 (81), 55-61.
- Perillo G. M. E., Piccolo M. C., Parodi E., y Freije R. H. (2001). The Bahía Blanca Estuary, Argentina. En Seeliger U. y Kjerfve B (Eds.) *Coastal Marine Ecosystems of Latin America* (pp 205-217), Vol. 144. Nueva York: Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- Perillo M. E. G. y Piccolo C. M. (2004). Qué es el Estuario de Bahía Blanca?. *Revista Ciencia Hoy*, Vol. 14 No 81.
- Petracci P. y Sotelo M. (2013). *Aves del Estuario de Bahía Blanca*. Argentina: Grupo Editorial Muelle Sur.
- Piccolo M. C. y Perillo M. E. G. (1990). Physical Characteristics of the Bahía Blanca Estuary (Argentina). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 303-317.
- Plastics Europe (Sobre los Plásticos) Qué es el plástico?. Recuperado de: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>
- Ramborger M. A. y Lorda M.A. (2010). Análisis de las transformaciones antrópicas de la franja costera de la Bahía Blanca a partir de la interpretación de fotografías aéreas. *Revista Universitaria de Geografía*, 19 (1). Recuperado de:

[http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-42652010001100006&lng=es&nrm=iso](http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652010001100006&lng=es&nrm=iso).

Recuperado de: [https://sfyl.ifas.ufl.edu/media/sfylifasufledu/flagler/sea-grant/pdf-files/microplastics/MERI\\_Guide-to-Microplastic-Identification.pdf](https://sfyl.ifas.ufl.edu/media/sfylifasufledu/flagler/sea-grant/pdf-files/microplastics/MERI_Guide-to-Microplastic-Identification.pdf)

- Rist S. y Hartmann N. B. (2018), Aquatic Ecotoxicity of Microplastics and Nanoplastics: Lessons Learned from Engineered Nanomaterials. En Wagner M. y Lambert S. (Eds.) *Freshwater Microplastics. Emerging Environmental Contaminants?* (pp. 25 – 49). Suecia: Springer Open.
- Rochman C. M. (2015), The Complex Mixture, Fate and Toxicity of Chemicals Associated with Plastic Debris in the Marine Environment. En Bergmann M., Gutow L. y Klages M. (Eds.) *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 117-140). Alemania: Springer Open.
- Ryan P. G. (2015). A Brief History of Marine Litter Research. En Bergmann M., Gutow L. y Klages M. (Eds.) *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 1-29). Alemania: Springer Open.
- Setälä O., Vivi F. y Maiju L. (2013). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution Bulletin*, 185, 77-83.
- Severini M. D. F., Villagran D. M., Buzzi N. S., y Sartor G. C. (2019). Microplastics in oysters (*Crassostrea gigas*) and water at the Bahía Blanca Estuary (Southwestern Atlantic): An emerging issue of global concern. *Regional Studies in Marine Science*, Número 32, Artículo 10089.
- Stolte A., Schubert H. y Forster S. (2014). *The detection of microplastics in beach sediments: Extraction methods, biases, and results from samples along the German Baltic coast*. (Tesis doctoral) Universitat Rostock, Alemania.
- Tanaka K. y Takada H. (2016) Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Scientific Reports*, 6: 34351.
- Teuten E. L., Rowland S. J., Galloway T. S., y Thompson R. C. (2007). Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environmental Science Technology* N° 41, 7759 - 7764.
- Thevenon F., Carrol C., y Sousa J. (editores) (2014). *Plastic Debris in the Ocean: The Characterization of Marine Plastics and their Environmental Impacts, Situation Analysis Report*. International Union for Conservation of Nature. Gland, Suiza.

- Thompson R. C., Anthony D., Olsen Y., Rowland S. J., Mc Gonigle D., Mitchell R. P., Anthony W. G. J., y Russell A. E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic?. *Science*, Vol. 304, 838.
- Turra A., Manzano A. B., Dias R. J. S., Mahiques M. M., L. Barbosa, D. Balthazar-Silva y F. T. Moreira (2014). Three-dimensional distribution of plastic pellets in Sandy beaches: shifting paradigms. *Scientific Reports* 4, Artículo N° 4435.
- Van Cauwenberghe L., Devriese L., Galgani F., Robbins J., y Janssen C. R (2015). Microplastics in sediments: A review of techniques, Occurrence and effects, *Marine Environmental Research*, 111 (15), 5 - 17.
- Weinstein J. E., Crocker B. K., y Gray A. D. (2016). From Macroplastic To Microplastic: Degradation Of High-Density Polyethylene, Polypropylene, And Polystyrene In A Salt Marsh Habitat. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 35, No. 7, 1632 – 1640.
- Woodall L. C., Gwinnett C., Packer M., Thompson R. C., Robinson L. F., y Paterson G. L. J. (2015). Using a forensic science approach to minimize environmental contamination and to identify microfibrils in marine sediments. *Marine Pollution Bulletin* 95 (15), 40 – 46.
- Wright S. L., Thompson R. C., Galloway T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution Bulletin*. 178 (13), 483 - 492.
- Zettler E. R., Mincer T. J., y Zettler A. L. A. (2013). Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris. *Environmental Science and Technology*, 47 (13), 7137 – 7146.







# **ANEXO I: CENSO DE RESIDUOS DE LA COSTA ATLÁNTICA BONAERENSE**

---

## CENSO DE RESIDUOS DE LA COSTA ATLÁNTICA BONAERENSE AÑOS 2016 A 2019

Resultados del conteo de residuos plásticos del censo efectuado en la zona de Arroyo Pareja e Isla Cantarelli, para los años 2016 a 2019. Pese a que en las planillas del censo las colillas de cigarrillos se contabilizaban como residuos de Papel, por estar constituidas por un material plástico (Acetato de Celulosa) se las incorporó como residuos plásticos en la construcción de estas tablas.

Cuadro 21: Elaboración propia. Resultados de los censos de Residuos de la Costa Atlántica Bonaerense. Adaptación de los datos provistos por la ONG HAPIC, para los años 2016 a 2019.

<b>SITIO: ARROYO PAREJA</b>	
<b>AÑO: 2016</b>	
<b>SUPERFICIE CENSADA: 6000 M<sup>2</sup></b>	
Ítem	Cantidad
Bolsas plásticas	428
Botellas plásticas	1425
Boya, cubierta de vehículo	3
Caucho	93
Globos	3
Guantes	7
Pañal / Toallita femenina	8
Preservativos	122
Restos nylon	226
Restos plásticos	465
Soga - Multifilamento	17
Sorbetes	30
Sunchos/Cabos/Redes	11
Tanza - Monofilamento	18
Tapitas	419
Telgopor	459
Otros	
Colilla cigarrillo	1
total ítems plásticos	3735
Ítems plásticos/m <sup>2</sup>	0,62

<b>SITIO: ARROYO PAREJA</b>	
<b>AÑO: 2017</b>	
<b>SUPERFICIE CENSADA: 6000 M<sup>2</sup></b>	
Ítem	Cantidad
Bolsas plásticas	463
Botellas plásticas	470
Boya, cubierta de vehículo	1
Caucho	15
Globos	1
Guantes	8
Pañal / Toallita femenina	9
Preservativos	4
Restos nylon	277
Restos plásticos	253
Soga – Multifilamento	19
Sorbetes	32
Sunchos/Cabos/Redes	13
Tanza – Monofilamento	1
Tapitas	174
Telgopor	338
Otros	93
Colilla cigarrillo	3
total ítems plásticos	2174
Ítems plásticos/m <sup>2</sup>	0,36

<b>SITIO: ARROYO PAREJA</b>	
<b>AÑO: 2018</b>	
<b>SUPERFICIE CENSADA: 6000 M<sup>2</sup></b>	
Ítem	Cantidad
Bolsas plásticas	292
Botellas plásticas	715
Boya, cubierta de vehículo	0
Caucho	2
Globos	8
Guantes	8
Pañal / Toallita femenina	9
Preservativos	74
Restos nylon	271
Restos plásticos	389
<b>Restos celofán</b>	<b>286</b>
Soga - Multifilamento	11
Sorbetes	25
Zunchos/Cabos/Redes	5
Tanza - Monofilamento	0
Tapitas	256
Telgopor	541
Otros	51
Colilla cigarrillo	31
total ítems plásticos	2974
Ítems plásticos/m <sup>2</sup>	0,50

<b>SITIO: ISLA CANTARELLI ZONA SO</b>	
<b>AÑO: 2019</b>	
<b>SUPERFICIE CENSADA: 2064M<sup>2</sup></b>	
Ítem	Cantidad
Bolsas plásticas	192
Botellas plásticas	1944
Boya, cubierta de vehículo	2
Caucho	133
Globos	2
Guantes	13
Pañal / Toallita femenina	16
Preservativos	19
Restos nylon	214
Restos plásticos	417
<b>Restos Celofán</b>	<b>35</b>
Sorbetes	19
Zunchos	27
Soga/Cabos/Redes	20
Tanza - Monofilamento	4
Tapitas	439
Telgopor	314
Otros	94
Colilla cigarrillo	3
total ítems plásticos	3907
Ítems plásticos/m <sup>2</sup>	1,89

Estos datos fueron aportados por la ONG HAPIC, Personería Jurídica Matrícula N° 41526, quienes efectúan en forma anual un censo de residuos que se extiende a lo largo de la costa bonaerense, y está promovido por varias instituciones, entre las que se destacan Fundación Vida Silvestre y Fundación Mundo Marino. El trabajo se efectúa con voluntarios ad honorem y con recursos de la ONG. Durante el censo, cada ítem que se cuenta se recoge, realizándose en simultáneo una limpieza costera y evitándose el doble conteo de los ítems. Luego, el municipio retira las bolsas con residuos, las que son vertidas en el basural a cielo abierto de la ciudad de Punta Alta.



Durante el censo se contabilizan también los residuos de Papel y Cartón, Vidrio, Metales, y Orgánicos, pero no se incorporaron ya que no son de aplicación para esta tesis. El celofán fue segregado de los tipos de plásticos el año 2018 y 2019 (antes eran incorporados dentro de “Otros”), por ello se lo escribió con **negrita e itálica**.

Durante el análisis de las muestras tomadas para la separación de microplásticos, se observó que había gran cantidad de colillas de cigarrillos, las cuales no se perciben a simple vista (y más durante la recolección de residuos de un censo) porque su coloración y estructura física es muy similar a la de la resaca. Promediando los Ítems plásticos/m<sup>2</sup> para los años 2016 a 2019, obtiene un total de unos 0,84 ítems/m<sup>2</sup>.