



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN SALINAS
ESPAÑOLAS

Autor: Carlos Sánchez Mata

Director: María del Mar Cledera Castro

Co-Director: Katia Hueso Kortekaas

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Análisis de Microplásticos en Salinas Españolas
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022 - 2023 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Carlos Sánchez Mata

Fecha: 10 / 04 / 23

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: María del Mar Cledera Castro

Fecha: 10 / 04 / 2023

Katia Hueso Kortekaas

HUESO
KORTEKAAS
CATALINA -
51396551S

Firmado digitalmente por HUESO
KORTEKAAS CATALINA - 51396551S
Nombre de reconocimiento (DN):
c=ES,
serialNumber=IDCES-51396551S,
givenName=CATALINA, sn=HUESO
KORTEKAAS, cn=HUESO
KORTEKAAS CATALINA - 51396551S
Fecha: 2023.04.10 14:16:17 +02'00'



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN SALINAS
ESPAÑOLAS

Autor: Carlos Sánchez Mata

Director: María del Mar Cledera Castro

Co-Director: Katia Hueso Kortekaas

Madrid

ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN SALINAS ESPAÑOLAS

Autor: Sánchez Mata, Carlos.

Director: Cledera Castro, María del Mar.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto consiste en un análisis de muestras de las distintas partes en las que se compone una salina. El objetivo del proyecto es hallar conclusiones sobre cómo llegan los microplásticos a la sal, es decir, en qué fase del proceso salinero se contamina este elemento de consumo humano. Así, la principal conclusión hallada es la circulación de estas partículas por el aire.

Palabras clave: microplásticos, sal, salinas, contaminación

1. Introducción

La contaminación mediante microplásticos se hace cada vez más popular en el ambiente científico actual. Así, y a pesar de la escasa literatura escrita sobre el tema hasta hace una década, cada vez son más los artículos publicados que advierten de que este puede ser un problema de salud grave para la humanidad.

Es reciente un estudio que muestra la aparición de microplásticos en leche materna, este tomaba muestras de 36 mujeres, de las cuales el 75% resultaron contaminadas [RAGU22]. Hoy, se está haciendo hincapié en averiguar de qué manera puede afectar esto a los recién nacidos.

De igual modo, cada vez son más comunes los estudios que analizan la aparición de microplásticos en la sal de mesa, según los cuales se han encontrado en sal procedente de salinas españolas [IÑIG17].

2. Definición del Proyecto

Este Proyecto no trata de determinar la existencia de microplásticos en sales, si no que busca averiguar en qué etapa del proceso salinero se produce esta contaminación, y hallar cómo se puede evitar. Así, se analizará cada punto de muestreo de las salinas estudiadas, grupo compuesto por salinas activas, abandonadas, de interior y de exterior, así como

pertenecientes o no a espacios naturales protegidos, para obtener conclusiones que determinen la magnitud del problema.

Además, este proyecto se compone como la continuación al Trabajo de Fin de Máster “Detección de Microplásticos en Salinas de España y Portugal” escrito por Cristina Espinosa de los Monteros López, y englobado en la investigación llevada a cabo por la Universidad Pontificia Comillas (ICAI) y dirigida por María del Mar Cledera Castro “Microplásticos en salinas”.

3. Descripción de la metodología

En la Figura 1 se muestra el proceso seguido para la realización de este proyecto.



Figura 1: Esquema sobre la metodología del proyecto [elaboración propia]

4. Resultados

Tras haber realizado el análisis de las muestras, se han obtenido los siguientes resultados:

- Se observa una relación entre las salinas activas de interior estudiadas, mostrando ambos comportamientos similares en cada punto de muestreo.
- Mientras, las salinas activas costeras también presentan su propio método de funcionamiento, distinto al de las salinas de interior.
- Las salinas activas de interior se contaminan según el agua emerge del manantial a la superficie.

- No hay relación entre color y tamaño de los microplásticos encontrados en las distintas salinas.

Así, el resultado más determinante se muestra en la Figura 2, que determina cómo la contaminación de las salinas se produce por el aire, y no por el agua.

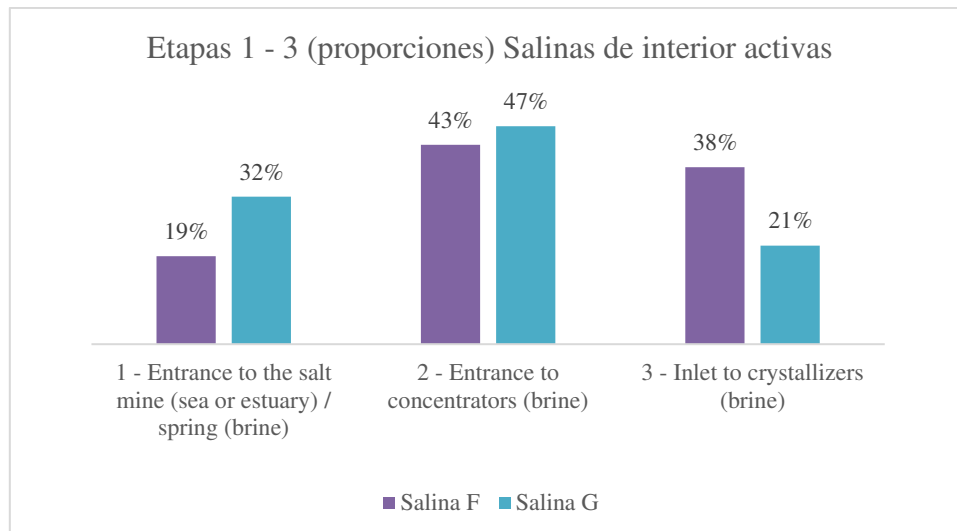


Figura 2: Análisis de número de microplásticos en las salinas de interior activas
[elaboración propia]

5. Conclusiones

La conclusión determinante de este Proyecto es que los microplásticos no llegan a la sal debido a la contaminación por el agua, si no por la contaminación atmosférica. Es por ello que las salinas de interior aumentan su número de microplásticos según son expuestas a condiciones ambientales, y la sal lavada se pobla de microplásticos una vez es apilada a la intemperie.

6. Referencias

[IÑIG17] Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific reports*, 7(1), 1-7.

[RAGU22] Ragusa, A., Notarstefano, V., Svelato, A., Belloni, A., Gioacchini, G., Blondeel, C., ... & Giorgini, E. (2022). Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. *Polymers*, 14(13), 2700.

ANALYSIS OF MICROPLASTICS IN SPANISH SALT MINES

Author: Sánchez Mata, Carlos.

Supervisor: Cledera Castro, María del Mar.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project consists of an analysis of samples of the different parts in which a salt mine is composed. The aim of the project is to find conclusions on how microplastics get to salt, studying at what stage of the salt process this element of human consumption is contaminated. Thus, the main conclusion found is the circulation of these particles through the air.

Keywords: microplastics, salt, saline, contamination

1. Introduction

Microplastic pollution is becoming increasingly problematic in today's scientific environment. Thus, and despite the scarce literature written on the subject one decade ago, there are more and more published articles that warn that this can be a serious health problem for humanity.

It is recent the study that shows the appearance of microplastics in breast milk, this took samples from 36 women, of which 75% were contaminated [RAGU22], today, emphasis is being placed on finding out how this can affect newborns.

Similarly, studies that analyze the appearance of microplastics in table salt are becoming increasingly common, according to which they have been found in salt from Spanish salt mines [IÑIG17].

2. Project Definition

This project does not try to study the existence of microplastics in salts, but seeks to find out at what stage of the salt mine this contamination occurs, and find out how it can be avoided. Thus, each stage of the salt mines studied will be analyzed, a group composed of active, abandoned, interior and coastal salt flats, as well as belonging or not to protected natural spaces, to obtain conclusions that determine the magnitude of the problem.

In addition, this project is composed as the continuation of the Master's Thesis "Detection of Microplastics in Salinas de España y Portugal" written by Cristina Espinosa de los Monteros López, and included in the research carried out by the Comillas Pontifical University (ICAI) and directed by María del Mar Cledera Castro "Microplastics in salt flats".

3. Description of the methodology

Figure 3 shows the process followed for the realization of this project.

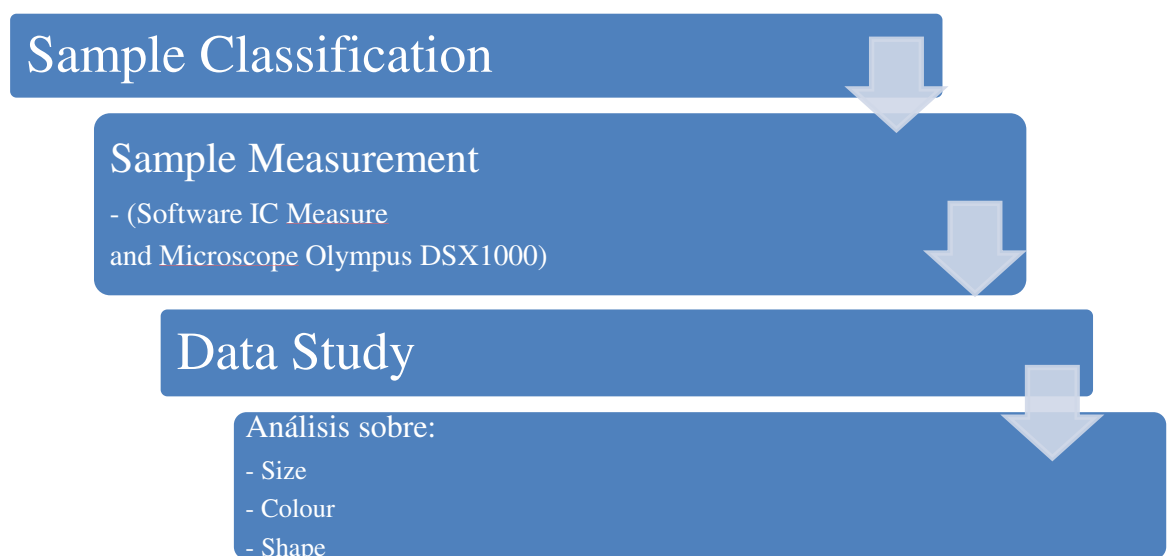


Figure 3: Outline of the project methodology [own elaboration]

4. Results

After having carried out the analysis of the samples, the following results have been obtained:

- A relationship is observed between the active salt flats of interior studied, showing both similar behaviors in each phase.
- Meanwhile, coastal active salt flats also have their own method of operation, different from inland salt flats.
- Active inland salt mines become contaminated as water emerges from the spring to the surface.
- There is no relationship between color and size of the microplastics found in the different salt flats.

Thus, the most decisive result is shown in Figure 4 which determines how the contamination of the salt flats is produced by the air, and not by the water.

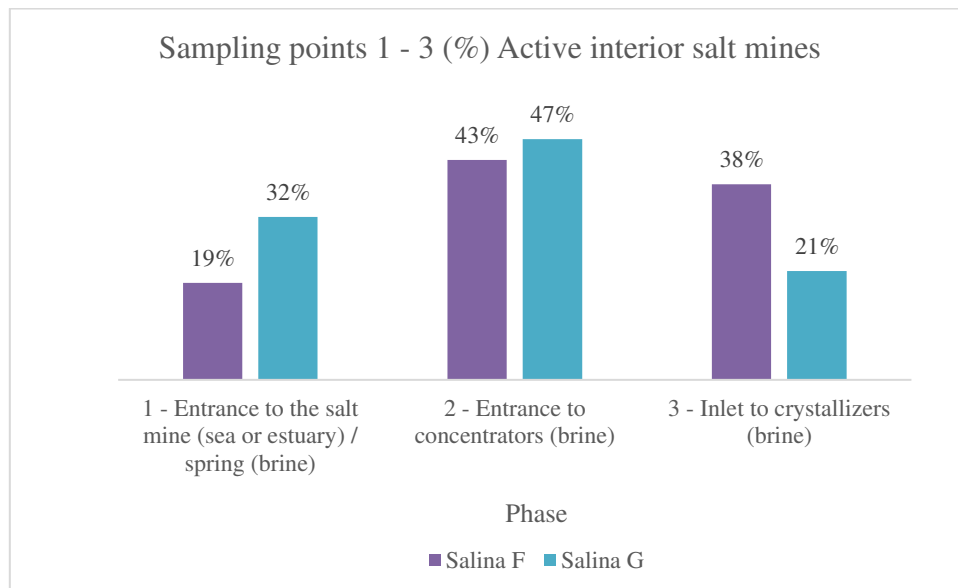


Figure 4: Analysis of the number of microplastics in active indoor salt pans [own elaboration]

5. Conclusions

The decisive conclusion of this project is that microplastics do not reach salt due to water pollution, but by air pollution. That is why interior salt flats increase their number of microplastics as they are exposed to environmental conditions, and washed salt is populated with microplastics once stacked outdoors.

6. References

[IÑIG17] Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific reports*, 7(1), 1-7.

[RAGU22] Ragusa, A., Notarstefano, V., Svelato, A., Belloni, A., Gioacchini, G., Blondeel, C., ... & Giorgini, E. (2022). Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. *Polymers*, 14(13), 2700.

Agradecimientos

Quiero dar las gracias, primero, a mis tutores del TFG, que en todo momento me han sabido guiar para llegar hasta aquí, gracias a sus recomendaciones, y a su preocupación para que el TFG estuviera no solo bien, sino todo lo bien lo que podía estar.

Gracias también a mi familia, mi gran motivación estos años de carrera, a mi padre y a mi madre, que con sus enseñanzas y sus buenos refranes y recomendaciones desde el corazón me han hecho llegar a donde estoy. Gracias, también, a mis abuelos, grandes fuentes de la inspiración que me apoya a llegar a donde estoy. Gracias a mis hermanos, que, aunque sean todos muy distintos, cada uno me ha sabido guiar en distintos ámbitos sin los cuales hoy sería otra persona.

Gracias a todas mis amistades, que han escuchado mis locas ideas a lo largo de estos años. Gracias a Comillas, porque ahora me siento parte de una gran familia que para mí siempre será mi casa. Gracias a Dios, porque siempre ha estado ahí para darme fuerzas y recordarme que estamos aquí para sacar lo mejor de nosotros mismos. Por último, gracias a mí, por haber superado cada bache, por permitirme equivocarme, y por enseñarme lecciones cada día.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	11
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	14
2.1 Tecnologías utilizadas anteriormente	14
2.1.1 Filtrado.....	15
2.1.2 Efecto Venturi.....	16
2.1.3 Agua ultrapura, agua oxigenada y alcohol.....	17
2.1.4 Estufa.....	17
2.1.5 Campana de Extracción	18
2.2 Nuevas tecnologías.....	19
2.2.1 Microscopio Olympus DSX1000	20
2.2.2 Software de medida IC Measure	21
2.2.3 Tratamiento de los datos	22
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	24
3.1 Definiciones y tipos de microplásticos.....	24
3.2 Historia sobre la investigación	25
3.3 Importancia de los microplásticos	26
3.4 Dónde se encuentran	27
3.5 Cómo funciona una salina costera.....	33
3.6 Cómo funciona una salina de interior.....	36
3.7 Microplásticos en sal.....	37
Capítulo 4. Definición del Trabajo	39
4.1 Justificación.....	39
4.2 Objetivos	40
4.3 Objetivos de desarrollo sostenible.....	40
4.3.1 ODS 3. Salud y Bienestar	41
4.3.2 ODS 6. Agua Limpia y Saneamiento	41
4.3.3 ODS 9. Industria, Innovación e Infraestructura.....	42
4.3.4 ODS 12. Producción y Consumo Responsable.....	43
4.3.5 ODS 14. Vida Submarina	43

4.3.6 ODS 15. Vida de Ecosistema Terrestres	44
Capítulo 5. Metodología	45
5.1 Muestras analizadas.....	45
5.2 Medición de microplásticos.....	48
5.3 Comparación mediante proporciones	48
5.4 Resumen del proceso.....	50
Capítulo 6. Análisis de Resultados.....	51
6.1 Estudio de la Salina A	53
6.1.1 Grupo de producción.....	54
6.1.2 Grupo de consumo.....	55
6.1.3 Análisis sobre los colores de los microplásticos	56
6.1.4 Análisis sobre el tamaño de los microplásticos.....	58
6.2 Comparación puntos de muestreo de distintas salinas.....	62
6.2.1 Grupo de producción.....	62
6.2.2 Grupo de consumo.....	68
6.3 Diferencias entre salinas de interior y costeras	76
6.4 Salina abandonada.....	81
Capítulo 7. Análisis estadístico	84
7.1 Análisis de diferencias y similitudes entre las salinas de interior	85
7.2 Análisis de diferencias y similitudes entre las salinas costeras	86
7.3 Análisis de la salina abandonada.....	87
7.4 Análisis de diferencias y similitudes entre las salinas costeras e interiores	90
Capítulo 8. Posibles soluciones y estudio económico.....	93
8.1 Cantidad de sal	95
8.1.1 Caracterización amontonamientos de sal	95
8.2 soluciones	96
8.2.1 Opción 1. Tejas.....	96
8.2.2 Opción 2. Cortinas naturales	97
8.3 Turismo y sostenibilidad	100
Capítulo 9. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	101
9.1 Conclusiones	101

9.2 Trabajos futuros.....	103
Capítulo 10. Recomendaciones para las empresas.....	105
10.1 Salina A.....	106
10.1.1 Puntos de muestreo.....	106
10.1.2 Recomendaciones.....	106
10.1.3 Gráficas de resultados.....	107
10.1.4 Resumen.....	108
10.2 Salina B.....	109
10.2.1 Puntos de muestreo.....	109
10.2.2 Recomendaciones.....	109
10.2.3 Gráficas de resultados.....	110
10.2.4 Resumen.....	111
10.3 Salina F.....	112
10.3.1 Puntos de muestreo.....	112
10.3.2 Recomendaciones.....	112
10.3.3 Gráficas de resultados.....	113
10.3.4 Resumen.....	114
10.4 Salina G.....	115
10.4.1 Puntos de muestreo.....	115
10.4.2 Recomendaciones.....	115
10.4.3 Gráficas de resultados.....	116
10.4.4 Resumen.....	117
10.5 Salina H.....	118
10.5.1 Puntos de muestreo.....	118
10.5.2 Recomendaciones.....	118
10.5.3 Gráficas de resultados.....	119
10.5.4 Resumen.....	120
Capítulo 11. Bibliografía.....	121
ANEXO I – Tablas de Resultados Salina A.....	124
ANEXO II – Tablas de Resultados Salina B.....	126

<i>ANEXO III – Tablas de Resultados Salina E</i>	<i>128</i>
<i>ANEXO IV – Tablas de Resultados Salina F</i>	<i>130</i>
<i>ANEXO V – Tablas de Resultados Salina G</i>	<i>132</i>
<i>ANEXO VI – Tablas de Resultados Salina H</i>	<i>134</i>

Índice de figuras

Figura 1: Esquema sobre la metodología del proyecto [elaboración propia]	8
Figura 2: Análisis de número de microplásticos en las salinas de interior activas [elaboración propia].....	9
Figure 3: Outline of the project methodology [own elaboration].....	11
Figure 4: Analysis of the number of microplastics in active indoor salt pans [own elaboration].....	12
Figura 5: Representación artística sobre la importancia de la contaminación en mares y océanos por el artista George Nuku (Viena - julio 2022).....	11
Figura 6: Esquema secuencial de las etapas del trabajo. [ESPI21]	15
Figura 7: Esquema Bomba Venturi [elaboración propia].....	16
Figura 8: Equipo de purificación de agua [ESPI21].....	17
Figura 9: Estufa [ESPI21].....	18
Figura 10: Campana de extracción [ESPI21]	19
Figura 11: Olympus DSX1000 [ESPI21]	20
Figura 12: Lentes [ESPI21]	20
Figura 13: Número de Artículos publicados e investigaciones sobre microplásticos publicados [TURA21]	26
Figura 14: Vertidos de microplásticos en el mar Mediterráneo [BOUC20].....	28
Figura 15: Esquema de distribución de microplásticos en el medio marino [WRIG13].....	29
Figura 16: Proporción de estudios de microplásticos en medios acuáticos/suelo y en el aire [SRID21]	31
Figura 17: Transporte de microplásticos por medios aéreos y terrestres [SRIN21].....	32
Figura 18: Esquema funcionamiento de una salina costera.....	33
Figura 19: Balsas de una salina [BALL14]	34
Figura 20: Sal amontonada [BALL14].....	36

Figura 21: Esquema enumerado sobre la ubicación de cada punto de muestra en la salina [Elaboración propia].....	46
Figura 22: Esquema resumen metodología [Elaboración propia]	50
Figura 23: Puntos de muestreo 1 - 9 Salina A [Elaboración propia].....	54
Figura 24: Grupo de producción Salina A [Elaboración propia].....	55
Figura 25: microplásticos en la Salina A grupo de consumo [Elaboración propia]	56
Figura 26: colores presentes en microplásticos por puntos de muestreo en la Salina A [Elaboración propia].....	57
Figura 27: Proporción de microplásticos por rango de tamaño en los distintos puntos de muestreo de la Salina A [Elaboración propia].....	58
Figura 28: Proporción de microplásticos presentes del rango 20 - 63 μm por punto de muestreo en la Salina A [Elaboración propia].....	59
Figura 29: Proporción de microplásticos presentes del rango 63 - 200 μm por punto de muestreo en la Salina A [Elaboración propia].....	60
Figura 30: Proporción de microplásticos presentes del rango 630 - 5000 μm por punto de muestreo en la Salina A [Elaboración propia].....	61
Figura 31: Proporción de microplásticos presentes del rango 200 - 630 μm por punto de muestreo en la Salina A [Elaboración propia].....	62
Figura 32: grupo producción (todas las salinas) [Elaboración propia].....	63
Figura 33: Grupo producción Salinas A, B, F, G y H (activas) [Elaboración propia]	63
Figura 34: Grupo producción Salinas A, B y H (costeras) [Elaboración propia].....	64
Figura 35: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina A) [Elaboración propia] ...	65
Figura 36: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina B) [Elaboración propia] ...	65
Figura 37: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina H) [Elaboración propia] ...	66
Figura 38: Distribución colores Salina A [Elaboración propia]	67
Figura 39: Distribución colores Salina B [Elaboración propia]	67
Figura 40: Distribución colores Salina H [Elaboración propia]	68
Figura 41: comparación grupo de consumo (salinas activas) [Elaboración propia].....	69
Figura 42: variación entre punto de muestreos 6 y 8 (salinas B y G) [Elaboración propia]	69
Figura 43: variación entre puntos de muestreo 7 y 9 (salinas F) [Elaboración propia].....	70

Figura 44: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina A) [Elaboración propia] ...	71
Figura 45: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina B) [Elaboración propia] ...	71
Figura 46: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina F) [Elaboración propia]....	72
Figura 47: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina G) [Elaboración propia] ...	72
Figura 48: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina H) [Elaboración propia] ...	73
Figura 49: número de microplásticos por color y punto de muestreo (Salina A) [Elaboración propia].....	74
Figura 50: número de microplásticos por colores y punto de muestreo (Salina B) [Elaboración propia].....	74
Figura 51: número de microplásticos por colores y punto de muestreo (Salina F) [Elaboración propia].....	75
Figura 52: número de microplásticos por colores y punto de muestreo (Salina G) [Elaboración propia].....	75
Figura 53: número de microplásticos por colores y punto de muestreo (Salina H) [Elaboración propia].....	76
Figura 54: Proporción de microplásticos por punto de muestreo para los puntos 1 - 3 de las salinas G y F [Elaboración propia]	77
Figura 55: Proporción de microplásticos para los puntos de muestreo 1 - 3, Salinas A, B y H [Elaboración propia].....	78
Figura 56: Proporción tamaño por punto de muestreo, Salinas A, F y G [Elaboración propia]	79
Figura 57: Número de microplásticos en los productos finales [Elaboración propia]	80
Figura 58: Salinas B y G, puntos de muestreo 6 y 8 [Elaboración propia]	81
Figura 59: Número de microplásticos por punto de muestreo (Salina E) [Elaboración propia]	82
Figura 60: Proporción de tamaños por punto de muestreo - Salina E [Elaboración propia]	83
Figura 61: Colores por punto de muestreo - Salina E [Elaboración propia]	83
Figura 62: Número de microplásticos por punto de muestreo (salina A) [Elaboración propia]	93
Figura 63: Comparación proceso de envasado (salinas B y G) [Elaboración propia].....	94

Figura 64: diagrama tamaño zona de sotavento tras cortina de viento [OBER20]	98
Figura 65: Salina A - Número por punto de muestreo [Elaboración propia]	107
Figura 66: Salina A - Tamaño por punto de muestreo [Elaboración propia]	108
Figura 67: Salina A - Color por punto de muestreo [Elaboración propia]	108
Figura 68: Salina B - Número por punto de muestreo [Elaboración propia]	110
Figura 69: Salina B - Tamaño por punto de muestreo [Elaboración propia]	111
Figura 70: Salina B - Color por punto de muestreo [Elaboración propia]	111
Figura 71: Salina F - Número por punto de muestreo [Elaboración propia].....	113
Figura 72: Salina F - Tamaño por punto de muestreo [Elaboración propia].....	114
Figura 73: Salina F - Color por punto de muestreo [Elaboración propia].....	114
Figura 74: Salina G - Número por punto de muestreo [Elaboración propia]	116
Figura 75: Salina G - Tamaño por punto de muestreo [Elaboración propia]	117
Figura 76: Salina G - Color por punto de muestreo [Elaboración propia]	117
Figura 77: Salina H - Número por punto de muestreo [Elaboración propia]	119
Figura 78: Salina H - Tamaño por punto de muestreo [Elaboración propia]	120
Figura 79: Salina H - Color por punto de muestreo [Elaboración propia]	120

Índice de tablas

Tabla 1: Información muestras por puntos de muestreo.....	52
Tabla 2: Resultados ANOVA entre salinas F y G (color)	85
Tabla 3: Resultados ANOVA entre salinas F y G (tamaño) [Elaboración propia]	85
Tabla 4: Resultados ANOVA entre salinas A, B y H (color) [Elaboración propia]	86
Tabla 5: Resultados ANOVA entre salinas A, B y H (tamaño) [Elaboración propia]	87
Tabla 6: Resultados ANOVA salina abandonada E (tamaño) [Elaboración propia]	88
Tabla 7: Resultados ANOVA salina abandonada E (color) [Elaboración propia]	89
Tabla 8: Resultados ANOVA salinas interior y costeras activas 1 (tamaño) [Elaboración propia].....	90
Tabla 9: Resultados ANOVA salinas interior y costeras activas 1 (color) [Elaboración propia].....	91
Tabla 10: Resultados ANOVA salinas interior y costeras activas 2 (tamaño) [Elaboración propia].....	92
Tabla 11: Resultados ANOVA salinas interior y costeras activas 2 (color) [Elaboración propia].....	92
Tabla 12: Presupuesto aproximado compra de tejas [Elaboración propia]	97
Tabla 13: Presupuesto cortina de viento [Elaboración propia].....	99
Tabla 14: Toneladas de sal por año tras la cortina de viento [Elaboración propia]	100
Tabla 15: Salina A. Número de microplásticos	124
Tabla 16: Salina A. Tamaño de microplásticos	124
Tabla 17: Salina A. Color de microplásticos	125
Tabla 18: Salina B. Número de microplásticos	126
Tabla 19: Salina B. Tamaño de microplásticos	126
Tabla 20: Salina B. Color de microplásticos	127
Tabla 21: Salina E. Número de microplásticos	128
Tabla 22: Salina E. Tamaño de microplásticos	128

Tabla 23: Salina E. Color de microplásticos	129
Tabla 24: Salina F. Número de microplásticos.....	130
Tabla 25: Salina F. Tamaño de microplásticos	130
Tabla 26: Salina F. Color de microplásticos	131
Tabla 27: Salina G. Número de microplásticos.....	132
Tabla 28: Salina G. Tamaño de microplásticos.....	132
Tabla 29: Salina G. Color de microplásticos.....	133
Tabla 30: Salina H. Número de microplásticos.....	134
Tabla 31: Salina H. Tamaño de microplásticos.....	134
Tabla 32: Salina H. Color de microplásticos.....	135

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación por microplásticos es un tema que ha ganado notoriedad a lo largo de los últimos años. Un crecimiento del uso del plástico a nivel global ha provocado este nuevo problema al que la humanidad se enfrenta hoy. Es cada vez mayor la literatura que existe sobre el mismo y, por lo tanto, es creciente la información sobre cómo afecta a la población en términos de salud, sobre cómo se transmiten o sobre cómo cuantificar el problema.



Figura 5: Representación artística sobre la importancia de la contaminación en mares y océanos por el artista George Nuku (Viena - julio 2022)

Son recientes los estudios que señalan la aparición de microplásticos en leche materna. En uno de ellos se tomaron 34 muestras de mujeres en Italia, y de ellas, la leche materna de un 75% presentaban contaminación por estas partículas apenas visibles para el ojo humano [RAGU22], ahora, diversos científicos tratan de descubrir qué efectos pueden tener sobre los recién nacidos. A pesar de los riesgos que puede suponer contener estas partículas en el cuerpo, tan extremos como un posible taponamiento de los vasos sanguíneos, no existe ningún procedimiento establecido para investigar la magnitud del problema. Por ello es necesaria la creación de protocolos de investigación que permitan unificar todos los estudios para poder obtener conclusiones acertadas y globales.

Dada la magnitud del problema y el alcance que se ha demostrado que tiene, en el presente trabajo se va a analizar cómo afecta a la sal, y cómo se contamina esta. Así, dentro de la literatura ya escrita sobre el presente tema, se ha descubierto que la sal española contiene entre 115 y 185 partículas de microplásticos por cada kilogramo analizado [IÑIG17]. Ahora, se busca analizar cómo llegan los microplásticos a dicha sal, estudiando el proceso de las salinas, etapa por etapa, desde el llenado de la primera balsa, hasta el empaquetamiento de la sal para consumo final.

Así, este trabajo de fin de grado se encuentra encuadrado en el proyecto de investigación propio de la Universidad Pontificia Comillas (ICAI): “Microplásticos en salinas”, cuyo Investigador Principal es María del Mar Cledera Castro, y cuyo objetivo es la elaboración de un protocolo que permita unificar las investigaciones sobre la detección de microplásticos en salmuera y sal sólida, y así poder cuantificar y definir el problema en cada punto de muestreo de una salina, y poder aplicar medidas pertinentes.

Además, este proyecto se constituye como la continuación del trabajo de fin de máster “Detección de Microplásticos en Salinas de España y Portugal”, escrito por Cristina Espinosa de los Monteros López. De este modo, en dicho trabajo se realizaba una extensa descripción sobre la fase de toma de muestras, describiendo todos los procesos seguidos para la obtención de las mismas. Con ello, el presente estudio trata de continuar dicha investigación realizando el análisis de las muestras ya obtenidas y examinando los puntos de

muestreo de las salinas estudiadas, para de este modo obtener conclusiones sobre la magnitud del problema y sobre posibles soluciones a aplicar en las diferentes etapas en las que se constituye una salina.

Para ello, se estudiarán seis salinas españolas, de las cuales una se encuentra abandonada, tres son costeras, y las tres restantes son de interior. Además, no todas ellas comparten ubicación geográfica, puesto que las hay Mediterráneas y Atlánticas, y cuatro de ellas se encuentran en espacios naturales protegidos.

Así, en este marco descrito, se tratará de aumentar la literatura científica sobre este tema, buscar soluciones con sus correspondientes estudios económicos, y analizar la magnitud del problema. Con todo ello se pretende mejorar la calidad de la sal que se consume y así disminuir la exposición que tiene la población a este problema. Así, se va a realizar el estudio siguiendo un protocolo establecido e iniciado por el trabajo “Detección de Microplásticos en Salinas de España y Portugal”, ya mencionado.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

Este trabajo de fin de grado se constituye como una continuación al Trabajo de fin de Máster “Detección de Microplásticos en Salinas de España y Portugal” presentado por Cristina Espinosa de los Monteros López en agosto de 2021. Por lo tanto, se combinarán tecnologías ya utilizadas y descritas en su trabajo, así como otras introducidas en este al encontrarse la investigación en una fase diferenciada.

2.1 TECNOLOGÍAS UTILIZADAS ANTERIORMENTE

En este apartado se realizará un análisis de las principales tecnologías utilizadas para la obtención de las muestras que se han utilizado en este punto de la investigación, a modo de resumen y en su totalidad referenciado al Trabajo de fin de Máster “Detección de Microplásticos en Salinas de España y Portugal” de Cristina Espinosa de los Monteros López.

Se van a analizar los principios físicos y químicos utilizados para la obtención en las muestras, así como las tecnologías utilizadas para el posterior análisis de estas. El proceso que se llevó a cabo queda representado en la Figura 6, creada por la autora del Trabajo de fin de Máster.

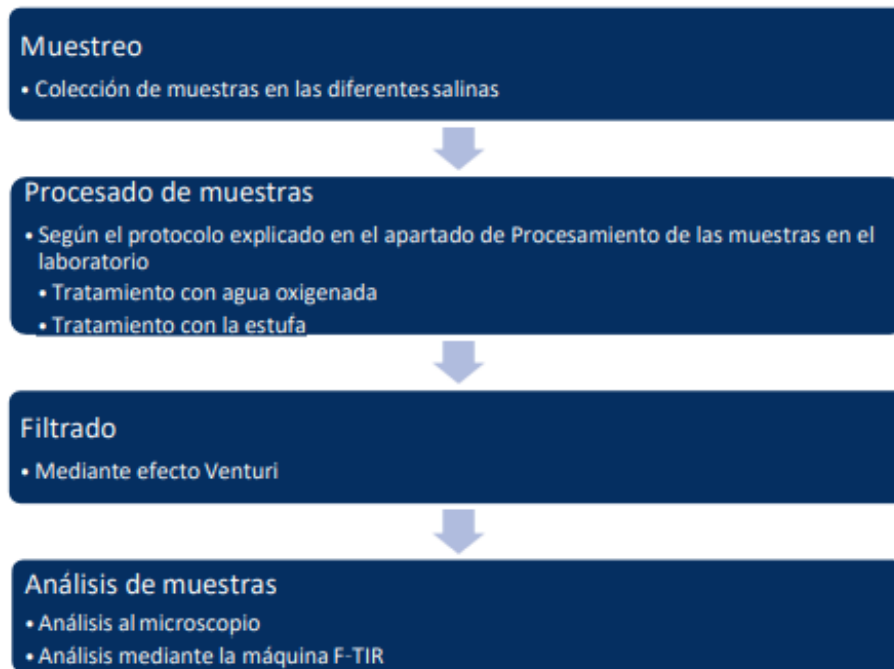


Figura 6: Esquema secuencial de las etapas del trabajo. [ESPI21]

2.1.1 FILTRADO

El filtrado consiste en la disgregación de una disolución en su parte líquida y sólida. Para ello se han utilizado filtros de distintos tamaños de poro. Estos pueden ser fundamentalmente de celulosa, papel, fibra de vidrio, cuarzo, o membrana.

En el caso de este estudio, se utilizaron filtros de nitrato de celulosa con un tamaño de poro comprendido entre $5\mu\text{m}$ y 47mm de diámetro, capaces de retener partículas de tamaños superiores a $5\mu\text{m}$. Para realizar un filtrado óptimo, el soluto debe encontrarse lo más disuelto posible en el líquido. Para ello se utilizaron las tecnologías descritas a continuación.

2.1.2 EFECTO VENTURI

En lugar de utilizar una bomba de vacío, cabe la posibilidad de hacer lo propio con una bomba de Venturi. Esta también logra hacer el mismo cometido mediante el efecto Venturi, por el cual, al elevar la velocidad de un fluido, se disminuye su presión.

El principio de funcionamiento de una bomba Venturi es el siguiente: mediante una corriente de agua se permite generar una diferencia de presiones. A esta corriente de agua se le incorpora, mediante una toma, una corriente de aire comprimido. A su vez, se reduce el diámetro del cilindro por el que transcurre el agua, lo que provoca un aumento de su velocidad y, por lo tanto, una disminución de su presión, como se puede ver en la Figura 7.

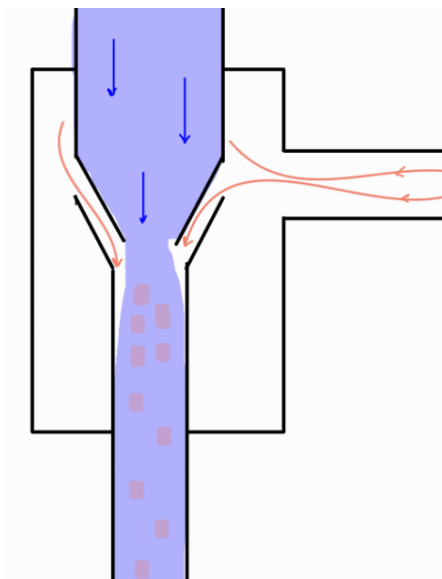


Figura 7: Esquema Bomba Venturi [elaboración propia]

En este estudio, este ha sido el método utilizado fundamentalmente, puesto que, aunque entre sus desventajas se encuentre un mayor gasto de agua (debe estar continuamente fluyendo), no existen problemas relacionados con la corrosión de las máquinas, gracias a la simpleza del proceso.

2.1.3 AGUA ULTRAPURA, AGUA OXIGENADA Y ALCOHOL

El agua ultrapura se obtuvo mediante el purificador de agua Direct-Q 5 UV. Para limpiar de manera correcta los vidrios utilizados, se lavaban con agua y jabón y, posteriormente, dos o tres veces con el equipo de purificación de la figura 3.



Figura 8: Equipo de purificación de agua [ESPI21]

Para eliminar la materia orgánica que pudiera existir en las probetas de sal o salmuera obtenidas en las salinas se utiliza agua oxigenada H_2O_2 al 30%. Por último, para desinfectar las superficies de trabajo se ha utilizado alcohol.

2.1.4 ESTUFA

Para completar el proceso de filtrado conviene dejar las muestras durante 24 horas a una temperatura constante. Para ello se utilizó la estufa, mostrada en la Figura 9. También se utilizó, al comienzo del proyecto, una incubadora oscilatoria que además promovía la disolución de la sal sólida.



Figura 9: Estufa [ESPI21]

2.1.5 CAMPANA DE EXTRACCIÓN

Para evitar el contacto de las muestras con las partículas en suspensión presentes en el aire del laboratorio, durante todo el proceso se ha utilizado la campana de extracción. Con este método, se minimiza el riesgo de contaminación de las muestras. Se muestra en la Figura 10.



Figura 10: Campana de extracción [ESPI21]

2.2 NUEVAS TECNOLOGÍAS

Una vez obtenidas todas las muestras, para realizar su análisis y detección de microplásticos, al no contar en esta ocasión con un aparato FTIR (este permitiría la detección de los tipos de microplásticos encontrados), en este análisis solo se va a estudiar la aparición de fibras de microplásticos, y no se hará diferenciación en el tipo de plástico. Además, se evita medir fragmentos dentro de las muestras, ya que existe un riesgo de confusión con otros materiales, como pueden ser minerales, metales, o materia orgánica.

Así, en este apartado vamos a enumerar los distintos apartados utilizados, como el microscopio “Olympus DSX1000”, el software de medida “IC Measure”, y la hoja de datos utilizada para el tratamiento y estudio de los mismos.

2.2.1 MICROSCOPIO OLYMPUS DSX1000

El microscopio digital Olympus DSX1000 (mostrado en la Figura 11) consta de lentes con aumentos x3, x10, x20 y x40, como se muestran en la Figura 12, así como un zoom digital que permite ampliar la imagen hasta x7000 en el monitor. Con ello se consigue la posibilidad de realizar una medición excelente de los microplásticos contenidos en las muestras.



Figura 11: Olympus DSX1000 [ESPI21]



Figura 12: Lentes [ESPI21]

El software desarrollado por la marca permite, dentro de la imagen captada por la lente utilizada, realizar zoom y enfocar dentro de un rango de relieve, así como elegir la luz más favorable para la detección de los microplásticos. Posteriormente, el propio software crea una ficha de cada muestra, indicando el número de microplásticos, su medida y otras características que se hayan determinado. En la Ilustración 1, se muestra una imagen obtenida directamente a partir del microscopio.

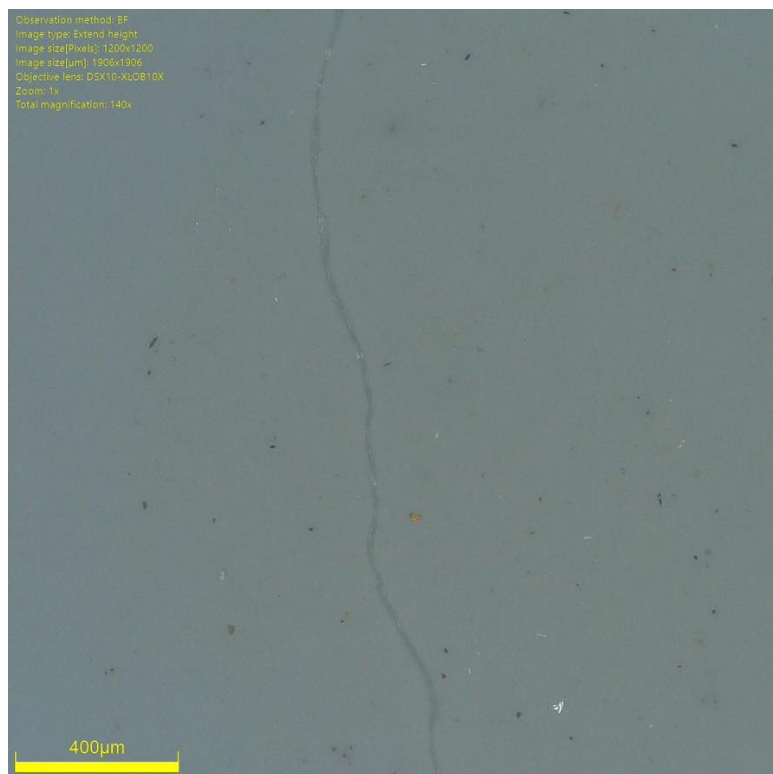


Ilustración 1: Imagen obtenida a partir del microscopio Olympus DSX1000 [Elaboración propia]

2.2.2 SOFTWARE DE MEDIDA IC MEASURE

El software de medida IC Measure es un software gratuito que permite la identificación de archivos en formato “.tiff ” para poder medir posteriormente los microplásticos contenidos en las imágenes de las muestras.

Este software se ha utilizado para medir los microplásticos contenidos en imágenes ya tomadas con el microscopio Olympus DSX1000, que fueron tomadas en una parte distinta de la investigación, y que, por lo tanto, no fueron medidas directamente aprovechando el Software de Olympus.

Este software permite, indicando la escala de la imagen mediante la escala obtenida a partir de la imagen del microscopio, medir distintos tipos de partículas, fibras, fragmentos, etc. que aparezca, indicando distintas magnitudes como el área, longitud, perímetro, etc. En la Ilustración 2 se muestra una captura del software.

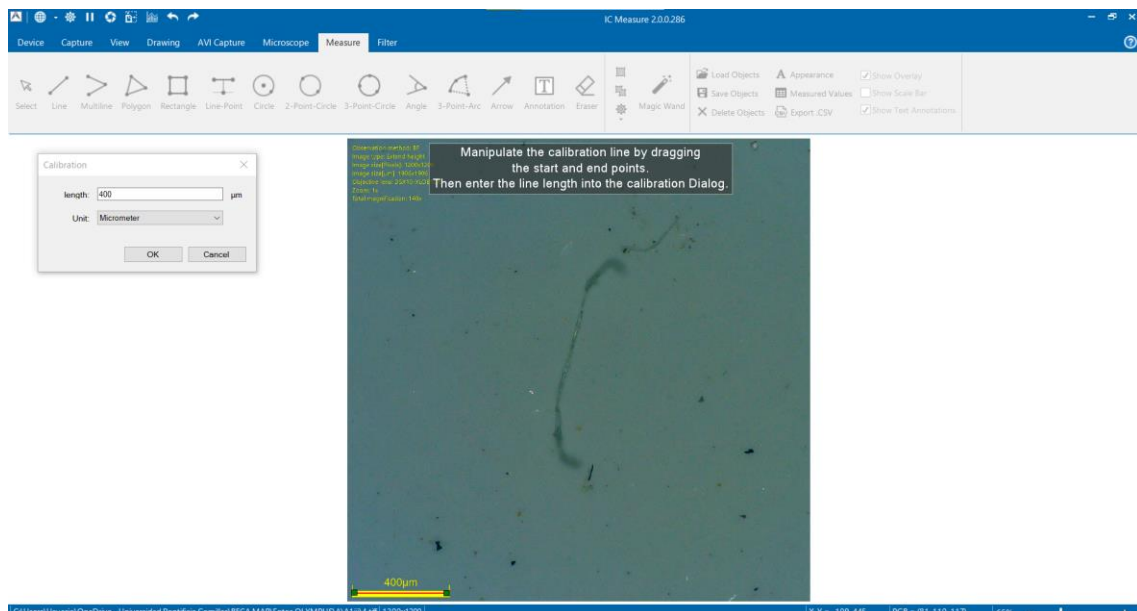


Ilustración 2: Software IC Measure [Elaboración propia]

2.2.3 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Para una toma de datos certera, a la vez que sencilla, ya que estos provienen tanto de muestras con fotos ya medidas, así como de muestras con fotos sin medir y de muestras sin foto, se ha creado una plantilla de recogida de datos en Excel para recoger todo tipo de información.

Esta plantilla recoge la información de los microplásticos observados a la hora de realizar el estudio de las muestras. De este modo, y para cada muestra, punto de muestra, repetición, y salina, existe una tabla que contiene los datos más importantes, que consisten en la forma del microplástico, el color, la longitud o el área (dependiendo del tipo de microplástico), y el tamaño característico del mismo. En nuestro caso, la forma deberá ser casi en su totalidad fibra, pues la imposibilidad de conocer si los fragmentos se tratan o no de microplásticos hacen más complicado su estudio, y es más seguro no clasificarlos directamente, antes que cometer una equivocación que no se conocería.

Una vez introducidos los datos de cada muestra en la hoja de datos, a partir de los valores obtenidos gracias a los Software ya mencionados anteriormente, esta genera tablas y gráficas de resultados, creando un análisis que indica las proporciones de los mismos en cuanto a longitud y color de estos. Con ello se pretende conocer la magnitud del problema y el tamaño de los microplásticos que se encuentran en las salinas.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 DEFINICIONES Y TIPOS DE MICROPLÁSTICOS

Para una correcta comprensión del trabajo, primero se establecerá tanto la definición de los microplásticos, como su clasificación, sirviendo a distintos métodos de ordenación. En la totalidad de la extensión de este proyecto de fin de grado, se denominará microplástico a todos aquellos plásticos con una longitud definida entre 1 μm y 5 mm, que puedan haber aparecido en cualquier tipo de medio. De este modo, aquellos plásticos inferiores a 1 μm , serán denominados nanoplásticos, y quedan fuera del objetivo de estudio.

A su vez, los microplásticos se encuentran divididos en tres categorías principales según su forma, pues pueden aparecer de tres maneras distintas: fragmento, fibra, o film. En este trabajo, se estudiarán fundamental y principalmente las fibras, debido a la dificultad que presentan los fragmentos de ser categorizados como microplásticos, minerales, o cualquier otro tipo de material, con los métodos de medida empleados.

Además de por la forma en la que se presentan estos microplásticos, se pueden categorizar según su formación, en microplásticos primarios o secundarios [FEND09]. Los microplásticos primarios son aquellos que, desde el primer momento de su constitución lo son, véase aquellos utilizados en procesos industriales o que se utilizan en muchos productos del día a día, como la crema solar. De la misma manera, los microplásticos secundarios son aquellos que se crean mediante la degradación de piezas más grandes de plástico, debido a factores como la exposición al sol, al propio uso, o al lavado de estas piezas [ANDR17]. Un claro ejemplo de los microplásticos secundarios, serían las partículas que expulsan los neumáticos de los vehículos al rozar con cualquier tipo de superficie, estos constituyen el 53% de los microplásticos vertidos al mar Mediterráneo en el año 2020 [BOUC20].

3.2 HISTORIA SOBRE LA INVESTIGACIÓN

La investigación sobre la contaminación derivada por los plásticos y el uso de estos no se presenta relacionada temporalmente. Los primeros usos del plástico datan del año 1907, cuando su predecesora, la bakelita, fue inventada [FRIA19]. Mientras, los artículos relacionados con la contaminación de estos en medios marinos comenzaron a ser redactados a partir de 1970 [CARP72], una vez el uso de los plásticos ya se encontraba en una etapa de muestreo muy avanzada. Estos artículos tienen, en la mayoría de los casos y como tema principal, la ingestión de plásticos por parte de los mamíferos marinos, cetáceos, u otras especies, como las aves. Ahora sí, se puede determinar que esta etapa de afloramiento de los artículos sobre la contaminación debida al uso de los plásticos se data a cuando se comenzaron a notar sus efectos y se popularizó su uso. Sin embargo, no fue hasta el año 2004 cuando se comenzó a utilizar el término “microplástico”, definido como plástico con un diámetro aproximado de 20 μm . En dicho artículo, Thompson et al. (2004) determinaron la aparición de microplásticos en sedimentos marinos europeos [LUSH15]. Desde entonces y, como se puede ver en la Figura 13, ha habido un incremento sustancial de las publicaciones sobre este tema, en dicha figura, se representa una gráfica que indica el número de artículos publicados en revistas científicas con las palabras clave “Microplastics in oceans”, “Microplastics in marine”, “Microplastics in seawater”, y “Microplastics in seabed sediments”.

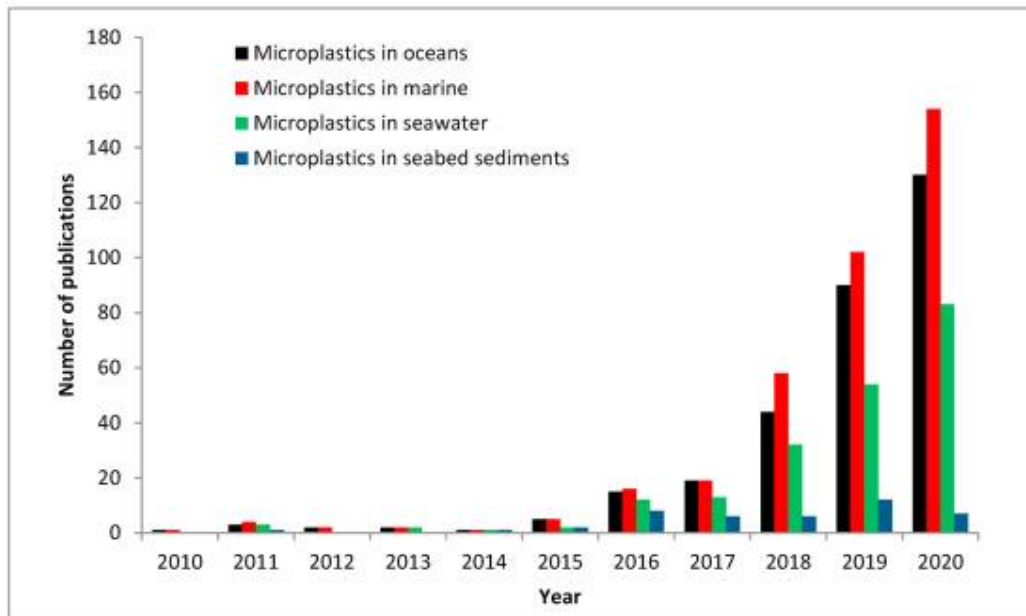


Figura 13: Número de Artículos publicados e investigaciones sobre microplásticos publicados [TURA21]

3.3 *IMPORTANCIA DE LOS MICROPLÁSTICOS*

La contaminación en el medio marino ha adquirido una gran importancia y es ya tratado como un problema medioambiental debido a las consecuencias que puede albergar. Entre esta contaminación, destaca la aparición de materiales tales como la madera o el cristal, siendo el más abundante el plástico, que representa entre el 60% y el 80% de los materiales contaminantes [IÑIG17]. La importancia de este problema medioambiental reside en la resistencia a la degradación que caracteriza a los plásticos, que puede alcanzar una duración superior a los 100 años [HUES21]. Durante este periodo, los plásticos se descomponen en microplásticos que luego pueden llegar al ser humano debido a la gran cantidad de productos que consumimos provenientes del mar, tales como la sal o el pescado.

La aparición de microplásticos en seres vivos se hace cada vez más crucial. Cada vez más estudios demuestran el incremento de ellos. Se pueden encontrar, por ejemplo, en los tejidos

de la piel humana. Esto se debe fundamentalmente a la ingesta de estos que realizamos a través de alimentos contaminados, o a que los respiramos con asiduidad [VETH21]. Sin embargo, aún se desconoce la capacidad que tienen estas partículas de penetrar en el cuerpo humano, lo que provoca que no se pueda realizar una correcta evaluación de los daños que puedan causarnos. Aun así, se conoce la capacidad de aquellos inferiores a 10micrometros de adentrarse en el interior del sistema circulatorio, llegando de ese modo al hígado o al cerebro. Una vez en contacto con estos órganos, estas partículas pueden suponer un riesgo debido a su toxicidad, sobre todo en el caso de los microplásticos secundarios, que suelen contener aditivos, pudiendo provocar daño celular o en el ADN, así como alteraciones en el metabolismo [VETH21]. Cabe destacar del mismo modo que pueden actuar a modo de “Caballo de Troya”, al transportar hacia el interior del cuerpo humano químicos, proteínas o toxinas peligrosas para el mismo.

3.4 DÓNDE SE ENCUENTRAN

Los microplásticos forman parte de gran cantidad de alimentos que consumimos, así como de productos que utilizamos a diario, ya sea por estar fabricados por ellos, o por simple contaminación. Según demuestra un estudio, el 23,3% de los peces que viven en el Mediterráneo, presentan microplásticos en sus tejidos, siendo las fibras de microplásticos la forma más común en la que aparecen [BAJT21]. El número se hace más acuciante cuando nos referimos a especies como las sardinas o las anchoas del Mar Adriático, que alcanzan porcentajes del 90% de cada especie con microplásticos en sus estómagos. Por otro lado, como demuestra del mismo modo el estudio, solo el 12% y 11% de estas especies respectivamente que viven en el Golfo de Lyon, portan microplásticos en sus tejidos, lo que induce a pensar que la distribución de microplásticos no es uniforme, si no que varía según la ubicación geográfica. A esto se le debe sumar, por ejemplo, la cantidad de microplásticos que contiene una botella de agua, pudiendo variar entre 0 y 10^4 partículas.

Según un documento en el que se estudia la concentración de microplásticos a lo largo de la costa de Corea del Norte, se señala que la mayor concentración de los mismos proviene de zonas marítimas próximas a desembocaduras de ríos [LORE19]. En la Figura 14 se puede comprobar cómo la mayoría de los vertidos de microplásticos proceden de las cuencas de los ríos principales que van a parar al Mediterráneo, siendo la principal fuente el río Nilo. Lo que puede deberse al transporte de estas partículas desde zonas de interior [PEIX19], así como a la generación de las corrientes, en este caso antihorarias, que varían enormemente la distribución de estos. De este modo se prevé un incremento en la aparición de los mismos en los próximos años debido a una migración continuada hacia zonas de costa, y al incremento de la pesca extensiva [ANDR11].

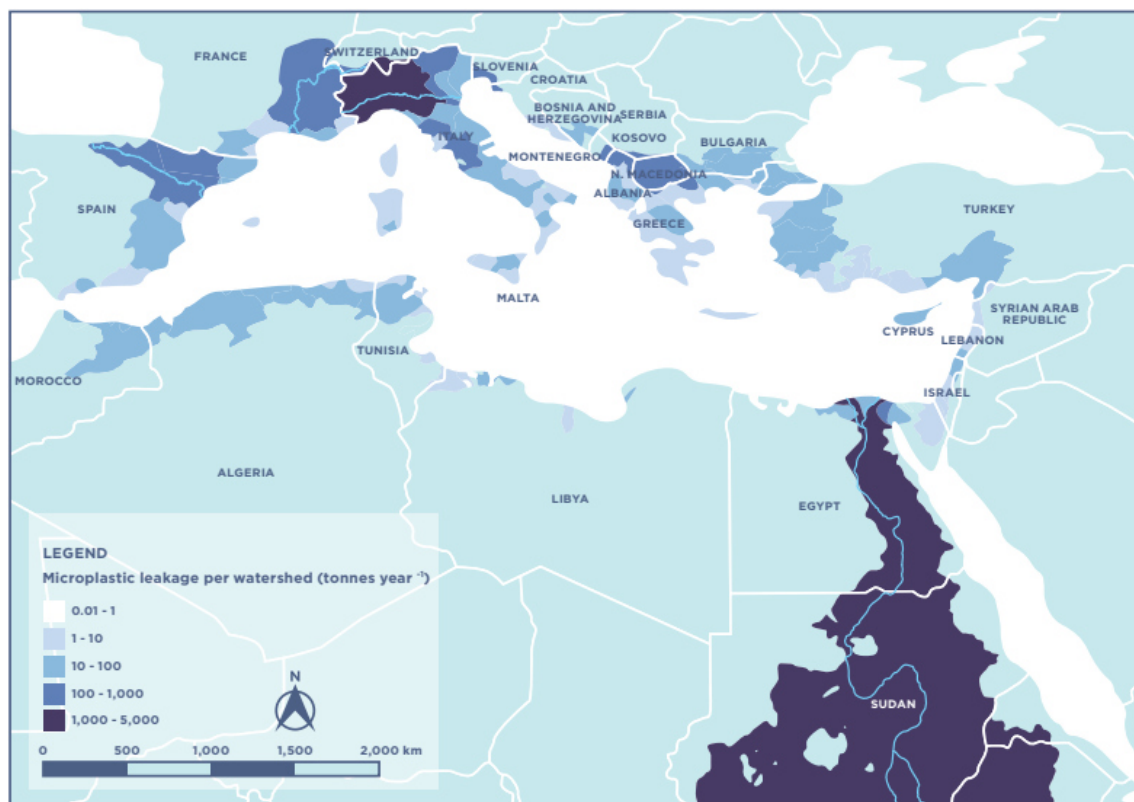


Figura 14: Vertidos de microplásticos en el mar Mediterráneo [BOUC20]

Además de la existencia de corrientes y ríos, otros factores humanos, como la producción industrial o el turismo que predomine en la zona pueden ser factores determinantes para definir una cantidad de microplásticos superior o inferior en el entorno [PEIX19]. Es por ello que estos microplásticos también se encuentran presentes en alimentos como la miel, o en el agua del grifo, así como en la sal [PEIX19]. Cabe destacar que la ubicación de estos no solo atiende a razones como la vida humana presente en el lugar contaminado. Prueba de ello es la aparición de los mismos en lugares insospechados como el hielo del mar Ártico, en la Antártida, y en fosas oceánicas profundas. Por ello este incremento de microplásticos sin precedentes, así como el hecho de que constituyen un nuevo elemento en la vida humana, hacen imprescindible aumentar el campo de conocimiento para determinar los riesgos que pueden conllevar, y cómo hemos de frenar su avance. En la Figura 15 [WRIG13], se muestra de manera esquematizada cómo se contamina, a través de microplásticos, el medio marino y las especies que residen en él.

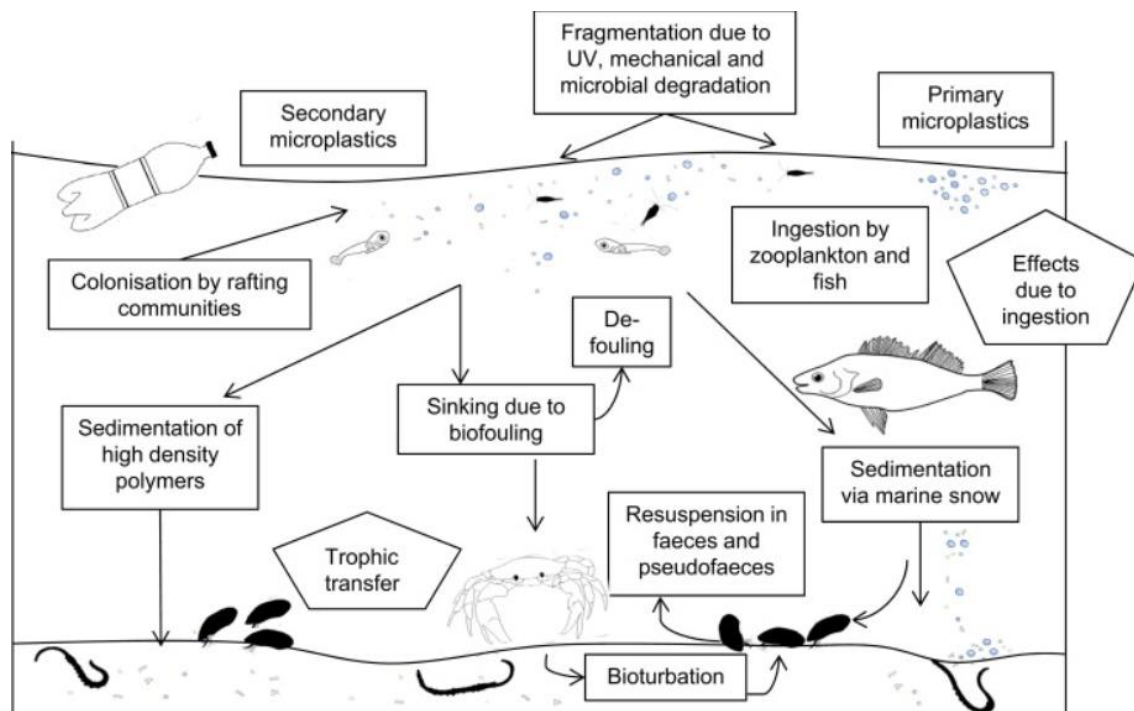


Figura 15: Esquema de distribución de microplásticos en el medio marino [WRIG13]

Sin embargo, también se han hallado microplásticos en otros medios acuáticos sin salidas a mares o ríos. Según un estudio sobre la aparición de microplásticos en cuerpos de agua dulce, se determina que la procedencia principal de los mismos es de las plantas de tratamiento de aguas urbanas, vertidos industriales o provenientes de la agricultura [KUMA21]. En cuanto a la aparición de microplásticos en estos lugares, se hace más acusada si estos están cerca de explotaciones agrarias que además tienen núcleos urbanos próximos, diferencia atribuida a la modernización de los medios de depuración de aguas urbanas [QIAN21]. Además, se establece que la aparición de microplásticos en agua subterránea es debida, principalmente, al drenaje de esta agua contaminada hacia el subsuelo, aunque sin olvidar la contaminación aérea. Es por ello que se han encontrado microplásticos en lugares tales como humedales [KUMA21]. Esta aparición de microplásticos en este tipo de medios, también es debida a la migración de aves desde focos de contaminación, esto indica que no solo es debido a la proximidad de vida humana, si no que la naturaleza transporta los mismos [QIAN21].

Atendiendo a la importancia de la transmisión de microplásticos por el aire. Ya que, como se ha comentado, han aparecido microplásticos en lugares no habitados por la humanidad, como la Antártida, o no conectados directamente a otras fuentes de agua, como los humedales. El problema reside en que se trata de un tema poco común, como se puede comprobar en la Figura 16 [SRID21], entre los estudios científicos.

Available literature on the human health implications of microplastics

■ Literature: Soil/aquatic MPs on human health ■ Literature: Airborne MPs on human health

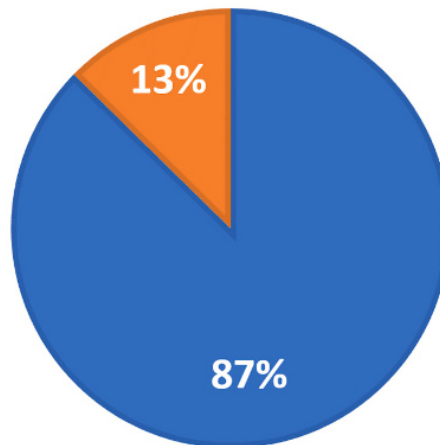


Figura 16: Proporción de estudios de microplásticos en medios acuáticos/suelo y en el aire [SRID21]

Se ha estudiado que la proveniencia de los microplásticos en el suelo o en los mares y océanos no consiste solamente de las cuencas de los ríos o de la población en las zonas costera, si no que las lluvias son una fuente importante de los mismos. Así queda establecido en un estudio en el que determinan que el incremento de microplásticos en mares y océanos en invierno se debe fundamentalmente al incremento de las lluvias. Posteriormente, estos microplásticos vuelven a la atmósfera gracias al viento [SRID21].

El viento constituye un modo de transporte para los microplásticos. Se ha comprobado que el verano monzónico del este asiático provoca el movimiento de estos desde Vietnam hasta China, a través de las Filipinas y Malasia. Además, se ha estudiado mediante el análisis de agua de lluvia en once parques naturales americanos, que el 98% de estas muestras de agua contenían microplásticos. Lo que induce a pensar que el principal problema de los microplásticos es su transmisión inevitable por el aire [SRID21].

Sin embargo, y a pesar del problema que representa, todavía no existen suficientes estudios que analicen la magnitud del problema. Esta es tal que se han encontrado microplásticos en

el Monte Everest, en su mayoría provenientes de fibras de ropa, según el estudio, debido al incremento del número de alpinistas [NAPP20]. Sin embargo, en la Figura 17, se demuestra cómo la contaminación mediante microplásticos parece difícilmente frenable, puesto que el proceso es continuo y global.

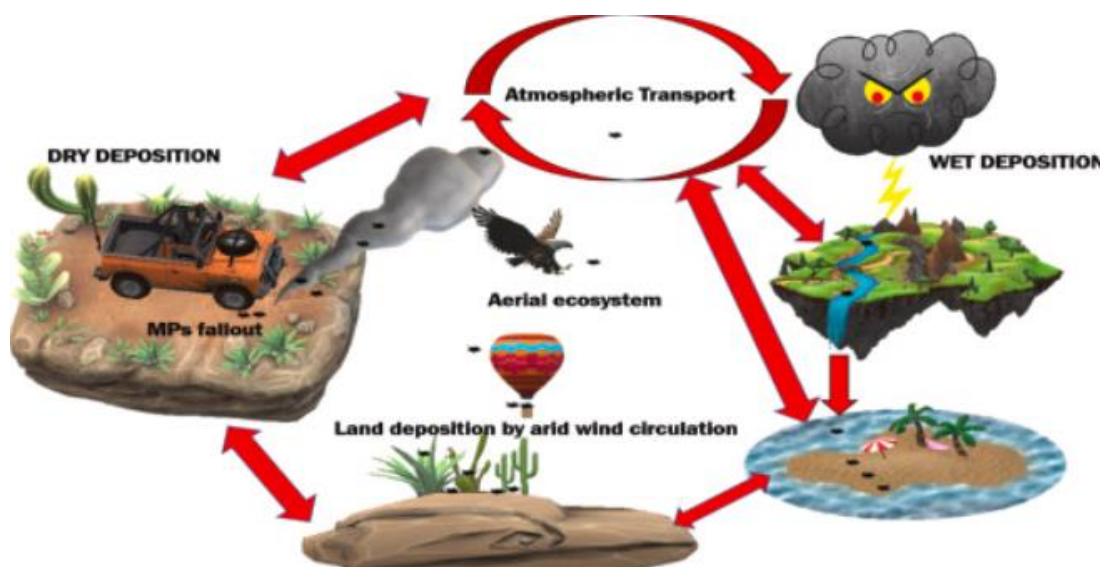


Figura 17: Transporte de microplásticos por medios aéreos y terrestres [SRIN21]

Actualmente, la demanda global de plástico supera los 245 millones de toneladas [ANDR11]. Esto es debido a su bajo coste, así como a características propias como su facilidad de utilización; a su ligereza; o a su acción como barrera antibacteriana, lo que a su vez ha incrementado un incremento en el uso como embalaje de comida y que ha conllevado a una popularización de los plásticos de un solo uso. Sin embargo, y a pesar del gran auge que este tema ha adquirido a lo largo de los años, todavía no se han establecido métodos generales para el estudio de la cantidad de microplásticos que pueden aparecer en los distintos medios terrestres.

3.5 *CÓMO FUNCIONA UNA SALINA COSTERA*

El proceso de extracción de la sal consta de varios procesos, cada uno de ellos imprescindibles que, junto a un conjunto de proporciones que se deben obtener en cada fase hacen de este trabajo uno laborioso y que precisa un cuidado extremo. A continuación, se muestra un esquema en la Figura 18 sobre el funcionamiento de una salina costera.

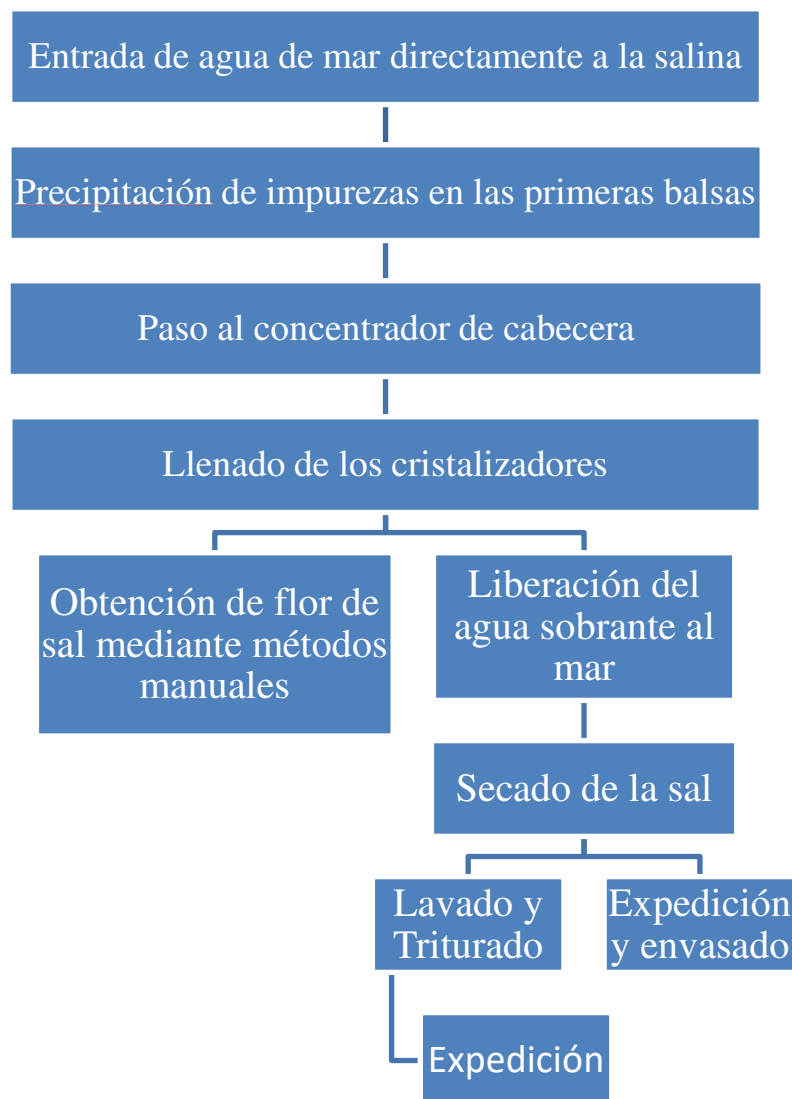


Figura 18: Esquema funcionamiento de una salina costera

El proceso parte del bombeo del agua procedente, en este caso, del mar, como se puede ver en la Figura 19. Así, esta agua bombeada llega a dos circuitos, cada uno con recorridos diferentes, para poder satisfacer las necesidades del mercado, según el tipo de sal requerida.



Figura 19: Balsas de una salina [BALL14]

Las primeras balsas son utilizadas para precipitar las impurezas que pueda contener el agua en forma de sólidos. Esta decantación se realiza hasta obtener una concentración igual a 70-80 gramos de sal por litro de agua. Estas balsas reciben el nombre de “almacenadoras”, al no realizar ninguna función más allá de la ya mencionada.

De este modo, el paso del agua por estas balsas aumenta la concentración de la sal, y se precipita gran parte del carbonato de calcio (CaCO_3) presente. Además, comienza la precipitación de sulfato cálcico (CaSO_4). Antes de pasar al siguiente tipo de balsas, la concentración deberá no ser superior a 300-325 gramos de sal por litro.

A continuación, el agua es bombeada al “concentrador de cabecera”. Estos concentradores son los encargados de llenar de salmuera de elevada concentración en sal los cristalizadores.

En los cristalizadores la concentración de sal es tan elevada que el volumen de agua inicial pasa a ser muy inferior. Por lo tanto, la superficie ocupada por los mismos dista mucho de la ocupada por las balsas iniciales. Sin embargo, son las balsas más importantes.

En los cristalizadores se debe realizar un control exhaustivo de todas las concentraciones, en ellos se precipita el cloruro sódico (NaCl). Este precipitado se forma en agregados cristalinos. Para que se dé esta precipitación, la concentración de la salmuera precedente debe ser de 325 gramos de sal por litro, y es muy importante, para evitar sabores amargos, que la concentración se mantenga por debajo de 370 gramos por litro (a superior concentración se precipitarán además $MgSO_4$ y $MgCl_2$). Por debajo de dicha proporción límite ya habrán precipitado, pero en una cantidad beneficiosa para la salud.

Una vez cristalizada en capas de entre 7 y 14 cm de grosor, se abren las compuertas, de modo que el agua sobrante pueda continuar su curso hacia el mar. Posteriormente, esta sal cristalizada se eleva mediante tractores y se amontona (Figura 20). A continuación, se centrifuga para liberar la humedad sobrante y, según la finalidad de la sal, continúa con procesos de lavado y triturado, o se expide tal cual.

Esta descripción hace referencia a las salinas mediterráneas. En el caso de las salinas atlánticas, la diferencia de altura entre la pleamar y la bajamar, y las condiciones climáticas cambiantes, fuerzan una forma de distinta de funcionamiento. En ellas, el agua entra gracias a la acción de las mareas, y su evaporación y almacenaje debe realizarse con rapidez antes de la siguiente pleamar [HUES17].



Figura 20: Sal amontonada [BALL14]

Todo este proceso se realiza aprovechando las condiciones meteorológicas óptimas de la zona. El sol es el encargado de evaporar el agua en las balsas para aumentar la concentración de esta en sal, y el viento se encarga de retirar este vapor de agua sobrante que se forma en la superficie de las balsas.

Además, existe otro tipo de sal, denominado flor de sal. Esta flor de sal debe extraerse de manera manual con redes y métodos especiales, debido a la fragilidad que presenta. Se forma en la superficie de la salmuera en las balsas cristalizadoras.

3.6 CÓMO FUNCIONA UNA SALINA DE INTERIOR

Asimismo, y aunque queden fuera de este estudio, cabe señalar el funcionamiento de una salina de interior. Estas salinas y, como su propio nombre indican, se encuentran en lugares alejados de la costa y, por lo tanto, del mar. Su funcionamiento se basa en la extracción mediante pozos (artificiales) o manantiales salinos (naturales) de agua dulce que, anteriormente, ha atravesado depósitos subterráneos de sal.

El proceso de obtención de la sal es inferior en tiempo y etapas al de las salinas costeras, debido a una concentración superior en sales. Sin embargo, un clima interior más extremo al costero, limitan la extracción de la sal a solo dos meses al año. El resto del año se almacena el agua extraída en concentradores y decantadores.

3.7 MICROPLÁSTICOS EN SAL

La unidad básica de medida en cuanto a proporción de microplásticos en un mismo producto es el número de microplásticos por kg de producto. De este modo, diversos estudios ya realizados en distintas salinas españolas determinan una proporción de $0,5-2,8 \cdot 10^2$ microplásticos por kg [ZHAN20]. Además, el estudio destaca una mayor proporción de microplásticos en salinas costeras que en salinas de interior, debiéndose fundamentalmente a la superior contaminación a la que están expuestas las zonas costeras.

Por otro lado, la aparición de estos microplásticos en las salinas no se muestra clara. Diversos estudios demuestran, mediante comparaciones geográficas, que la cantidad de microplásticos en sales provenientes de las costas chinas son superiores a aquellas provenientes de salinas en las costas españolas, relacionando esta diferencia con una mayor proporción de microplásticos en el océano Pacífico que en el mar Mediterráneo [IÑIG17]. Sin embargo, otros estudios demuestran que, dentro de España, no se detecta gran diferencia entre las salinas costeras, y las de interior, lo que induce a pensar que el problema es realmente atmosférico, y que estos microplásticos se propagan por el aire, y no por el agua, al ser el proceso de extracción de la sal un proceso que se realiza completamente a la intemperie [ESPI21].

Sin embargo, las variables que pueden alterar los resultados de las investigaciones son muy diversas. Desde la ubicación de las salinas, el envasado de la sal, el tipo de salina, o los métodos de medida utilizados en los laboratorios puede provocar grandes diferencias en las proporciones. Un estudio que analizaba las proporciones de microplásticos entre marcas

italianas envasadas en cajas de cartón, y marcas griegas envasadas en paquetes de plástico, muestras una diferencia importante. La proporción de microplástico para sal italiana resultó de 22 a 594 microplásticos por kg de sal, mientras que la de la sal griega, resultó de 13500 a 19800 microplásticos por kg. Sin embargo, finalmente, el estudio determinó que dicha diferencia se debía fundamentalmente a la proximidad de las salinas griegas a zonas de alta población con desembocaduras de ríos cercanas, y no al proceso de embalaje de la sal [RENZ18].

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

Como ya se ha tratado en el estado de la cuestión, la literatura científica sobre la aparición de microplásticos en medios acuáticos, terrestres y aéreos tiene una tendencia creciente y cada vez más acusada debido a la importancia que está adquiriendo la materia.

Los estudios analizados hacen un profundo análisis sobre la aparición de estos microplásticos en distintos ecosistemas, o en los productos de consumo final. Además, los resultados pueden llegar a ser muy variados, debido, fundamentalmente, a la no existencia de un método de análisis de microplásticos establecido y universal. De esta manera, cada investigador realiza el análisis con los métodos que el mismo crea convenientes o que se adapten a los medios disponibles, lo que conlleva a una gran cantidad de métodos de clasificación atendiendo a diversos criterios y no permite unificar y comparar distintos estudios.

Además, la literatura ya publicada trata, sobre todo, la sal como producto final, sin realizar hincapié en las fases para obtención de esta. De modo que las conclusiones extraídas no logran aportar una solución o conclusión objetiva, más allá de que, efectivamente, se detecta una presencia de estas partículas contaminantes en las sales, y que esta presencia varía según la proveniencia de la sal o, quizá, el método de envasado. Sin embargo y, volviendo al principio de la cuestión, estos resultados de investigaciones de orígenes diversos, se desconoce si varían debido a factores externos, o debido al uso de diversos métodos de análisis.

Por ello este proyecto se hace necesario, para poder establecer y fijar métodos base para el estudio de microplásticos y, con ello, obtener resultados objetivos que, además, debido al análisis por punto de muestreo, y no solo del producto final, permitirá responder cuestiones tales como si de verdad es un problema que presente una variabilidad geográfica o si existe

variación en cada etapa del proceso productivo de las salinas. Además, mediante el estudio de salinas de interior o abandonadas, se conocerá si la presencia de microplásticos se debe a factores como la proximidad a la actividad humana, o si se debe a una contaminación global del entorno.

4.2 OBJETIVOS

En este apartado, se establecerán, primero, los métodos principales de estudio de microplásticos para la investigación de microplásticos realizada por la Universidad Pontificia Comillas - ICAI, que representa el estudio de seis salinas de distinta proveniencia. Con ello y, aunque no se pretenda crear un método de estudio global, si se podrán establecer diferencias entre estas salinas, todas de distintas características, con la mejor precisión posible, dentro de la investigación llevada a cabo dentro de la universidad.

Además, se va a tratar la cuestión no desde un enfoque de estudio hacia el medio o producto final, si no que se pretende realizarlo estudiando cada fase de producción de la sal, estudiando la aparición de microplástico en cada balsa, para determinar diferencias entre las mismas y con ello poder extraer conclusiones que permitan hallar una solución totalmente acorde y fijada al problema existente.

Por último, se pretende realizar una comparación entre salina costera y salina de interior, para poder contestar preguntas y demostrar cómo se realiza el transporte de microplásticos. Es decir, si este se realiza por el aire o, en su contra, a través del mar u otros medios.

4.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, a partir de ahora, nombrados ODS, se establecieron en el año 2015 por las Naciones Unidas para establecer las pautas que la sociedad debe

cumplir para garantizar paz, prosperidad, igualdad, sostenibilidad y el fin de la pobreza antes del año 2030.

Estos son 17 y se basan en los recursos financieros y en la tecnología para llevarlos a cabo. Dentro de este trabajo de fin de grado se tratan de cumplir seis de ellos, explicados a continuación:

4.3.1 ODS 3. SALUD Y BIENESTAR



Para alcanzar la meta del desarrollo sostenible, este objetivo resulta imprescindible para Naciones Unidas. Como ya se ha explicado a lo largo de este documento, los microplásticos pueden causar en los seres vivos diversos problemas de salud, relacionados con su toxicidad, o en su capacidad de alcanzar la sangre o tejidos del cuerpo. Es por ello que, mediante este trabajo de identificación de microplásticos en salinas españolas y portuguesas, se busca aumentar el ámbito de investigación, para poder conocer qué zonas están más contaminadas y, dentro de una salina, si existe algún proceso en el que se pudiera evitar este problema.

4.3.2 ODS 6. AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO



De nuevo y en relación al punto anterior, lograr identificar donde el problema se hace más acuciante, y cómo se podría solucionar en los lugares más afectados por la contaminación

de microplásticos, así como por dónde se transmiten estos en su mayoría, lograría identificar métodos de obtener un agua limpia con el menor número de contaminantes posibles.

Además, como ya se ha demostrado en el apartado Estado de la Cuestión, parte del problema de microplásticos en el agua es provocado por una depuración insuficiente de aguas urbanas, industriales o agrarias. Por lo tanto, identificar el problema ayudará a buscar métodos de mejora en los lugares más críticos.

4.3.3 ODS 9. INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA



La innovación es precisa para poder resolver este problema, que se considera un problema nuevo. De este modo, estudiando de dónde proviene, dentro de una salina, la fase con mayor contaminación, se pueden desarrollar nuevas tecnologías que la impidan, o traten de reducirla.

No solo en el ámbito salinero, si no que la innovación se puede realizar en el inicio del problema, es decir, en el uso de este material. Ahora que se conocen los efectos nocivos que puede tener sobre los ecosistemas para todos los seres vivos, se deberían buscar materiales sustitutivos, o promover una nueva manera de consumo más responsable.

4.3.4 ODS 12. PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLE



Relacionado con el apartado anterior, no todo es buscar soluciones para el problema, intentando contaminar menos durante su proceso. Si no que se debería crear una moral de producción y consumo responsable para evitar la contaminación buscando maneras más sostenibles de adquirir productos.

Como ya se ha comentado, el consumo de plástico hoy en día asciende a 245 millones de toneladas anuales, para frenar este consumo que daña enormemente la salud humana y de otros seres vivos, se deben aunar innovaciones en materiales, junto con la creación de esta moral atenta a la sostenibilidad.

4.3.5 ODS 14. VIDA SUBMARINA



De nuevo, mediante el estudio de la aparición de salinas de distintos lugares dentro de la península ibérica, se puede detectar cuál de ellos está más contaminado para, posteriormente, tomar medidas oportunas en los mismos.

Además, mediante el desarrollo de tecnologías dentro de las salinas para frenar la entrada y la existencia de microplásticos en el proceso de extracción de la sal, se podrán desarrollar

nuevos métodos y tecnologías paralelas para frenar la entrada de estos a los medios acuáticos, que tienen parte de su origen en depuradoras de aguas urbanas.

Esto permitiría solventar en parte la contaminación a la que se encuentra sometida el medio acuático que, con diversos estudios ya comentados a lo largo del proyecto, se ha demostrado que se encuentra en un estado avanzado y perjudicial para la salud.

4.3.6 ODS 15. VIDA DE ECOSISTEMA TERRESTRES



Relacionado con la vida submarina, como se van a estudiar salinas de interior dentro de la península ibérica, se podrá detectar si este problema afecta o no solo al medio acuático. Dentro del medio terrestre, se conocerá si estas salinas (en un caso abandonada) se encuentran contaminadas o no, lo que significar una contaminación acuciante en el entorno de esta, en el aire, o en el agua subterránea de la que se extrae esta sal.

Puesto que ya se ha demostrado que la literatura científica sobre la contaminación en el medio terrestre es escasa, aumentarla y demostrar que es un tema de verdadera importancia actual y medioambiental, lo hará más visible lo que desembocará en medidas necesarias para frenar esta contaminación.

Capítulo 5. METODOLOGÍA

Como ya se ha explicado, este trabajo constituye una continuación al trabajo presentado por Cristina Espinosa de los Monteros López “Detección de microplásticos en salinas de España y Portugal” y, por lo tanto, se utilizarán las mismas metodologías ya nombradas y explicadas en dicho trabajo.

De este modo y como para la realización de este trabajo ya se contaba desde un inicio con las muestras extraídas, no se explicará la metodología de extracción de las muestras, si no que se procederá al análisis directo sobre ellas.

Primero y para comprender el rumbo de la investigación, se va a explicar el código utilizado durante el desarrollo de la misma. Posteriormente, se explicará el método para la medida de los microplásticos de las muestras, y se explicará la metodología usada para el estudio de los mismos y poder obtener resultados concluyentes.

5.1 MUESTRAS ANALIZADAS

Las muestras obtenidas dentro de una salina corresponden a todas las etapas que una salina tradicional puede albergar, aunque no siempre en todas las salinas se encontrarán todas ellas. A continuación, se enumeran y se indica su traducción al inglés, ya que será el idioma utilizado al registrar los datos. Además, en la Figura 21 se muestra un esquema enumerado con la ubicación de cada punto de muestra en una salina costera.

1. Boca de entrada a la salina (mar o estuario) / manantial (salmuera).
Entrance to the salinat (sea or estuary) / spring (brine).
2. Entrada a concentradores (salmuera).
Entrance to concentrators (brine).
3. Entrada a cristalizadores (salmuera).

- Inlet to crystallizers (brine).*
4. Salida de cristalizadores (aguas madre).
Outflow from crystallizers (mother liquor).
 5. Sal cristalizada en los cristalizadores (sal gruesa y flor de sal*).
Crystallized salt in crystallizers (coarse salt and fleur de sel)
 6. Sal lavada (cuando sea el caso) (sal gruesa).
Washed salt (when applicable) (coarse salt).
 7. Sal apilada durante al menos 6 meses (cuando sea el caso) (sal gruesa).
Stacked salt for at least 6 months (when applicable) (coarse salt).
 8. Sal envasada durante la cosecha (sal gruesa y flor de sal*.)
Salt packed during harvesting (coarse salt and fleur de sel).
 9. Sal envasada más de 6 meses (sal gruesa y flor de sal*.)
Salt packaged for more than 6 months (coarse salt and fleur de sel).

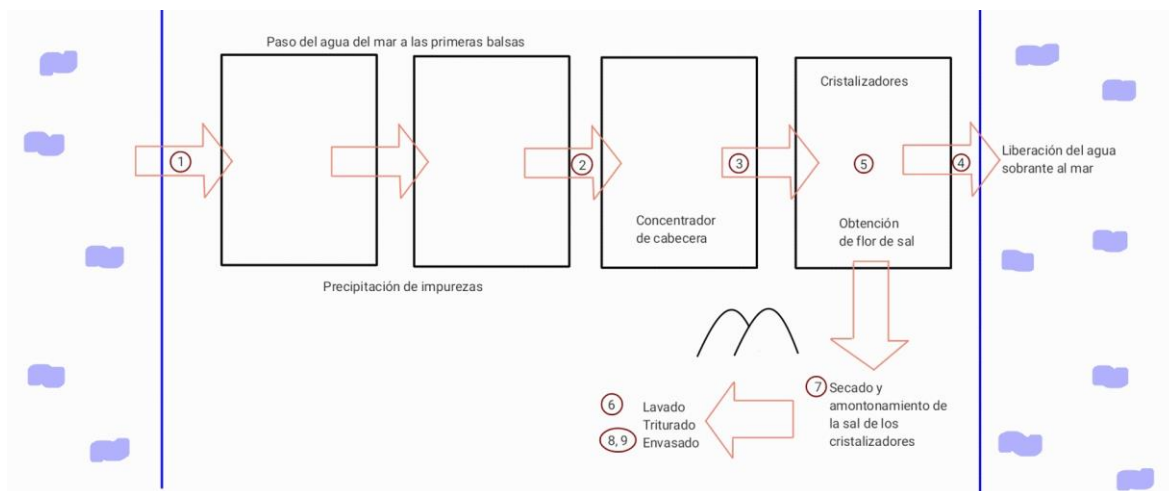


Figura 21: Esquema enumerado sobre la ubicación de cada punto de muestra en la salina
[Elaboración propia]

Además, de cada punto de muestreo, se van a obtener varias réplicas:

- i. Primera réplica de cada punto de muestreo.

- ii. Segunda réplica de cada punto de muestreo.
- iii. Tercera réplica de cada punto de muestreo.

Dentro del estudio de las fibras, estas se van a distinguir según su color o tamaño.

Distribución según color:

- Negro.
Black.
- Azul.
Blue.
- Marrón.
Brown.
- Verde.
Green.
- Rojo.
Red.
- Transparente.
Transparent.
- Blanco.
White.
- Amarillo.
Yellow.

Según tamaño, existen los rangos:

- $< 6,3 \mu\text{m}$
- $6,3 - 20 \mu\text{m}$
- $20 - 63 \mu\text{m}$
- $63 - 200 \mu\text{m}$
- $200 - 630 \mu\text{m}$
- $630 \mu\text{m} - 5 \text{mm}$

Sin embargo, no se nombrará en ningún momento el nombre o ubicación precisas de las salinas estudiadas, debido a que esta información es de naturaleza confidencial. Aunque sí se podrá realizar referencias sobre el estado de la salina, activo o abandonado, así como si es de interior o costera. Del mismo modo, se podrán nombrar características generales sobre su ubicación geográfica, por ejemplo, si se encuentran o no en un espacio natural protegido.

Todas ellas comparten como característica principal que se tratan de salinas que extraen la sal mediante métodos tradicionales.

5.2 MEDICIÓN DE MICROPLÁSTICOS

Una vez obtenidas las muestras, la metodología llevada a cabo para medir, contar y determinar las características fundamentales de los microplásticos consiste en su análisis mediante el microscopio DSX1000. Así, gracias a una plantilla creada en forma de hoja de toma de datos, se cuantifica el número de microplásticos junto a sus características principales.

En aquellas muestras ya analizadas, el proceso seguido ha consistido en medir los microplásticos de las fotos mediante el software IC Measure.

Una vez obtenidos los datos, estos se han registrado en una plantilla realizada en Excel, que a su vez realiza gráficas que facilitan el estudio de los mismos, organizando en grupos como el tamaño o el color de los microplásticos. Se adjuntan los resultados en los Anexo I, II, III, IV, V, VI.

5.3 COMPARACIÓN MEDIANTE PROPORCIONES

Cuando se trata de realizar un análisis comparativo en un ámbito como el presente en el cual el número de muestras obtenidas depende de diversos factores tales como el estado de la

instalación que se va a estudiar, la pretensión de las organizaciones encargadas de explotar las instalaciones para proveer de muestras, o, entre otros, el tipo de producto final que se obtiene a partir de la labor artesanal, provoca que realizar comparaciones sobre números no resulte la manera más acertada para llevar a cabo el estudio de los datos.

Por ejemplo, en el presente estudio sobre salinas de la península ibérica, en cada salina se han obtenido números muy dispares en cuanto a la cantidad de microplásticos. Mientras que en la salina A, la cantidad total alcanza los 1447 microplásticos, en la salina H, esta es de 741 microplásticos, es decir, un 51,21% de la salina A. Esta diferencia puede deberse, efectivamente, a que la salina A se presente más contaminada, o a que de ella se ha obtenido muestras de un mayor número de puntos de control.

Por lo tanto, a la hora de comparar la cantidad de microplásticos en las etapas de las distintas salinas, se ha determinado que la comparación entre distintas salinas no se realizará contando el número de microplásticos en cada punto de muestreo de cada salina, si no la proporción de microplásticos presente en cada punto de muestreo en relación con la cantidad de microplásticos presente en la totalidad de las etapas.

Para ello y para que el resultado no se presente determinado según el producto final obtenido, se van a dividir los puntos de muestreo en dos grupos fundamentales:

1. Grupo de producción: en este grupo se analizarán aquellas etapas presentes en todas las salinas y que forman parte del proceso productivo. La comparación de este se realizará fundamentalmente atendiendo a proporciones. Forman parte de este los puntos de muestreo 1, 2, 3, 4 y 5.
2. Grupo de consumo: en este grupo, debido a que cada salina provee de distintos tipos de sal, o de ninguno, se analizarán números de microplásticos. Constituido por los puntos de muestreo 6, 7, 8 y 9.

5.4 RESUMEN DEL PROCESO

Así, en la Figura 22 se muestra un esquema sobre la metodología llevada a cabo para este trabajo.



Figura 22: Esquema resumen metodología [Elaboración propia]

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras haber analizado todas las muestras disponibles que, no son todas en todas las salinas las mismas, debido fundamentalmente a que se tratan de salinas artesanales, industriales o semi-industriales y, por lo tanto, cada una realiza las etapas de manera distinta. Además, cabe recordar que algunas de las salinas estudiadas se encuentran en actual estado de abandono, lo que imposibilita obtener muestras en algunas etapas de ellas que no se encuentran en funcionamiento, debido, sobre todo, a que no existe trasvase de agua entre unas balsas y otras. Es por ello que el agua subterránea estudiada en ellas en realidad será siempre la misma.

Este fenómeno característico de las salinas abandonadas se puede reconocer al realizar un análisis sobre los puntos estudiados en cada salina. Mientras que las salinas A y B (activas), por ejemplo, reciben muestras en cada punto de muestreo, no ocurre así con la salina E, actualmente abandonada, en la que tan solo se han obtenido muestras de los tres primeros puntos de muestreo.

A continuación, se realizará un análisis de las muestras obtenidas en cada punto de muestreo para poder establecer qué salinas o etapas son comparables entre ellas y, con ello, obtener conclusiones fiables.

- En cuanto a la **salina A**, costera activa de tipo tradicional que funciona en la actualidad a pleno rendimiento, se han estudiado muestras de todas las etapas de la actividad salinera tradicional, desde el punto de muestreo 1, hasta la 9.
- En la **salina B**, igual que la anterior, costera activa y funcionando a pleno rendimiento, las muestras obtenidas pertenecen a los puntos de muestreo 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 8 (sin flor de sal) de la actividad salinera tradicional.
- En lo referente a la **salina E**, en este caso salina de interior en estado abandonado, las muestras obtenidas proceden de los puntos 1, 2 y 3. Debiéndose principalmente a

que los demás consisten fundamentalmente en estudiar sal envasada, o pertenecen a etapas para las cuales debe existir un trasvase del agua.

- De la **salina F**, de interior y activa, funcionando a pleno rendimiento, se han extraído muestras de los puntos 1, 2, 3, 5, 7 y 9.
- De la **salina G**, similares características que la salina F, se han obtenido muestras de los puntos 1, 2, 3, 6 y 8.
- En cuanto a la **salina H**, costera activa, solo se han obtenido muestras de los puntos 1, 2, 3 y 9. De esta salina no se han obtenido muestras de numerosos tipos de sal envasada debido a que la finalidad de esta no es tanto su explotación económica, si no su estudio como salina tradicional.

Así, una vez analizadas las etapas de las cuales se han obtenido muestras, se resume la información en la Tabla 1, para simplificar la lectura y comprensión de los datos.

	Puntos de Muestreo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Salina A	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Salina B	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No
Salina E	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No	No
Salina F	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Salina G	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No
Salina H	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No	Sí

Tabla 1: Información muestras por puntos de muestreo

De la tabla se extrae que la salina más completa para su estudio es la salina A, debido a que presenta muestras en todos los puntos. De este modo en el presente apartado se va a realizar

un estudio completo de la salina A, identificando cuáles son las etapas más propensas a la aparición de microplásticos. Posteriormente, se va a comparar el resultado de la salina A con el resto de las salinas para comprobar si es un fenómeno común a todas, o si varía con respecto a la salina y, por lo tanto, consiste en un fenómeno dependiente de más variables que se analizarán (si es de interior, de qué mar se extrae, si es zona turística, etc.). También se va a realizar un análisis entre las diferencias de las salinas de interior con las costeras. Por último, se pretende realizar un análisis de la salina abandonada, para detectar posibles diferencias con respecto a las demás y determinar así si la presencia de microplásticos se debe a la actividad o no de la misma.

6.1 ESTUDIO DE LA SALINA A

A continuación, se realiza el análisis de la salina A. Esta se caracteriza por ser la salina más completa de todas las analizadas, ya que se tienen muestras de todos los puntos de muestreo que corresponden al estudio. Se trata de una salina costera tradicional y actualmente activa. Una vez analizadas todas las muestras de la misma, se crea la siguiente gráfica, mostrada en la Figura 23, para obtener una mejor comprensión de las diferencias entre etapas y puntos de control.

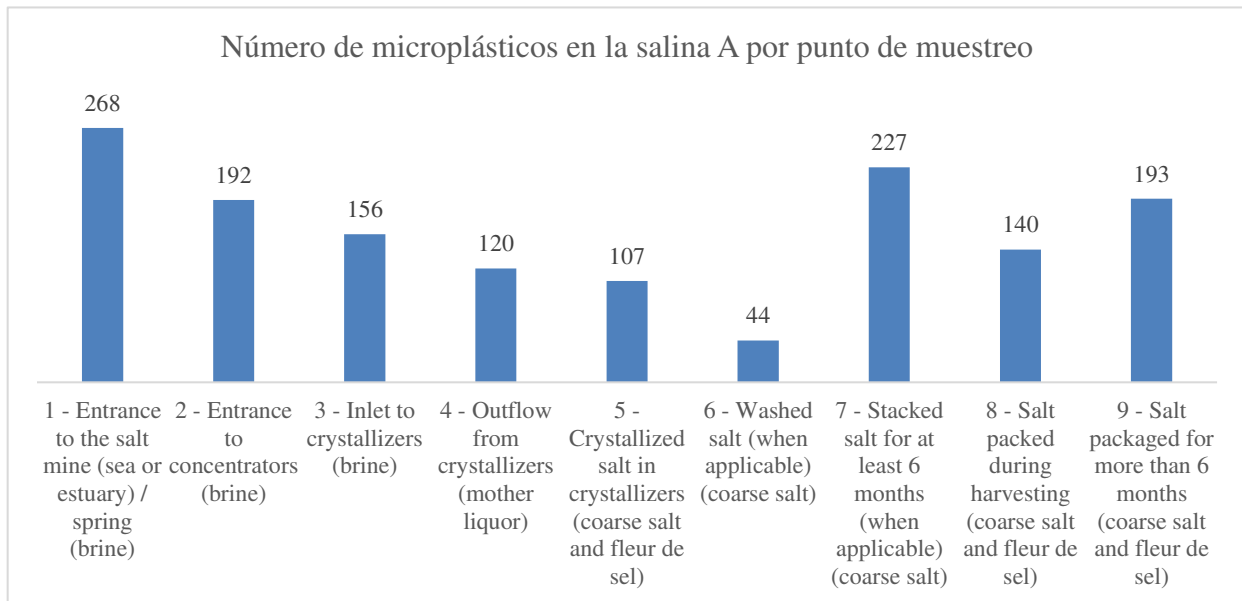


Figura 23: Puntos de muestreo 1 - 9 Salina A [Elaboración propia]

En ella se distinguen dos comportamientos principales en cuanto a número de microplásticos se refiere. Primero, la tendencia de la gráfica es decreciente según el agua se evapora y circula de una balsa a la siguiente. Destaca el punto de muestreo 6, referido a sal lavada, como el punto con menos microplásticos. En contra a este punto, los puntos 1 y 7 se constituyen como aquellos con mayor número de microplásticos. El punto 1 es la primera balsa, el punto 7 es sal apilada durante 6 meses.

6.1.1 GRUPO DE PRODUCCIÓN

Como ya se indicó en el anterior apartado, se va a realizar un análisis tanto del grupo de producción, como del grupo de consumo. De este modo, en la Figura 24 se muestra una gráfica con la cantidad de microplásticos encontrados en los cinco primeros puntos de muestreo.

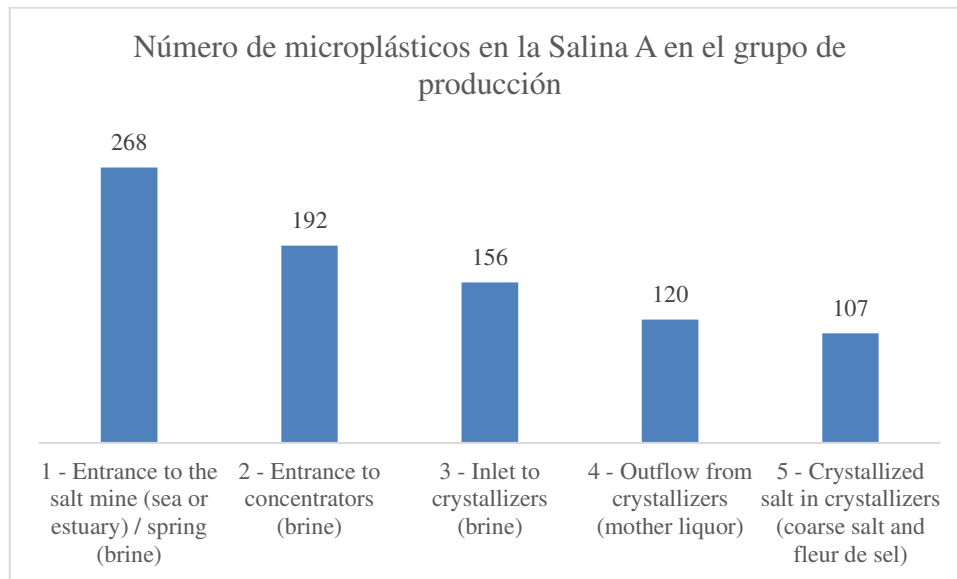


Figura 24: Grupo de producción Salina A [Elaboración propia]

Como se puede comprobar, y como se había indicado con anterioridad, la tendencia de la gráfica es decreciente. Esto es, según avanza el agua a través de las distintas balsas, la cantidad de microplásticos se hace menor. Esto puede deberse, fundamentalmente, a una deposición de los microplásticos en el fondo de las balsas, según se evapora el agua.

6.1.2 GRUPO DE CONSUMO

A continuación, se analiza el segundo grupo, denominado grupo de consumo. En la Figura 25 se muestra una gráfica que indica la cantidad de microplásticos encontrados en los puntos de muestreo del 6 a la 9.

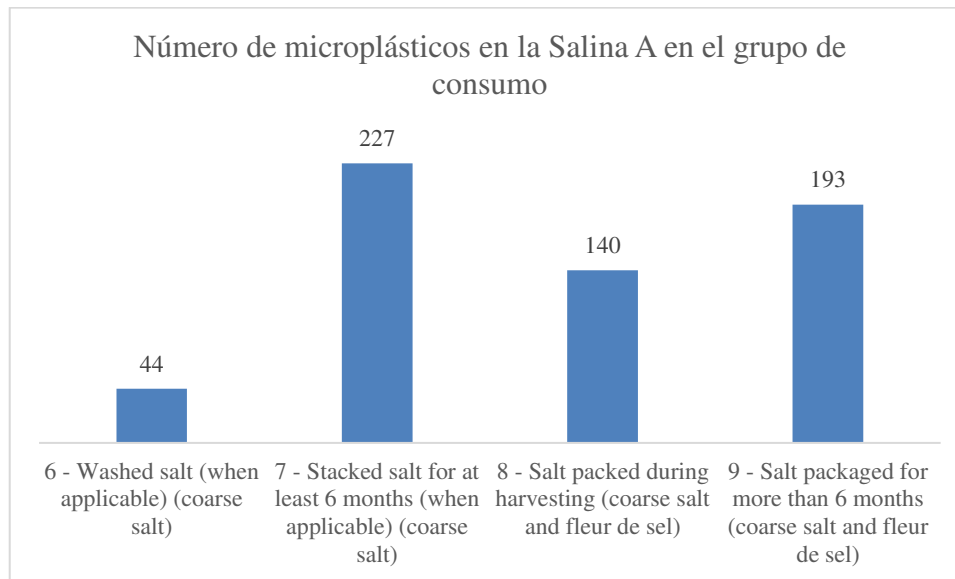


Figura 25: microplásticos en la Salina A grupo de consumo [Elaboración propia]

Se comprueba cómo la sal lavada es aquella con menor presencia de microplásticos, esto puede deberse fundamentalmente a la limpieza de estos durante esta etapa de lavado. En cuanto a los demás puntos de muestreo, destaca como el más contaminado el punto 7, consistente en sal apilada a la intemperie durante seis meses. Mientras, el segundo punto con menor número es la sal envasada durante la cosecha, el tercero, sal envasada seis meses después de la cosecha. Esto denota que los procesos de embalaje de la sal provocan un aumento considerable en el número de microplásticos que contiene la misma. Mientras, apilar la sal a la intemperie durante seis meses es el fenómeno más perjudicial en cuanto a la contaminación por microplásticos.

6.1.3 ANÁLISIS SOBRE LOS COLORES DE LOS MICROPLÁSTICOS

A título informativo, en la Figura 26 se estudian también los colores de los microplásticos predominantes de los microplásticos encontrados. Aunque en este caso no se va a realizar un estudio exhaustivo de los resultados, puesto que queda fuera del objetivo de este proyecto.

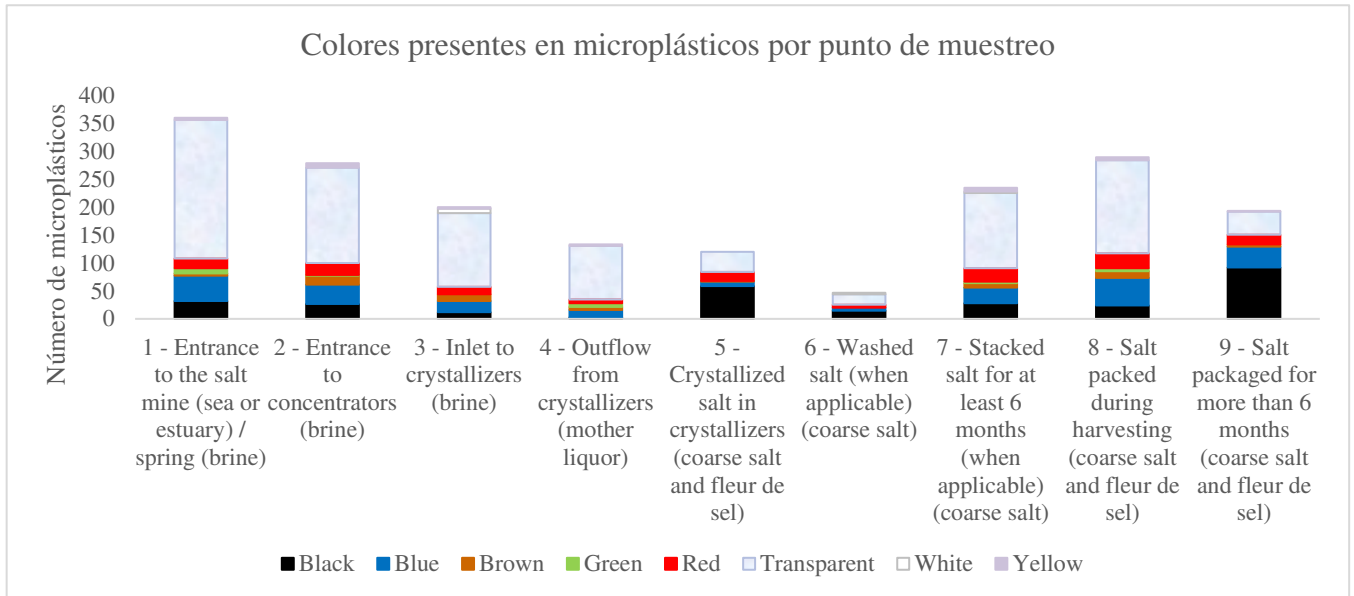


Figura 26: colores presentes en microplásticos por puntos de muestreo en la Salina A

[Elaboración propia]

Así, se destaca que los microplásticos transparentes son los más presentes en la salina A. Un análisis más profundo de estos resultados puede ser importante para obtener conclusiones sobre la procedencia de los microplásticos y así conocer posibles soluciones. Por ejemplo, se podría llegar a la conclusión de que la mayoría de estos provienen de la ropa de los salineros, o de los sacos en la que se guarda antes del envasado final. Además, en esta salina en concreto se accede a los cristalizadores con vehículos, lo que puede afectar a la contaminación mediante fibras negras provenientes del caucho de los neumáticos.

6.1.4 ANÁLISIS SOBRE EL TAMAÑO DE LOS MICROPLÁSTICOS

Por otro lado, y para determinar si existe relación entre el número de microplásticos presentes en cada punto de muestreo y el tamaño de estos, se muestra en la Figura 27 una gráfica con información sobre el tamaño de los mismos distribuidos en rangos.

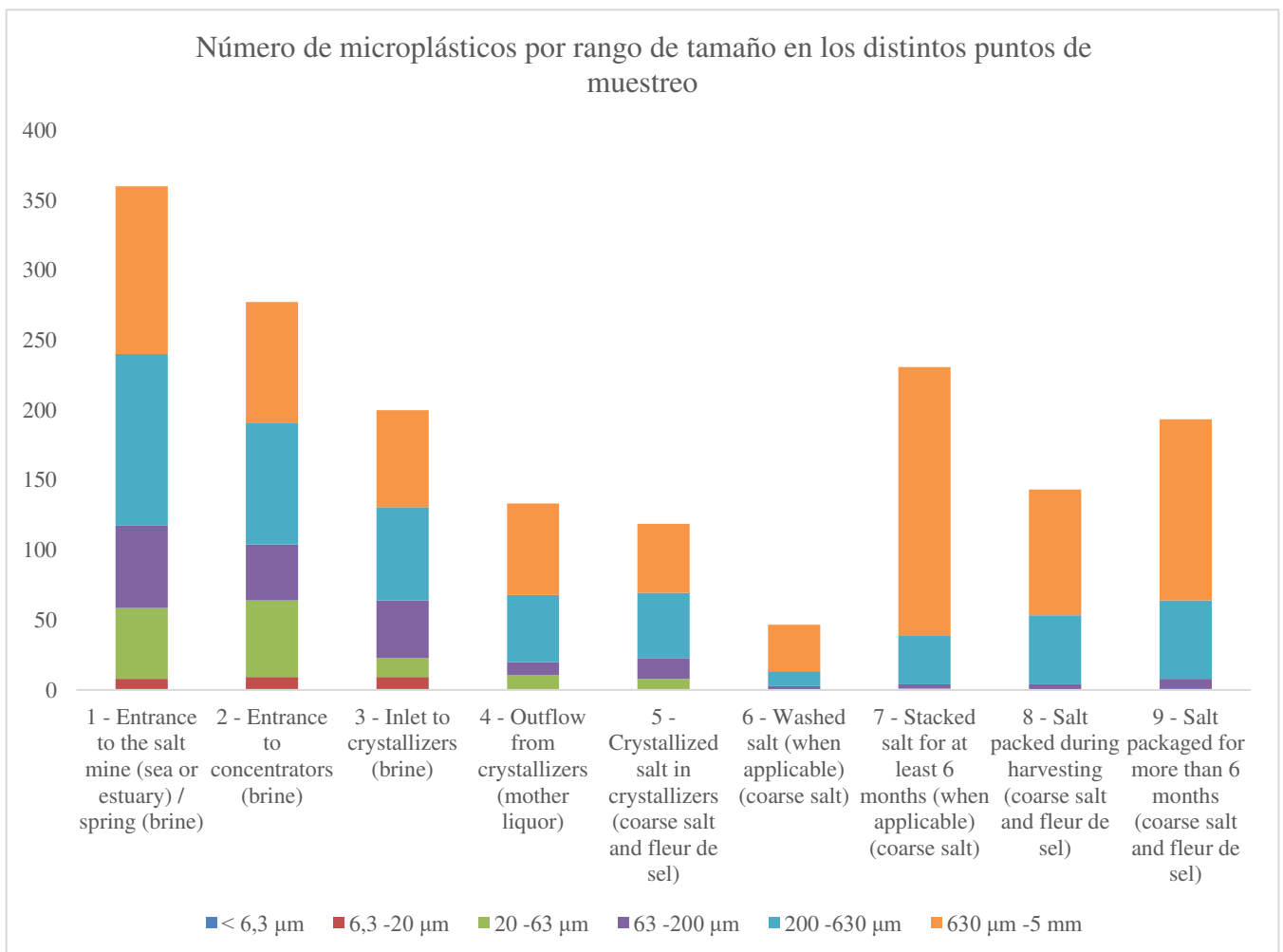


Figura 27: Proporción de microplásticos por rango de tamaño en los distintos puntos de muestreo de la Salina A [Elaboración propia]

Atendiendo a la información proporcionada por el gráfico, se puede comprobar cómo existe una tendencia decreciente en cuanto a la aparición de microplásticos entre el rango de 20-63 micrómetros, llegando casi a desaparecer en el punto de muestreo 6. Para realizar un estudio

más exhaustivo sobre este resultado, se muestra en la Figura 28 una gráfica solo con el número de microplásticos encontrados atendiendo a estas características.

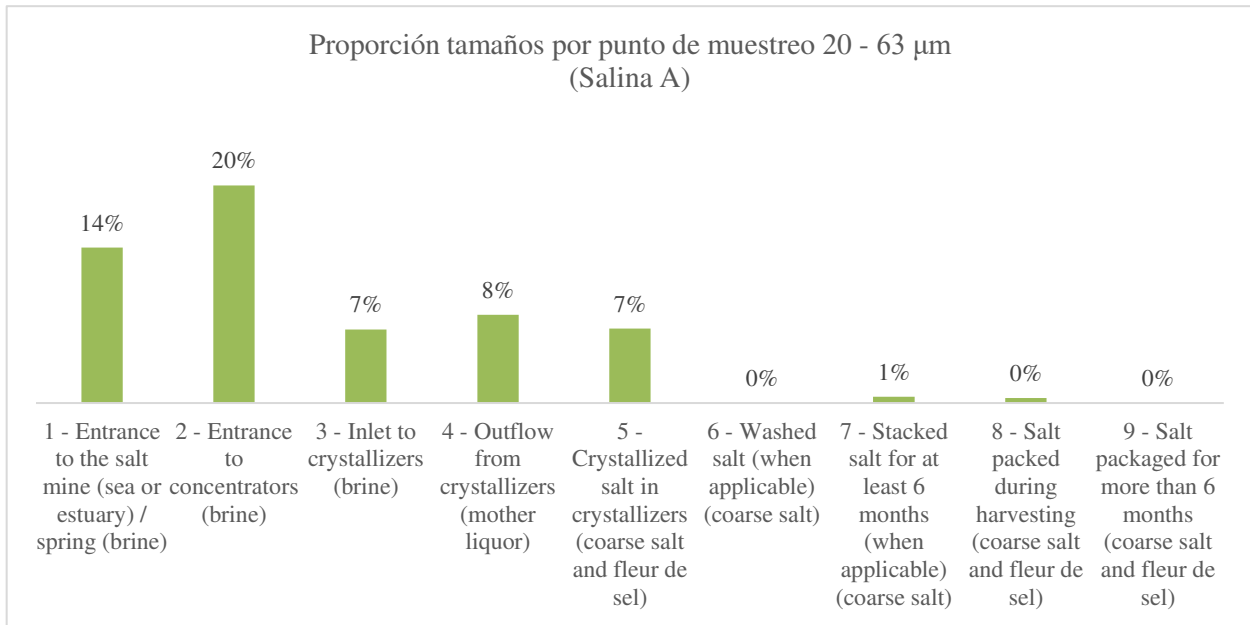


Figura 28: Proporción de microplásticos presentes del rango 20 - 63 μm por punto de muestreo en la Salina A [Elaboración propia]

Así, ocurre un fenómeno parecido para el rango comprendido entre 63-200 micrómetros, viéndose de nuevo casi desaparecido para los últimos puntos. Se muestra, del mismo modo, en la Figura 29.

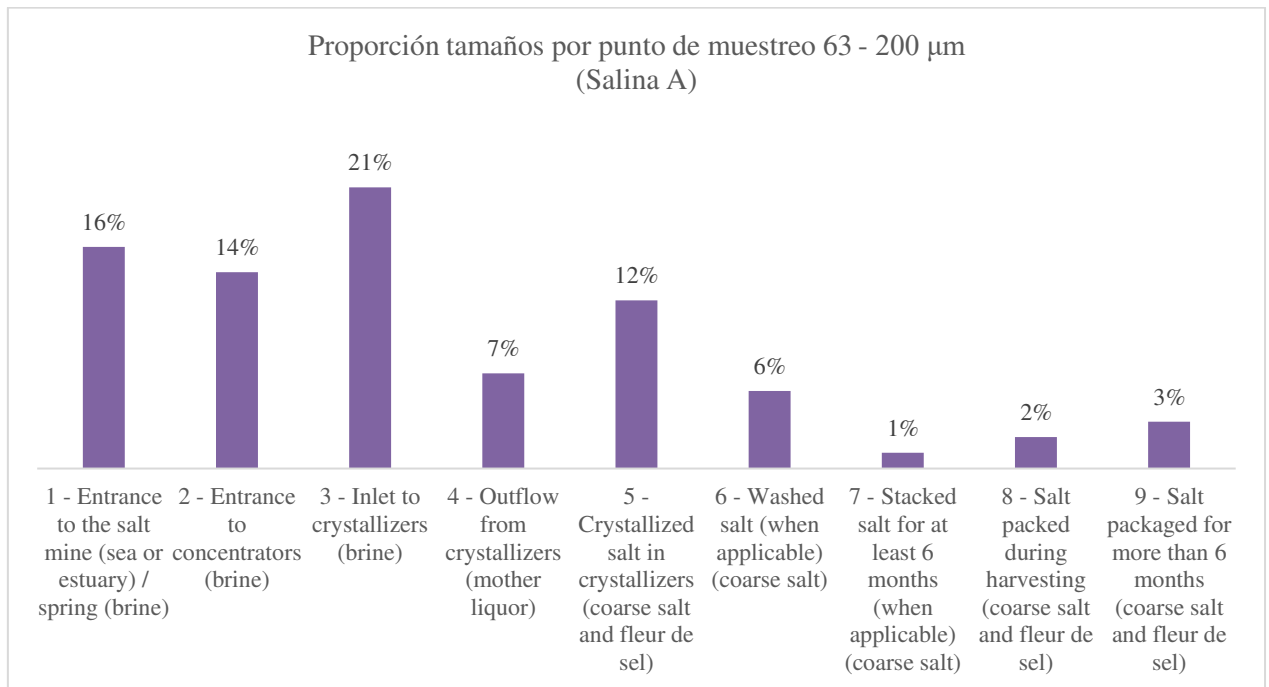


Figura 29: Proporción de microplásticos presentes del rango 63 - 200 μm por punto de muestreo en la Salina A [Elaboración propia]

En cuanto al rango 630-5000 micrómetros, estudiado en la Figura 30, el efecto varía mucho según el grupo. Mientras en el grupo de producción (puntos 1 – 5) la tendencia parece ser ligeramente creciente, el grupo de consumo (puntos 6 – 9), se aprecia como el paso del tiempo no incrementa notablemente el número de ellos.

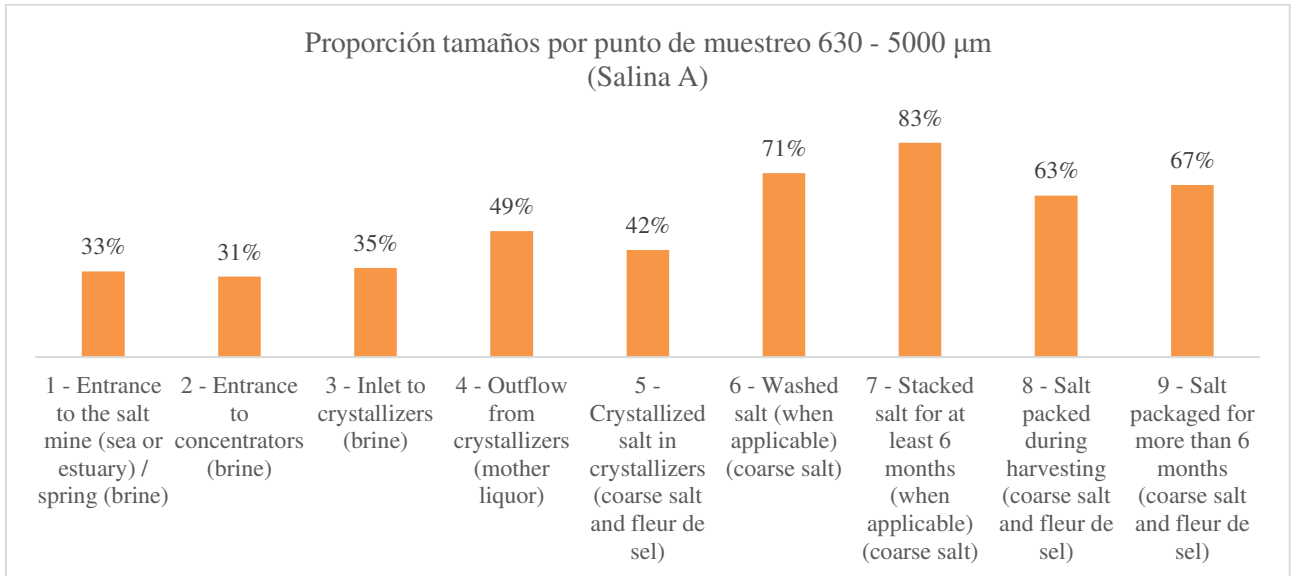


Figura 30: Proporción de microplásticos presentes del rango 630 - 5000 μm por punto de muestreo en la Salina A [Elaboración propia]

En cuanto al rango comprendido entre 200 y 630 micrómetros, no parece que existan grandes diferencias en cada punto, excepto para el 6 y el 7, como se puede apreciar en la Figura 31. manteniéndose el número aparentemente constante a lo largo del proceso productivo y de consumo.

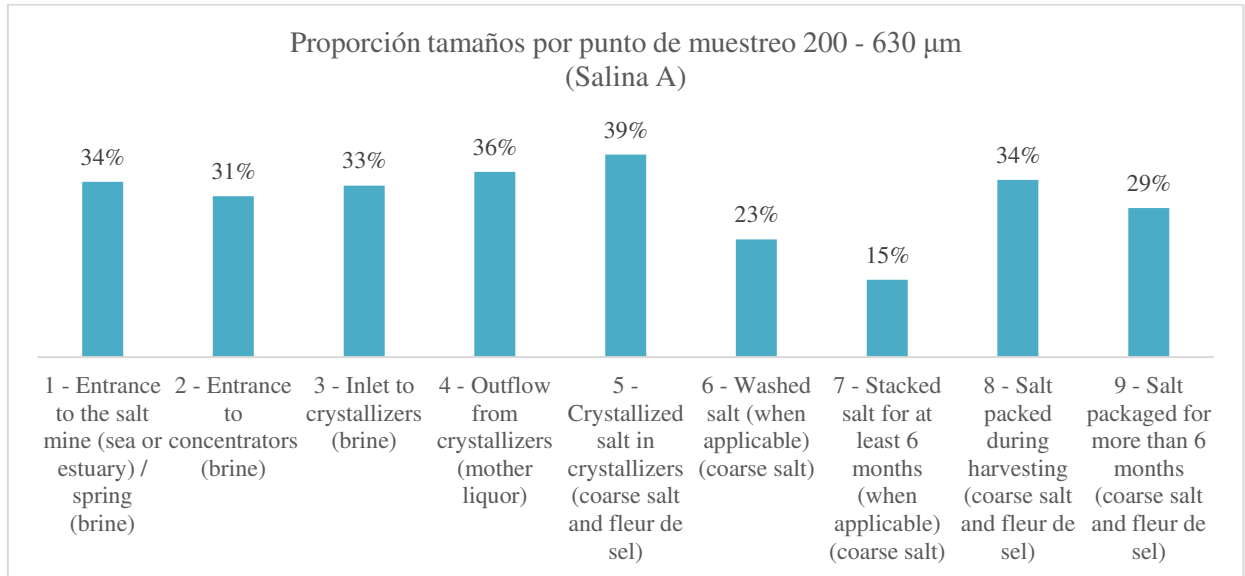


Figura 31: Proporción de microplásticos presentes del rango 200 - 630 μm por punto de muestreo en la Salina A [Elaboración propia]

6.2 COMPARACIÓN PUNTOS DE MUESTREO DE DISTINTAS SALINAS

A continuación, para detectar si lo estudiado anteriormente consiste en un caso aislado, o si se puede definir como un patrón que se repite en todas las salinas estudiadas, se va a realizar un análisis conjunto diferenciando entre los grupos de producción y consumo.

6.2.1 GRUPO DE PRODUCCIÓN

Como se ha podido comprobar en la Tabla 1, los puntos 1, 2 y 3 son los únicos comunes a todas las salinas estudiadas y, por lo tanto, se va a realizar el análisis a partir de ellos. De este modo, en la Figura 32, se muestra una gráfica que muestra las proporciones de microplásticos en cada punto de muestreo con respecto al resto de puntos de producción para cada salina.

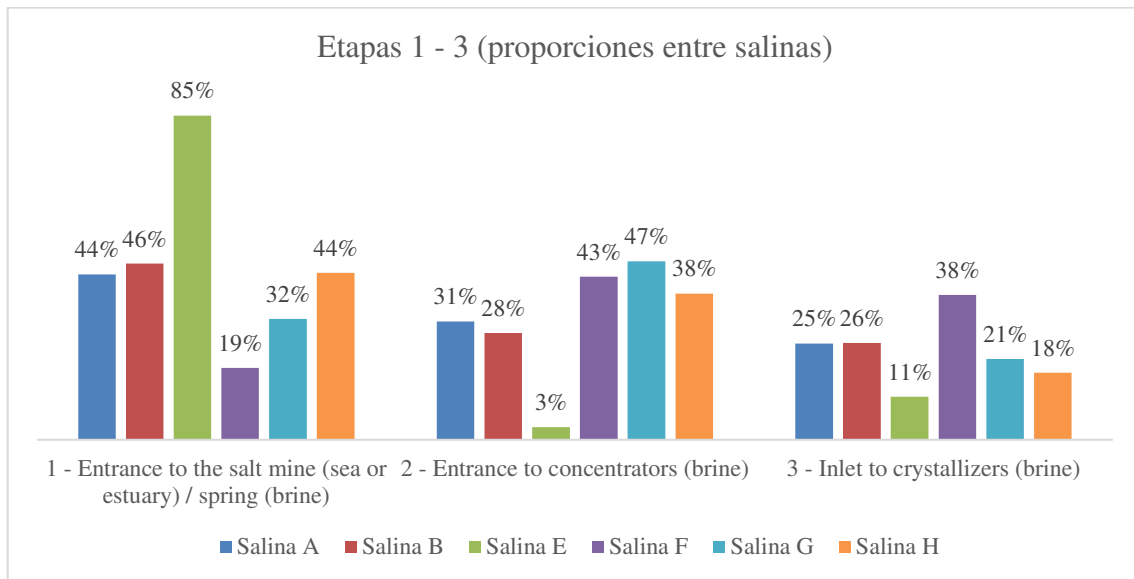


Figura 32: grupo producción (todas las salinas) [Elaboración propia]

Como se puede comprobar mediante un análisis visual de la gráfica, la salina E destaca sobre las demás. En ella, la mayoría de microplásticos aparecen en el primer punto de muestreo. Sin embargo, este fenómeno lo estudiaremos en apartados próximos. Al tratarse de una salina abandonada, se excluye de este análisis para estudiar solo las salinas activas. Así, en la Figura 33 queda producida dicha exclusión.

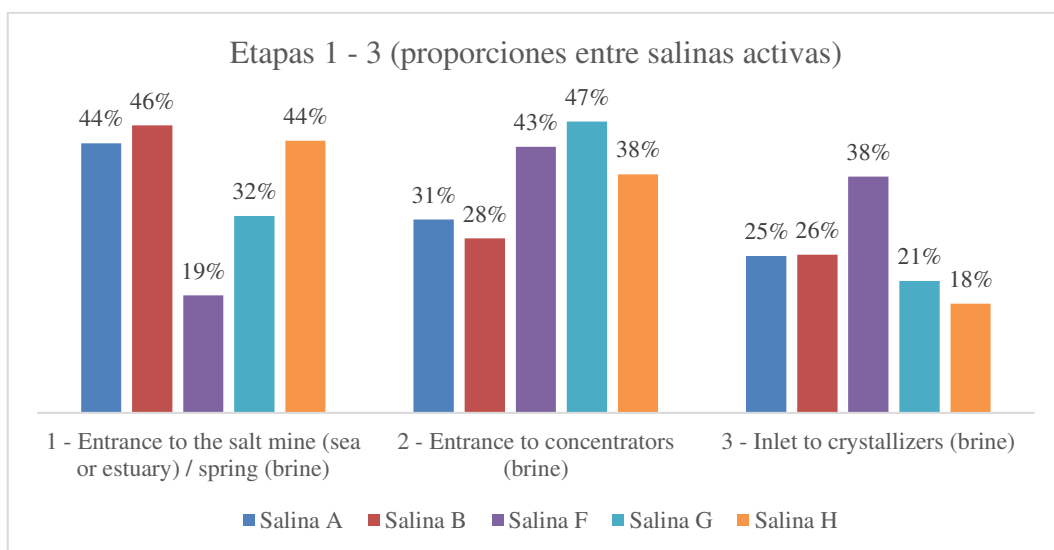


Figura 33: Grupo producción Salinas A, B, F, G y H (activas) [Elaboración propia]

Ahora, destaca sobre las demás la salina G y la salina F. Las salinas F y G son salinas de interior, mientras que el resto son salinas costeras. De nuevo, su análisis se realizará posteriormente en profundidad. Para poder buscar similitudes entre salinas, se va a excluir y a estudiar solamente salinas costeras y activas, como puede comprobarse en la Figura 34.

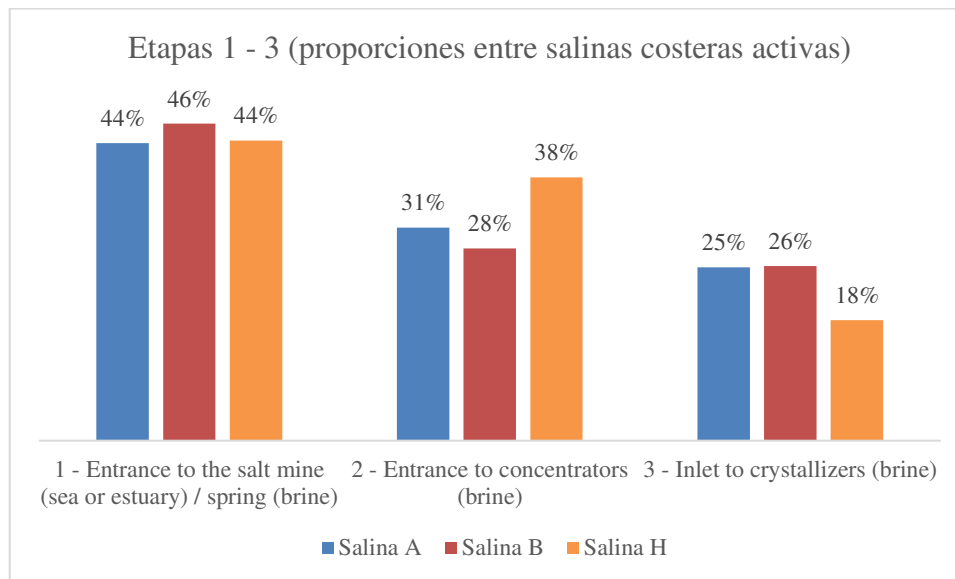


Figura 34: Grupo producción Salinas A, B y H (costeras) [Elaboración propia]

Ahora, las salinas representadas forman todas partes del mismo grupo. Como se puede comprobar, en todas se aprecia una tendencia decreciente en cuanto al número de microplásticos por punto de muestreo. Por lo tanto, podemos definir que existe relación, para salinas costeras activas, entre la etapa de la actividad salinera, y el número de microplásticos presentes en las muestras de cada una.

Una vez determinada esta similitud entre puntos de muestreo para distintas salinas, cabe estudiar si existe también para el tamaño de los microplásticos encontrados y, aunque no sea objetivo de estudio, si existe también relación con el color de los microplásticos.

Para realizar una comparación entre el tamaño de los microplásticos para las salinas A, B y H, y así poder determinar posibles similitudes o diferencias, o determinar si existe un patrón, se representa en la Figura 35 la proporción de microplásticos de un rango de tamaño con

respecto a la totalidad de ellos para cada punto de muestreo en la Salina A, en la Figura 36 se representa lo propio para la Salina B, y en la Figura 37 para la salina H.

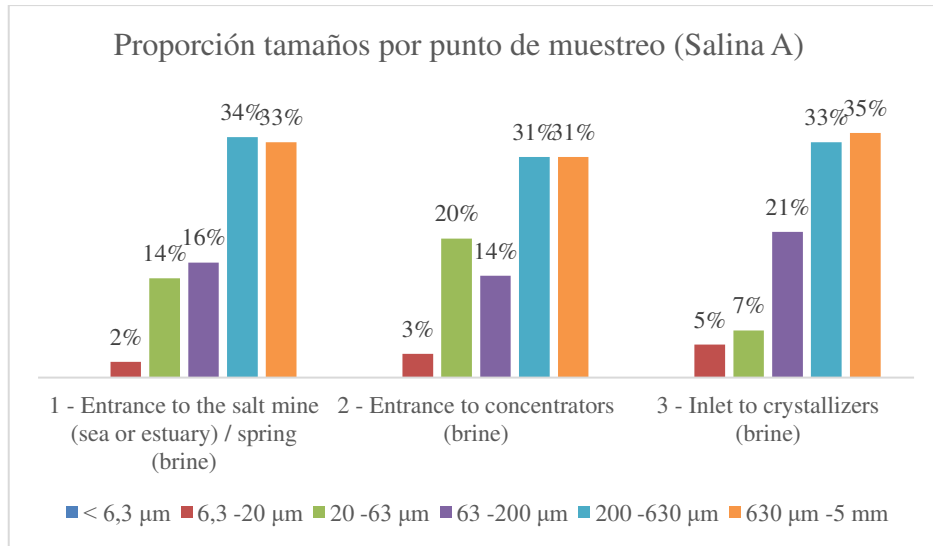


Figura 35: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina A) [Elaboración propia]

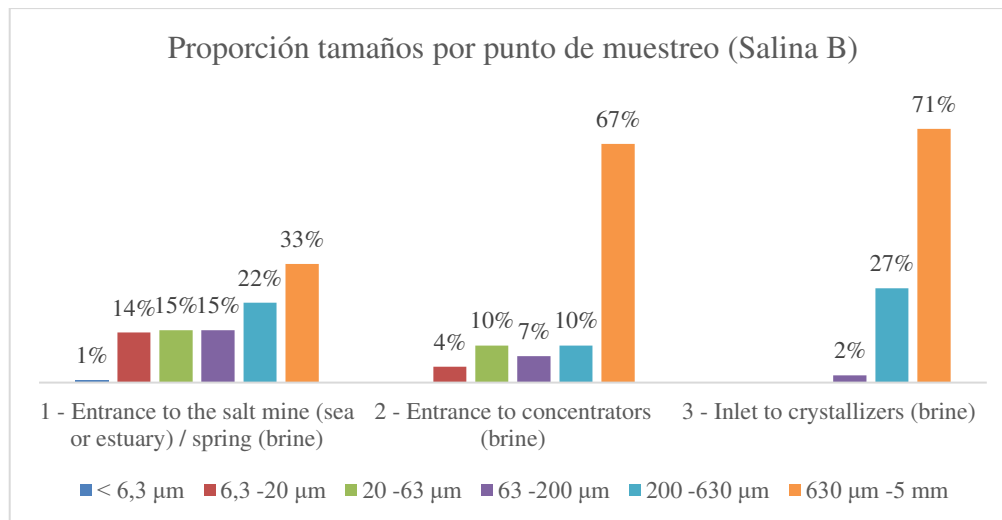


Figura 36: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina B) [Elaboración propia]

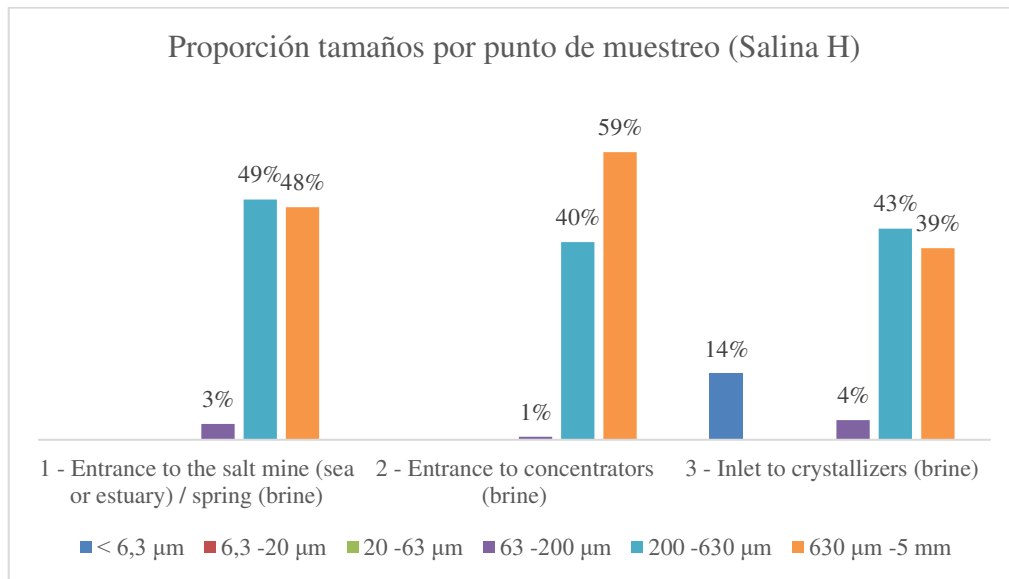


Figura 37: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina H) [Elaboración propia]

Como se puede comprobar mediante análisis visual, en todas las salinas destacan sobre todo los rangos 200 – 630 μm y 630 – 5000 μm. Aunque, cabe destacar en la Salina H las proporciones para los tamaños más bajos son mínimas, resultado que resalta con las salinas A y B, en las que estos tamaños tienen representaciones de entre el 10 y el 15%.

A continuación, se va a mostrar en la Figura 38, la distribución de colores de microplásticos para la Salina A; en la Figura 39, la distribución para la salina B, y, por último, en la Figura 40, la distribución de la salina H.

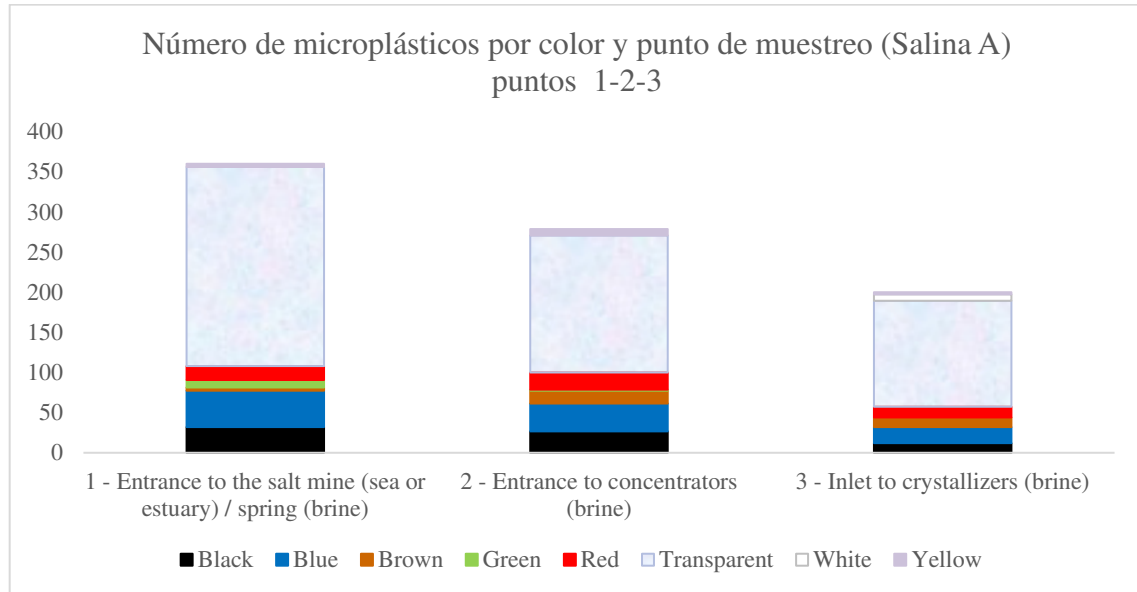


Figura 38: Distribución colores Salina A [Elaboración propia]

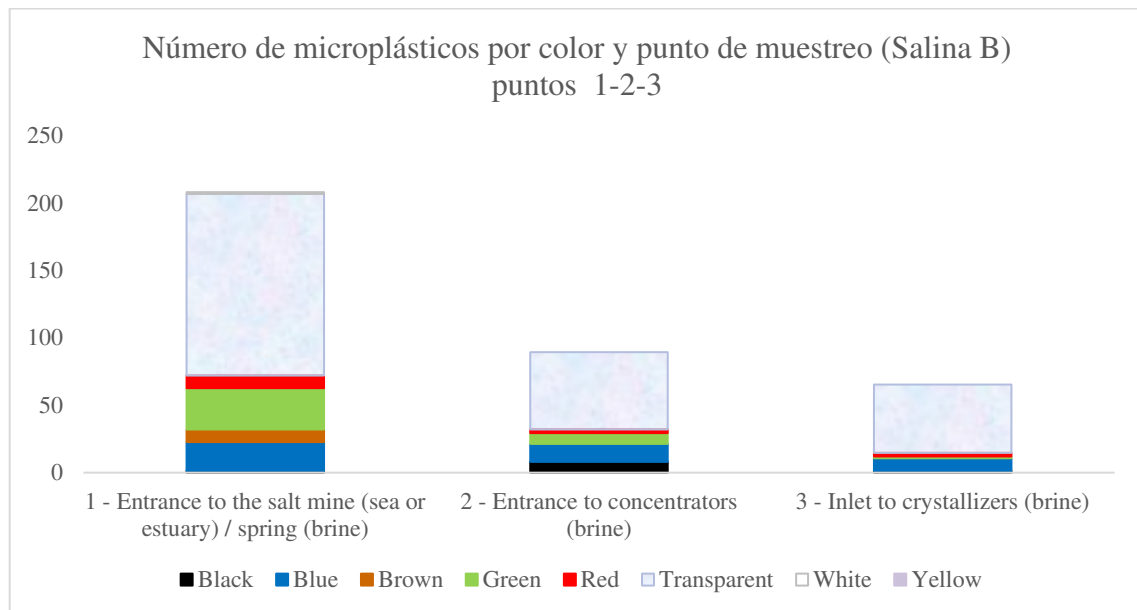


Figura 39: Distribución colores Salina B [Elaboración propia]

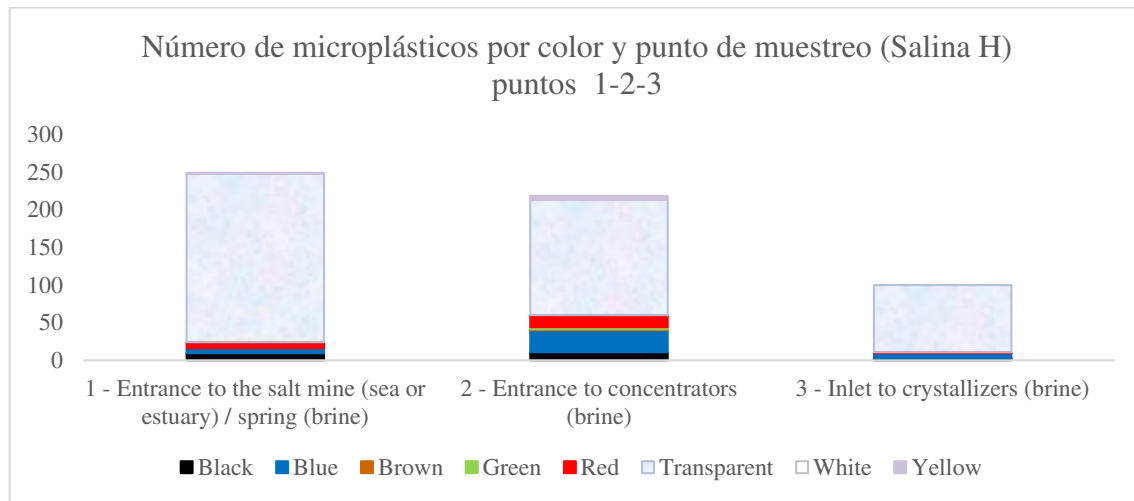


Figura 40: Distribución colores Salina H [Elaboración propia]

Como se puede comprobar, no existe relación entre una salina y otra. La única característica que se repite es que los microplásticos transparentes son los más comunes. Por lo demás, no existe ningún patrón observable.

6.2.2 GRUPO DE CONSUMO

El estudio del grupo de consumo de las salinas se va a realizar de modo diferente. Para comenzar, las salinas abandonadas quedarán excluidas, al no ser posible obtener muestras del producto. Por otro lado, se tratará de buscar similitudes y diferencias entre el resto de las salinas. Como no se tienen las mismas muestras de todas las salinas, se realizará mediante número de microplásticos y no mediante proporciones. La primera gráfica correspondiente a la Figura 41 muestra el número de microplástico para cada salina activa en cada punto de control.

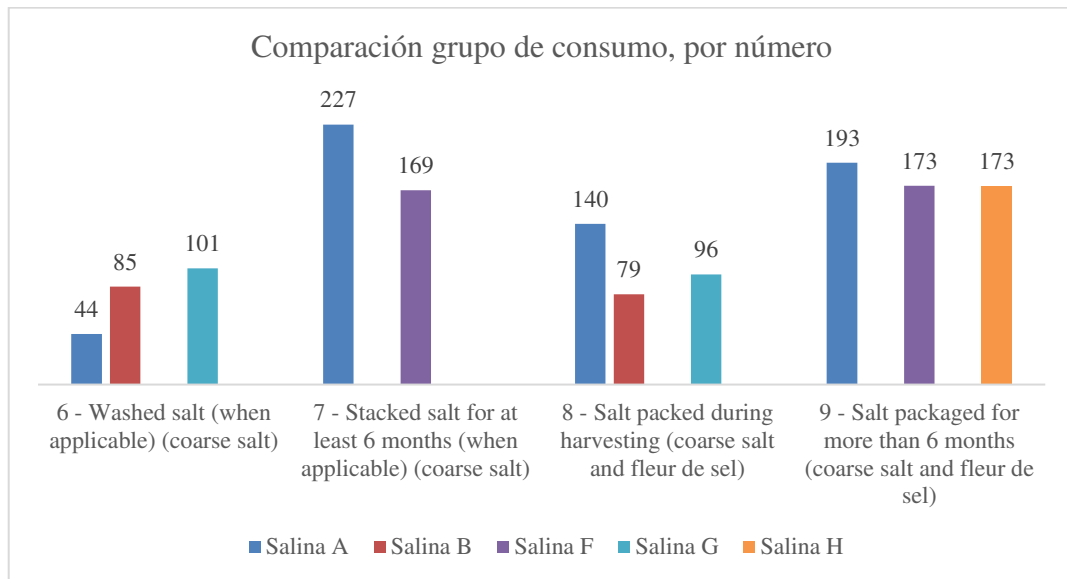


Figura 41: comparación grupo de consumo (salinas activas) [Elaboración propia]

A diferencia de lo ya analizado para la salina A en el apartado anterior, se puede comprobar mediante análisis visual de la gráfica que el número de microplásticos puede no variar entre punto de muestreo. En la Figura 42, se muestra la cantidad de microplásticos en los puntos 6 y 8 para las salinas B y G.

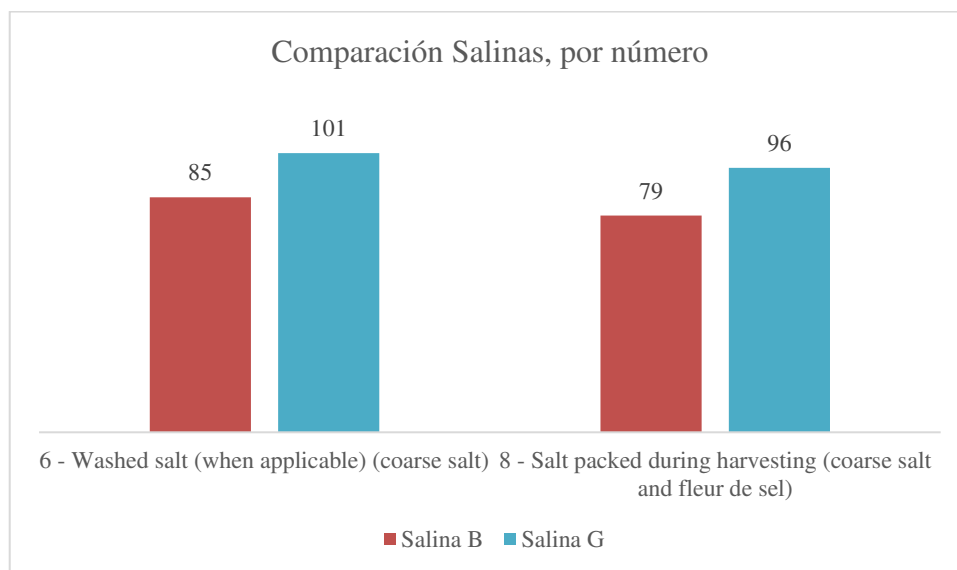


Figura 42: variación entre punto de muestreos 6 y 8 (salinas B y G) [Elaboración propia]

Se comprueba cómo el proceso de envasado de la sal no tiene influencia sobre el número de microplásticos presente en ella, puesto que este no varía notablemente de un punto de muestreo a otro. Además, este fenómeno se puede comprobar en la Figura 43, en la que se representa los puntos 7 y 9 de la salina F.

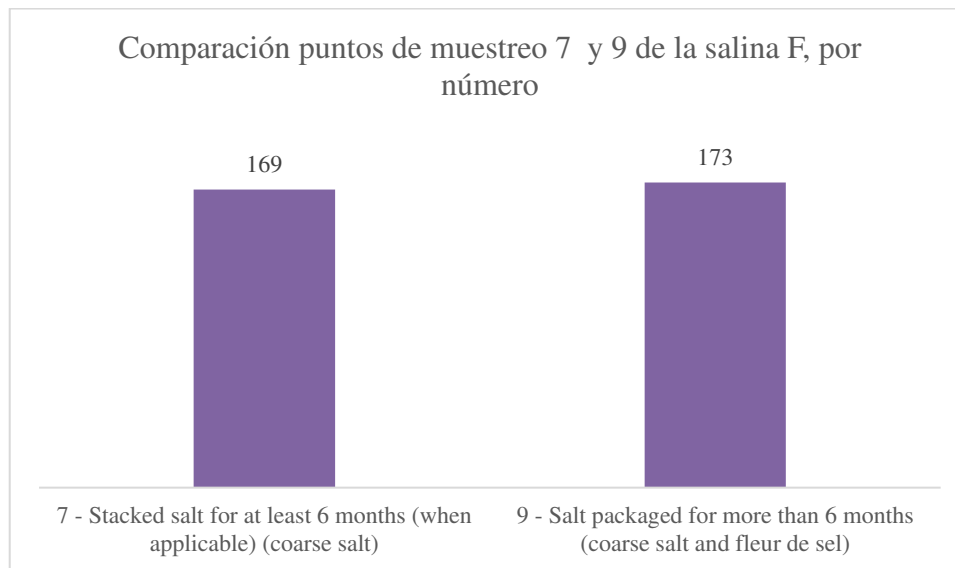


Figura 43: variación entre puntos de muestreo 7 y 9 (salinas F) [Elaboración propia]

De nuevo, la sal posterior al envasado contiene el mismo número de microplásticos que la anterior a dicho proceso. Este resultado contrasta con el obtenido en la figura, en la que se estudiaba el número de microplásticos en la salina A. En dicha figura, sí existe una profunda diferencia entre los puntos de control 6 y 8. Sin embargo, esa diferencia no es tan apreciable entre los puntos 7 y 9. Por lo tanto, esto puede deberse al tratamiento que sufre la sal después del lavado, y no al envasado de esta.

A continuación, y de igual modo a como se ha realizado para los puntos de muestreo de producción, se va a estudiar si existen diferencias o patrones que se repiten para las proporciones de colores y rangos de tamaños de los microplásticos encontrados.

Para estudiar las diferencias en tamaños, se representa en la Figura 44 la proporción de microplásticos de un rango de tamaño con respecto a la totalidad de ellos para cada punto de

muestreo en la Salina A, en la Figura 45 para la salina B, en la Figura 46 para la salina F, en la Figura 47 para la salina G, y en la Figura 48 para la salina H.

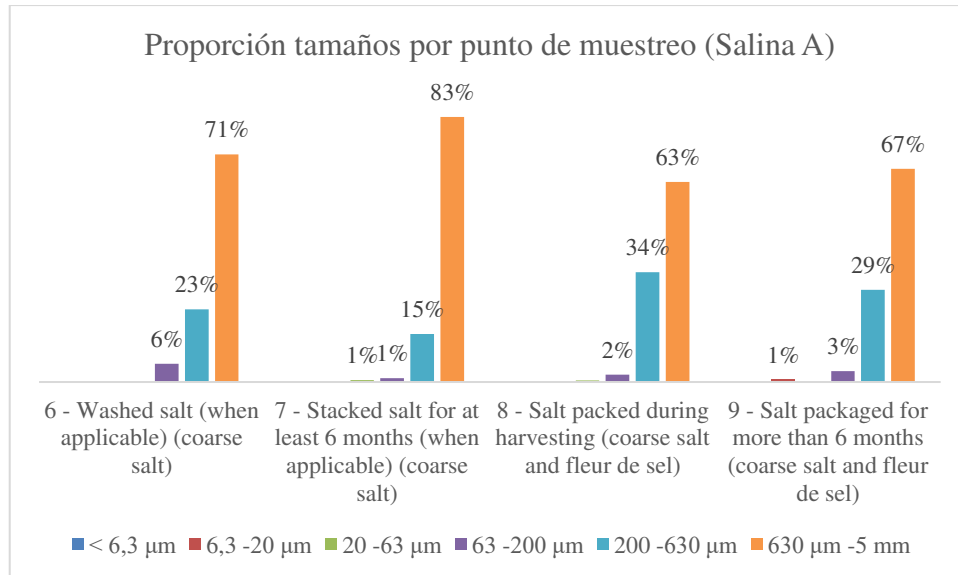


Figura 44: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina A) [Elaboración propia]

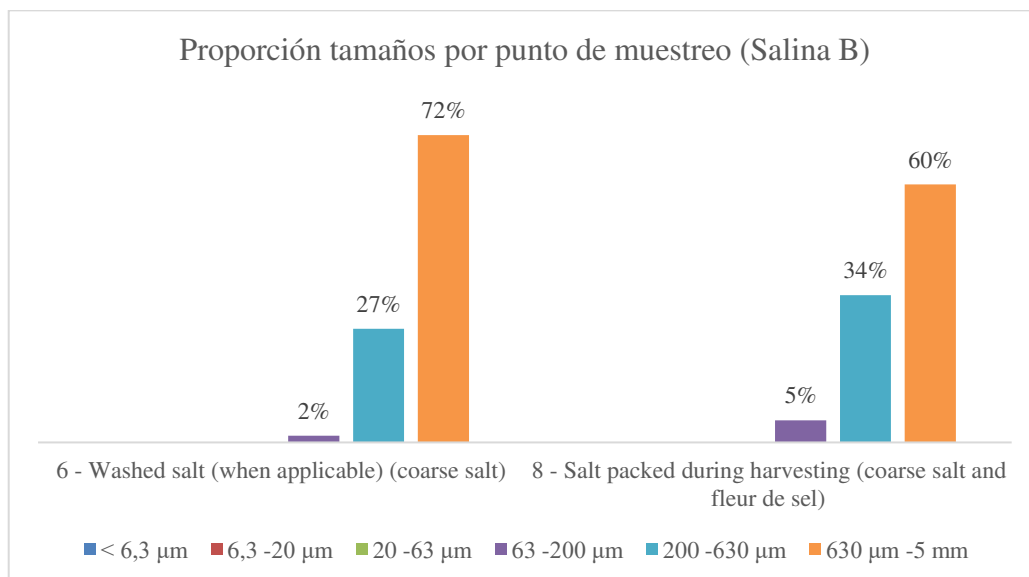


Figura 45: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina B) [Elaboración propia]

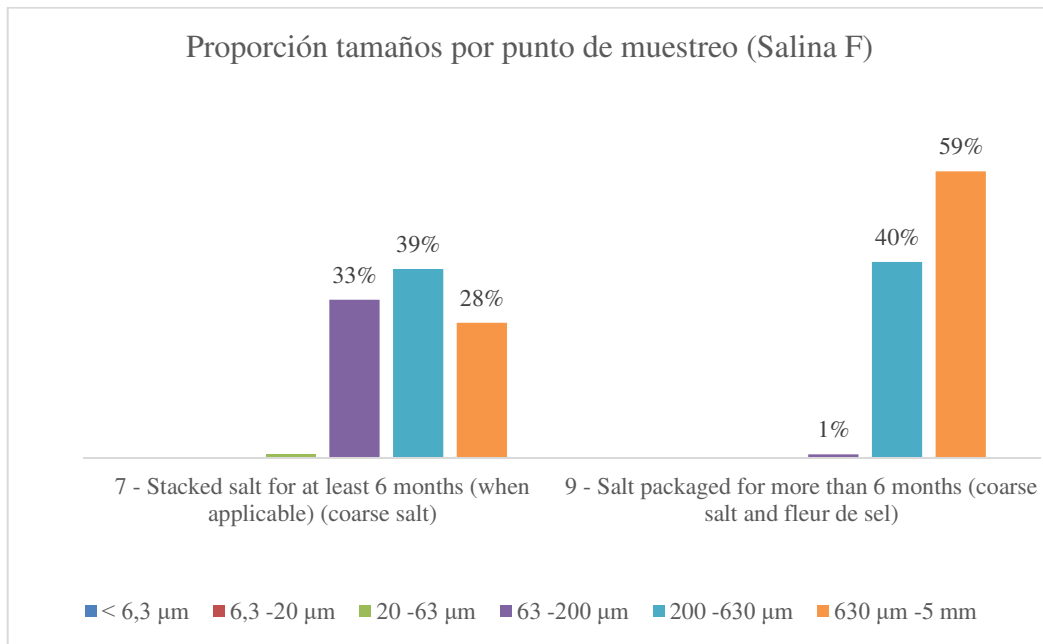


Figura 46: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina F) [Elaboración propia]

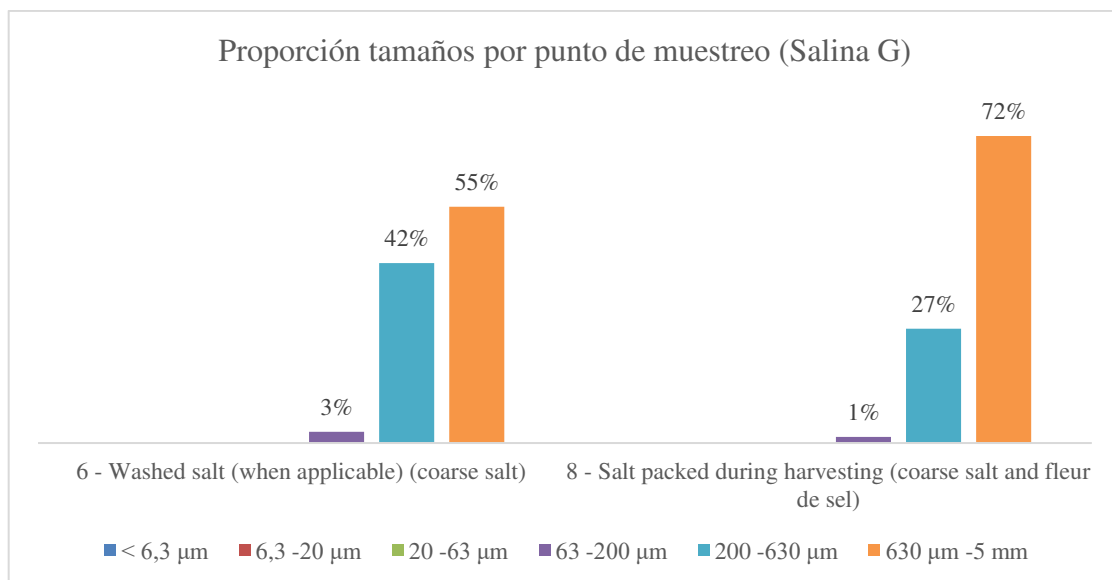


Figura 47: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina G) [Elaboración propia]

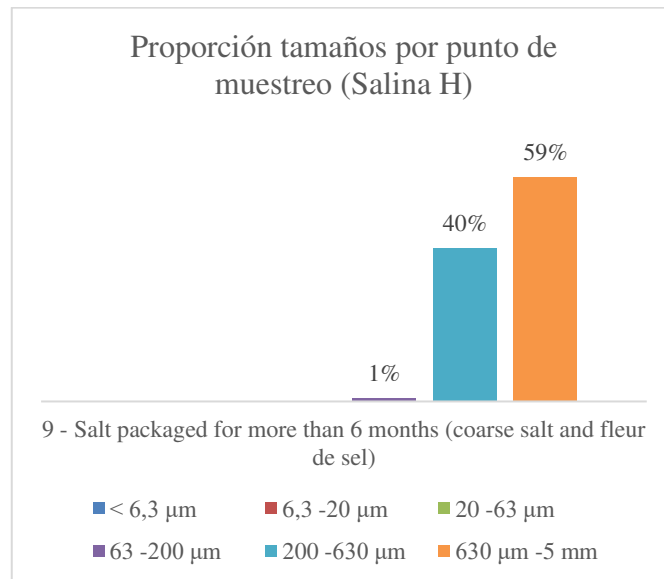


Figura 48: proporción tamaños por punto de muestreo (Salina H) [Elaboración propia]

Como se puede comprobar realizando un análisis visual de las gráficas, destacan sobre todo los dos rangos mayores (200 – 630 µm y 630 – 5000 µm), mientras que los demás consisten, excepto para la sal apilada durante seis meses de la salina F, en proporciones muy bajas que no deben ser consideradas.

Para realizar la comparación de colores, de nuevo a título informativo, se utilizarán gráficas parecidas a las anteriores, aunque indicando las proporciones de colores. En la Figura 49 se muestra para la salina A, en la Figura 50 para la salina B, la Figura 51 para la salina F, la Figura 52 para la salina G y la Figura 53 para la salina H.

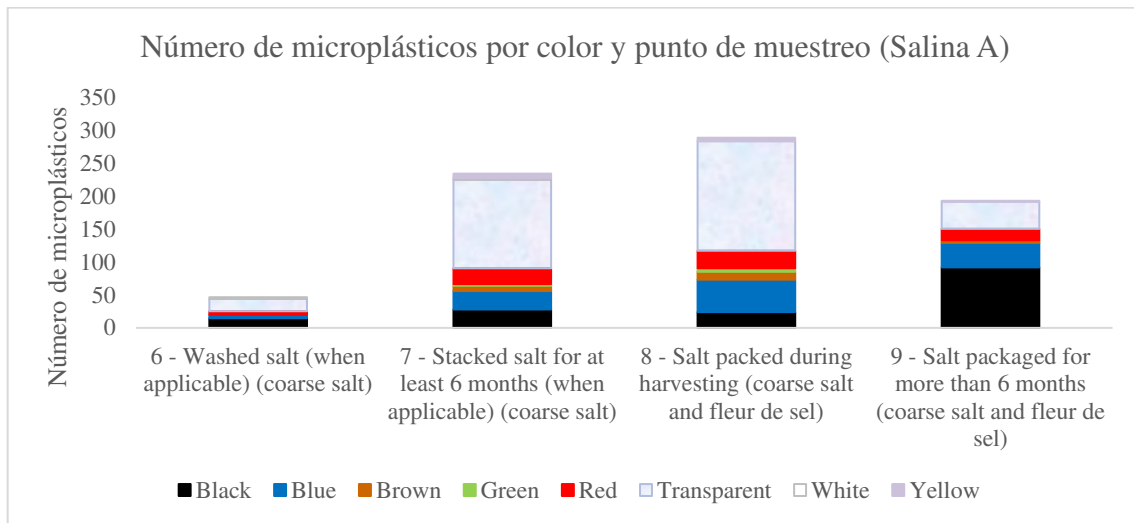


Figura 49: número de microplásticos por color y punto de muestreo (Salina A)

[Elaboración propia]

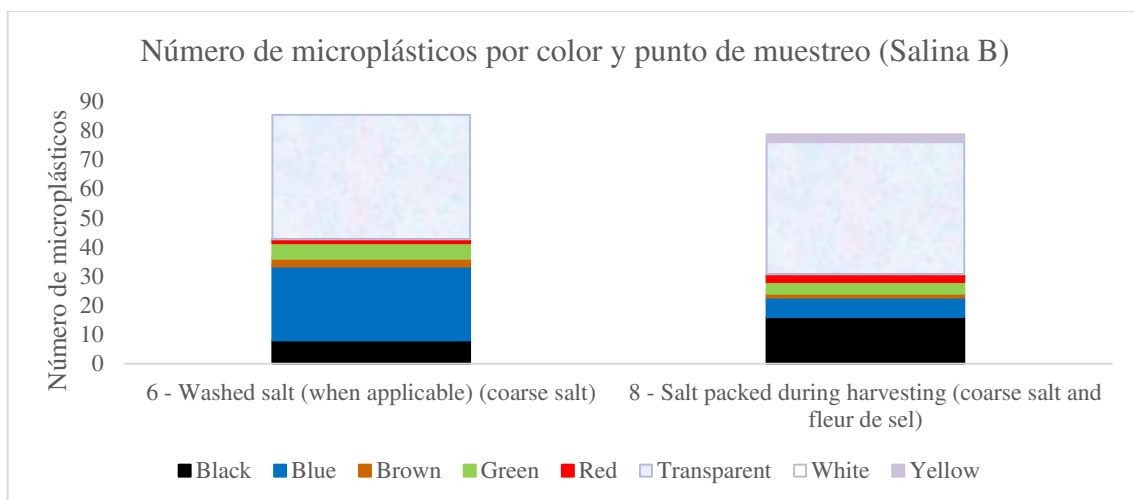


Figura 50: número de microplásticos por colores y punto de muestreo (Salina B)

[Elaboración propia]

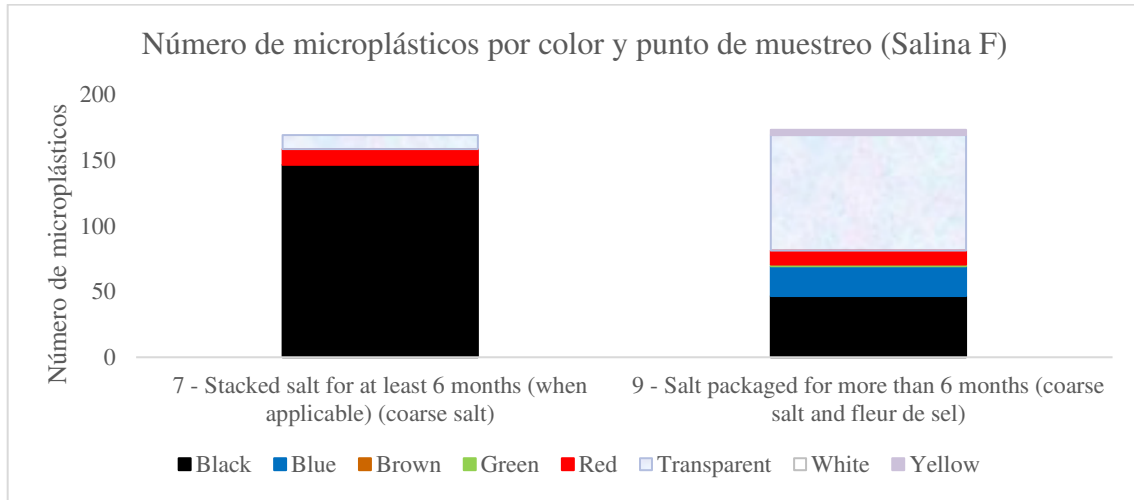


Figura 51: número de microplásticos por colores y punto de muestreo (Salina F)
[Elaboración propia]

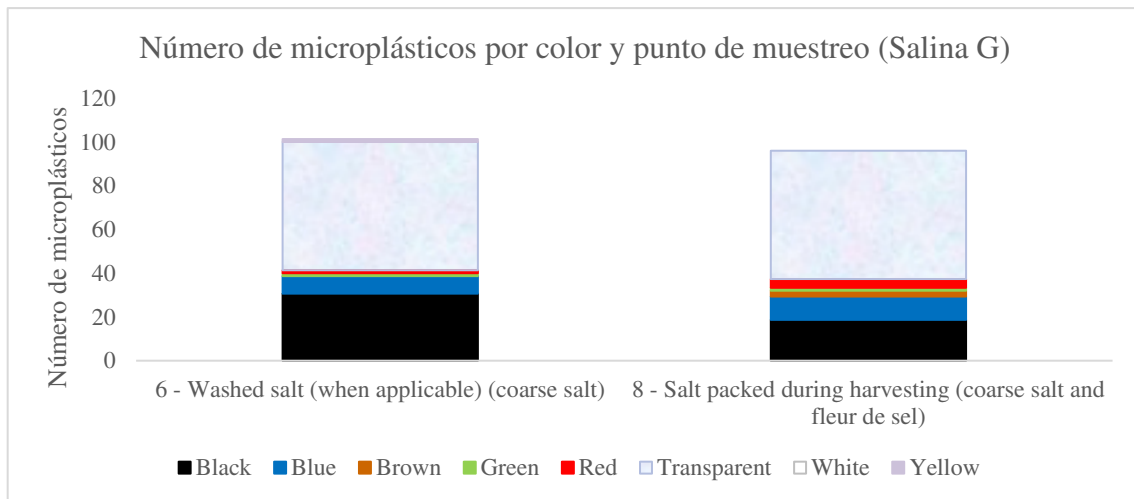


Figura 52: número de microplásticos por colores y punto de muestreo (Salina G)
[Elaboración propia]

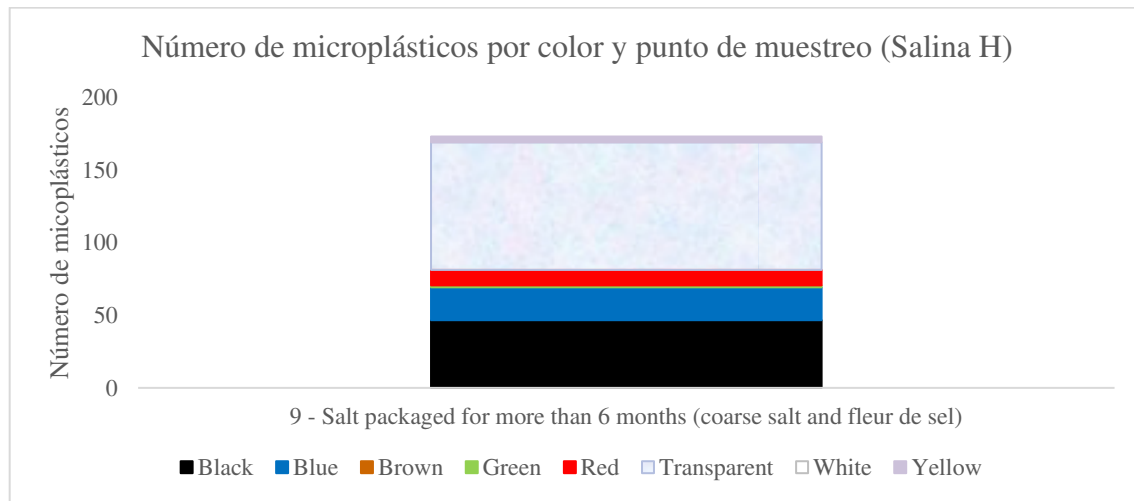


Figura 53: número de microplásticos por colores y punto de muestreo (Salina H)

[Elaboración propia]

Como se puede comprobar y, excepto para el punto 7 de la Salina F, el color predominante es el transparente, al igual que ocurría al estudiar el grupo de producción. Este fenómeno observado en la salina F puede deberse fundamentalmente a que se trate de una muestra contaminada. Ese color negro predominante puede pertenecer, por ejemplo, al caucho de las cintas transportadores. Para determinar la proveniencia de este se debería realizar un análisis con tecnología FTIR.

6.3 DIFERENCIAS ENTRE SALINAS DE INTERIOR Y COSTERAS

Como ya se ha estudiado, el funcionamiento de las salinas de interior dista mucho del que presentan las salinas costeras. En el primer caso, el agua es extraída del subsuelo, y se saliniza debido al paso de esta a través de minerales. Mientras, las salinas costeras extraen el agua directamente de mares y océanos. Así, cabe pensar que, si existen microplásticos presentes en las etapas de las salinas de interior, estos provienen o del agua subterránea mediante filtración, o por contacto con el aire al emanar el agua hacia la superficie. En los siguientes apartados se tratará de responder a dicha cuestión.

Para comenzar el estudio, y como se cuenta con dos salinas que cumplen las características de salina de interior y activas, se va a realizar una comparación entre ellas para determinar posibles similitudes y diferencias, y si existe un patrón que se repite y a partir del cual se pueden obtener conclusiones. Para ello se muestra en la Figura 54 una gráfica que indica la proporción de microplásticos en cada punto de muestreo con respecto a la totalidad de las etapas del grupo de producción.

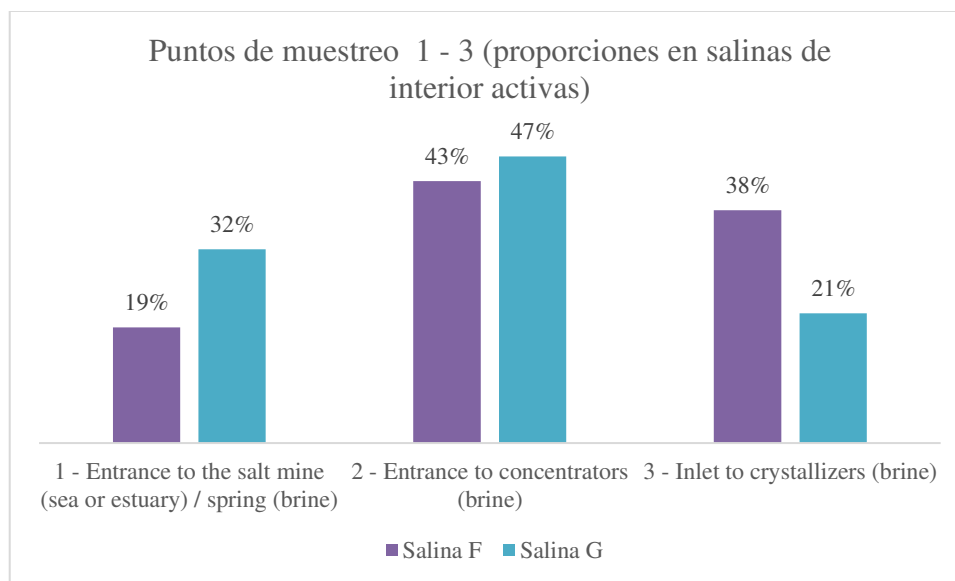


Figura 54: Proporción de microplásticos por punto de muestreo para los puntos 1 - 3 de las salinas G y F [Elaboración propia]

El comportamiento descrito en la gráfica tan solo difiere en el punto de muestreo 3. En las dos primeras es parecido. Primero, el número de microplásticos es inferior, y según el agua entra a las balsas concentradoras y tiene contacto con el aire, la cantidad de microplásticos se hace superior. El punto 3 marca la diferencia, para la salina F, el número de microplásticos desciende ligeramente, mientras que para la salina G este desciende de manera pronunciada, siendo inferior que el número inicial de microplásticos.

A continuación, se estudiará qué ocurre con las salinas costeras. Para ello se representa en la Figura 55 una gráfica con la totalidad de ellas, en la que se muestran la proporción de microplásticos por punto de muestreo con respecto a los puntos del grupo de producción.

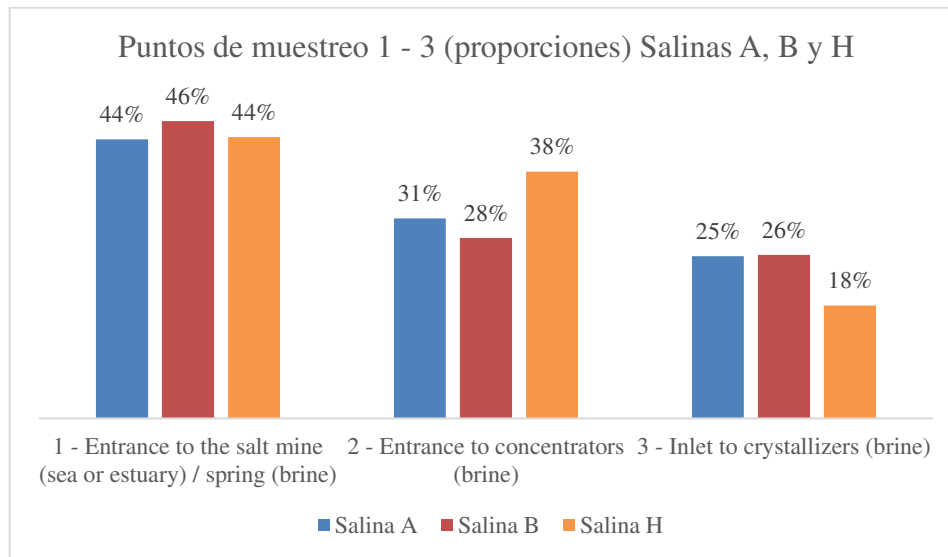


Figura 55: Proporción de microplásticos para los puntos de muestreo 1 - 3, Salinas A, B y H [Elaboración propia]

Como se puede observar, la tendencia a que disminuya el número de microplásticos en el punto 3 se repite también para las salinas costeras activas. Sin embargo, la diferencia fundamental consiste en que el punto 1, en este caso, es el que mayor proporción de microplásticos tiene con respecto a los demás. Esto puede deberse a que el agua entrante del mar ya estaba contaminada, pero no así el agua subterránea.

Para poder recabar información sobre la procedencia de microplásticos en las salinas de interior activas, se va a realizar un análisis comparativo entre los microplásticos encontrados en la sal apilada de las salinas costeras y de interior, y determinar si sus características son semejantes o no. Sin embargo, se debe tener en cuenta que dicho análisis puede verse alterado, ya que la zona geográfica de estas salinas es considerablemente diferente y el aire puede encontrarse contaminado por factores diferentes en cada una.

Para ello, en la Figura 56 se representa una gráfica con los tamaños (por proporción) predominantes en los puntos 1 – 3 de las salinas F y G, y en los puntos 7 y 9 de la salina A, pues es la única costera de la que se tienen datos sobre esas etapas. Se han elegido dichos puntos debido a que se corresponden a sal que se ha apilado a la intemperie durante 6 meses, después de haber sido lavada con anterioridad.

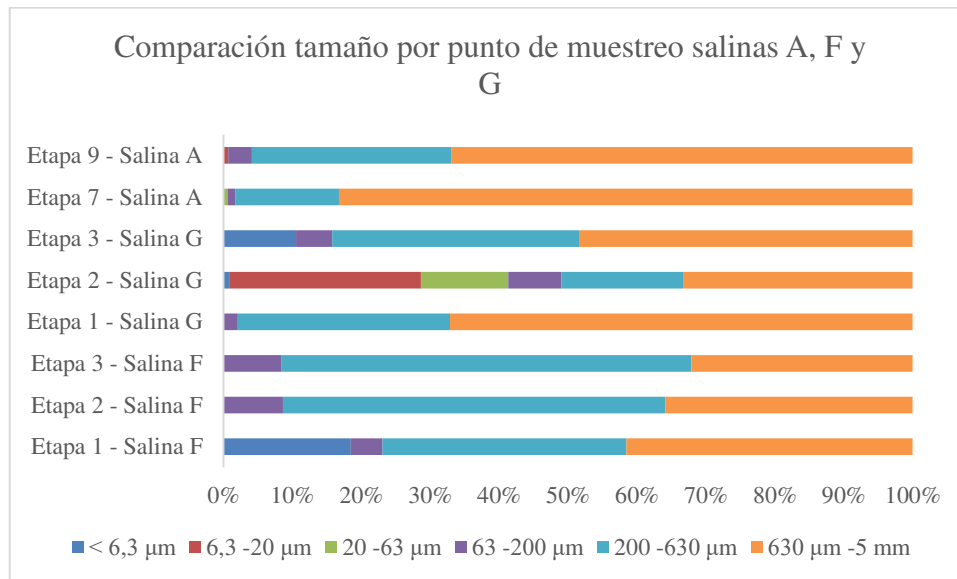


Figura 56: Proporción tamaño por punto de muestreo, Salinas A, F y G [Elaboración propia]

Como se puede comprobar, aunque se aprecie en casi todas las muestras que los dos grupos más grandes de tamaños son los más presentes (excepto en el punto de muestreo 3 de la salina G), no se puede determinar mediante análisis visual la existencia de ningún patrón. Además, el hecho de que ya existan grandes diferencias solo entre las salinas de interior parece indicar que la contaminación atmosférica de cada zona es considerablemente diferente.

También, de este estudio sobre el tamaño de los microplásticos, se podría realizar otro comparando el color de los microplásticos. Sin embargo, el color puede depender de diversas variables relacionadas con el ambiente, como por ejemplo la ropa de los salineros o los sacos en los que se transporta la sal.

De este modo, sí podemos afirmar que la contaminación por microplásticos en las salinas de interior se produce debido a la contaminación atmosférica, ya que en ambas salinas G y F sus puntos 2 y 3 contienen mayor número de microplásticos que el primer punto de muestreo. Este hecho no ocurre así con las salinas costeras, lo que parece indicar que el mar es la fuente más contaminada. Sin embargo, no se encuentra correlación entre la contaminación

atmosférica de las salinas, ya que las características de los microplásticos son muy diversas en cada salina, lo que parece indicar que la cantidad y tipos de microplásticos presentes en el aire son muy diversos y dependen profundamente del entorno.

Ahora, cabe realizar un análisis sobre la variación de la cantidad de microplásticos en los productos finales. Para ello se va a analizar el grupo de consumo de todas las salinas. Así, en la figura se muestra una gráfica que representa la cantidad de microplásticos encontrada en cada fase y salina. Este análisis no se realizará mediante proporciones, ya que se busca determinar qué salinas se encuentran más contaminadas.

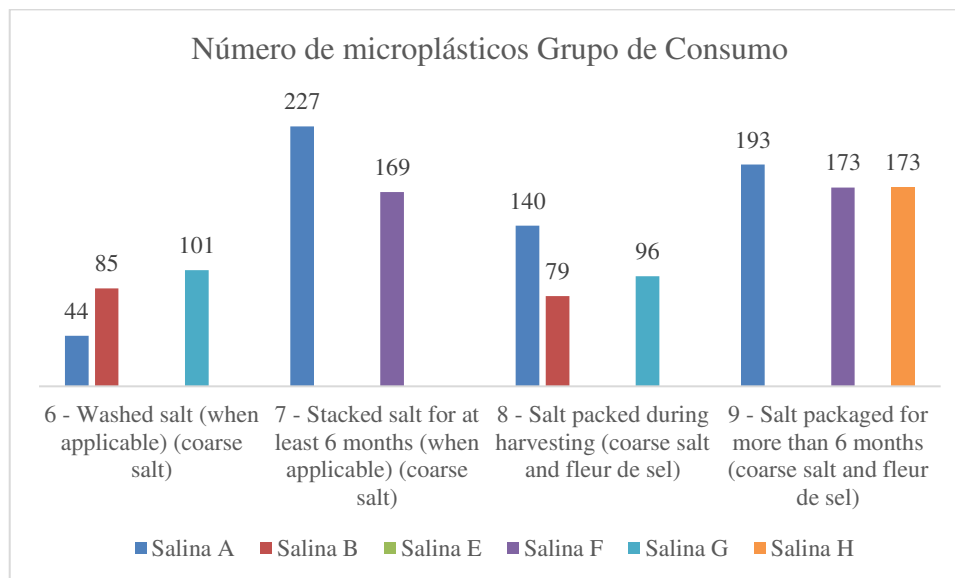


Figura 57: Número de microplásticos en los productos finales [Elaboración propia]

Como se puede apreciar, ni siquiera las salinas de interior F y G presentan comportamientos similares, presentando la salina F un número superior al de la salina G. Lo mismo ocurre con las salinas costeras, en las que el número de microplásticos también es muy dispar. Esto significa que no existe diferencia entre que la salina sea de interior o costera, debido a que ni siquiera ellas mismas muestran comportamientos similares. Así, la cantidad de microplásticos se debe a factores externos como la contaminación del medio.

Sin embargo, cabe destacar que las salinas B y G, las cuales muestran un comportamiento parecido con un número inferior de microplásticos que el resto, se encuentran ambas en espacios naturales protegidos. Se analizará este fenómeno en la Figura 58.

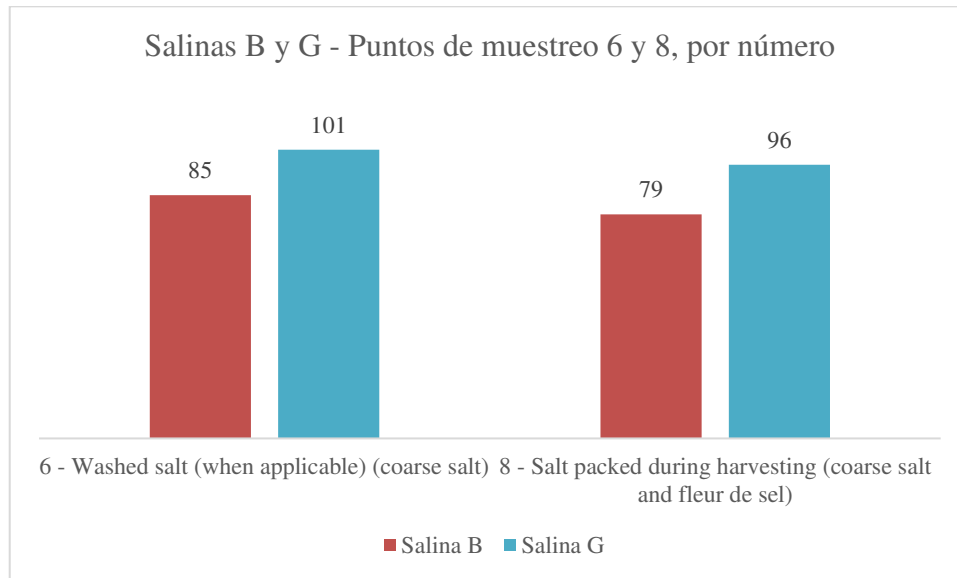


Figura 58: Salinas B y G, puntos de muestreo 6 y 8 [Elaboración propia]

Como se puede comprobar, la cantidad de microplásticos es similar e inferior al resto de salinas, lo que nos conlleva a establecer una relación entre el entorno de la salina y el número de microplásticos encontrados en sus productos de consumo.

6.4 SALINA ABANDONADA

La salina E se trata de una salina de interior abandonada. Así, mediante el análisis en profundidad de esta se tratará de determinar, primero, si está o no contaminada por microplásticos y, segundo, de dónde proceden estos microplásticos. Al tratarse de una salina de interior abandonada, el agua presente en las balsas no proviene del agua subterránea, pues esta ha sufrido desde el abandono diversos procesos de evaporización y ha estado expuesta a las inclemencias atmosféricas. En un principio, todo parece indicar que la aparición de microplásticos en la misma se relaciona a que estos provengan del aire o de la lluvia.

De este modo, se ilustrará en la Figura 59 una gráfica que muestra las etapas de la salina E. Así, se estudiará la variabilidad de estos a lo largo de los puntos de muestreo.

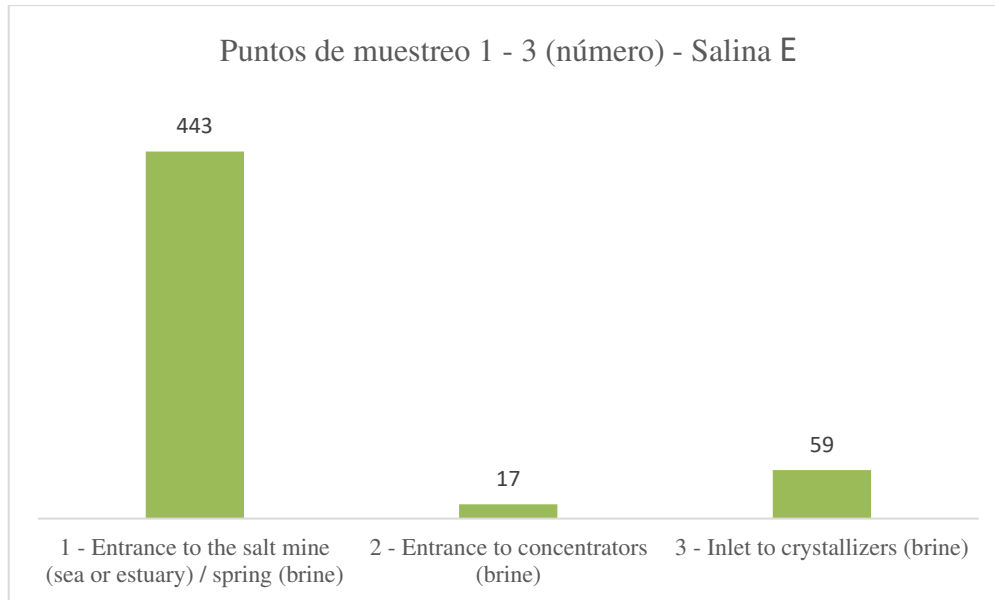


Figura 59: Número de microplásticos por punto de muestreo (Salina E) [Elaboración propia]

Como se puede comprobar, la cantidad de microplásticos en el primer punto de muestreo es muy superior a la obtenida en el segundo y tercer punto. Esto se debe fundamentalmente a la manera de obtención de las muestras. Este primer punto de muestreo consiste en una laguna grande muy expuesta y, además, la muestra se tomó en la orilla. Mientras, los puntos 2 y 3 se ubican más resguardados y con menos apertura al medio exterior. Así, en la Figura 60 se representa la variabilidad de tamaño en ellos, y en la Figura 61 la variabilidad de colores.

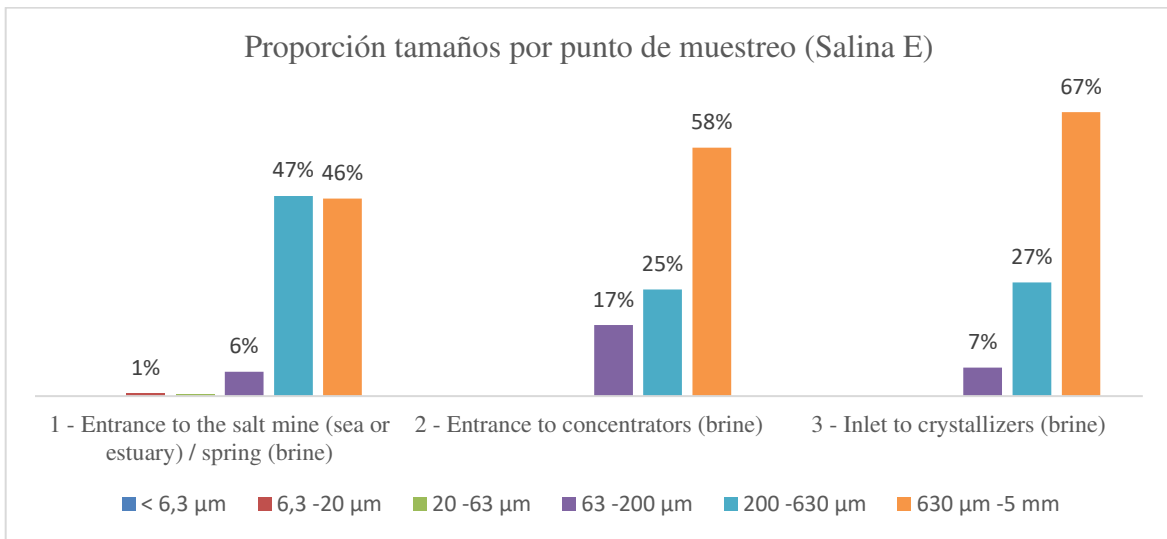


Figura 60: Proporción de tamaños por punto de muestreo - Salina E [Elaboración propia]

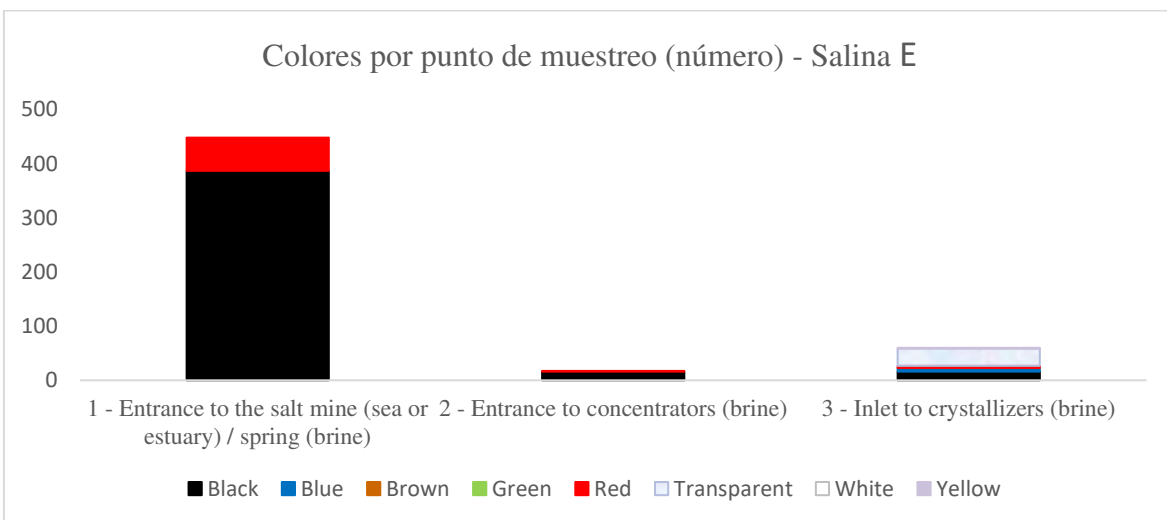


Figura 61: Colores por punto de muestreo - Salina E [Elaboración propia]

Como se puede observar, de nuevo, existen grandes diferencias en cuanto a la predominancia del color negro en el punto de muestreo 1. Para poder estudiar este fenómeno, convendría estudiar la densidad de los microplásticos hallados, y la facilidad de estos de encontrarse en la orilla con respecto a otros de distinta densidad. Para ello sería necesario realizar un estudio en profundidad con tecnología micro F-TIR, que se proyectará más adelante.

Capítulo 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el presente apartado, se van a analizar mediante métodos estadísticos (análisis ANOVA) las principales conclusiones obtenidas. De este modo, se presentarán los resultados que se procederán a estudiar. Debido a las diferencias existentes entre las salinas analizadas, tan solo se presentarán los resultados más importantes. Con ello, se pretende dar respuesta a preguntas como: ¿poseen el mismo comportamiento las salinas de interior y las salinas costeras? ¿cómo varían los microplásticos en cada punto de muestreo de una misma salina? ¿existen diferencias entre las salinas costeras? ¿las dos salinas de interior analizadas son parecidas? ¿la salina abandonada se parece en algo a las demás?

Para resolver este apartado, se han realizado análisis ANOVA estudiando las variaciones entre puntos de muestreo (tanto de color como de tamaño de los microplásticos) dentro de una misma salina, y las variaciones entre salinas para cada punto de muestreo. En todos los casos, un p -valor inferior a 0,05 (significación del 95%) indicará una desigualdad entre las medias de los grupos analizados.

7.1 ANÁLISIS DE DIFERENCIAS Y SIMILITUDES ENTRE LAS SALINAS DE INTERIOR

Las salinas de interior estudiadas son las salinas F y G. Así, en la tabla se muestran los resultados para el análisis por color, y en la tabla para el análisis por tamaño.

Salinas F-G		
Color		
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta
Punto 1	0	DIFERENTE
Punto 2	0,001	DIFERENTE
Punto 3	0,001	DIFERENTE

Tabla 2: Resultados ANOVA entre salinas F y G (color)

Salinas F-G		
Tamaño		
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta
Punto 1	0,345	IGUAL
Punto 2	1	IGUAL
Punto 3	0,998	IGUAL

Tabla 3: Resultados ANOVA entre salinas F y G (tamaño) [Elaboración propia]

Como se puede comprobar, en este caso, el tamaño de los microplásticos para las salinas de interior se corresponde, mientras que no ocurre lo mismo con el color. Esta variación puede deberse fundamentalmente a que el color depende más del entorno, es decir, de la maquinaria utilizada en cada salina, el color de la ropa de los salineros, u otras variables.

7.2 ANÁLISIS DE DIFERENCIAS Y SIMILITUDES ENTRE LAS SALINAS COSTERAS

El presente análisis se realizará tan solo para los tres primeros puntos de muestreo, debido a que son los que comparten todas las salinas analizadas. Así, en la tabla se muestran los resultados para el análisis por color, y en la tabla para el análisis por tamaño.

Salinas A-B			Salina A-H			Salina B-H		
Color			Color			Color		
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta
Punto 1	1	IGUAL	Punto 1	0,001	DIFERENTE	Punto 1	0,004	DIFERENTE
Punto 2	0,777	IGUAL	Punto 2	0,389	IGUAL	Punto 2	0,169	IGUAL
Punto 3	0,999	IGUAL	Punto 3	0,777	IGUAL	Punto 3	0,981	IGUAL

Tabla 4: Resultados ANOVA entre salinas A, B y H (color) [Elaboración propia]

Salinas A-B			Salina A-H			Salina B-H		
Tamaño			Tamaño			Tamaño		
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta
Punto 1	1	IGUAL	Punto 1	1	IGUAL	Punto 1	1	IGUAL
Punto 2	0,983	IGUAL	Punto 2	0,997	IGUAL	Punto 2	0,999	IGUAL
Punto 3	0,986	IGUAL	Punto 3	1	IGUAL	Punto 3	0,999	IGUAL

Tabla 5: Resultados ANOVA entre salinas A, B y H (tamaño) [Elaboración propia]

Como se puede comprobar en el análisis de color, los puntos 2 y 3 son iguales en todas las salinas. Mientras, el punto de muestreo 1 varía para la salina H. En el análisis de tamaño, sin embargo, los tres sí pueden considerarse iguales para las tres salinas.

Cabe destacar que tanto la salina A como la salina B son mediterráneas, compartiendo ambas igualdad en cuanto a tamaño y a color.

7.3 ANÁLISIS DE LA SALINA ABANDONADA

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos para la salina E, comparándola con todas las salinas restantes, en aras de hallar similitudes o diferencias. Dicho análisis se muestra en la tabla.

Salina A-E			Salina B-E			Salina E-F		
Tamaño			Tamaño			Tamaño		
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta
Punto 1	1	IGUAL	Punto 1	1	IGUAL	Punto 1	0,101	IGUAL
Punto 2	0,983	IGUAL	Punto 2	1	IGUAL	Punto 2	1	IGUAL
Punto 3	0,986	IGUAL	Punto 3	1	IGUAL	Punto 3	1	IGUAL
Salina E-G			Salina E-H					
Tamaño			Tamaño					
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta			
Punto 1	1	IGUAL	Punto 1	1	IGUAL			
Punto 2	1	IGUAL	Punto 2	1	IGUAL			
Punto 3	1	IGUAL	Punto 3	1	IGUAL			

Tabla 6: Resultados ANOVA salina abandonada E (tamaño) [Elaboración propia]

Salina A-E			Salina B-E			Salina E-F		
Color			Color			Color		
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta
Punto 1	0	DIFERENTE	Punto 1	0	DIFERENTE	Punto 1	0,022	DIFERENTE
Punto 2	0,001	DIFERENTE	Punto 2	0,001	DIFERENTE	Punto 2	0,99	IGUAL
Punto 3	0,093	IGUAL	Punto 3	0,14	IGUAL	Punto 3	0,001	DIFERENTE
Salina E-G			Salina E-H					
Color			Color					
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta			
Punto 1	0	DIFERENTE	Punto 1	0	DIFERENTE			
Punto 2	0,001	DIFERENTE	Punto 2	0,001	DIFERENTE			
Punto 3	0,451	IGUAL	Punto 3	0,013	DIFERENTE			

Tabla 7: Resultados ANOVA salina abandonada E (color) [Elaboración propia]

Mientras que en relación con el tamaño medido, la salina E es semejante al resto de salinas abandonadas, al estudiar las diferencias entre los colores de la salina, no ocurre lo mismo, y no se detecta ningún patrón. Esto puede deberse a la teoría inicial de que mientras el color es una variable dependiente del entorno, no es así con el tamaño.

7.4 ANÁLISIS DE DIFERENCIAS Y SIMILITUDES ENTRE LAS SALINAS COSTERAS E INTERIORES

En este subapartado se va a realizar un análisis que permita conocer si existen diferencias entre las salinas costeras y de interior en términos de color y tamaño de los microplásticos. Para ello, se van a representar por separado los resultados de la comparación entre la salina F y las demás salinas costeras activas, y la salina G con las demás salinas costeras activas.

Para realizar el presente estudio, primero se representa en la tabla el resultado de los análisis ANOVA para la comparación por tamaños con la salina F, del mismo modo, se representan en la tabla los resultados para la comparación por colores.

Salina F-A			Salina F-B			Salina F-H		
Tamaño			Tamaño			Tamaño		
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta
Punto 1	0,088	IGUAL	Punto 1	0,132	IGUAL	Punto 1	0,152	IGUAL
Punto 2	0,153	IGUAL	Punto 2	0,998	IGUAL	Punto 2	0,103	IGUAL
Punto 3	0,932	IGUAL	Punto 3	1	IGUAL	Punto 3	0,999	IGUAL

Tabla 8: Resultados ANOVA salinas interior y costeras activas 1 (tamaño) [Elaboración propia]

Salina F-A			Salina F-B			Salina F-H		
Color			Color			Color		
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta
Punto 1	0	DIFERENTE	Punto 1	0	DIFERENTE	Punto 1	0	DIFERENTE
Punto 2	0,001	DIFERENTE	Punto 2	0,001	DIFERENTE	Punto 2	0,001	DIFERENTE
Punto 3	0,001	DIFERENTE	Punto 3	0,001	DIFERENTE	Punto 3	0,001	DIFERENTE

Tabla 9: Resultados ANOVA salinas interior y costeras activas 1 (color) [Elaboración propia]

A continuación, se representa en la tabla la comparación por tamaños para la salina G, y en la tabla la comparación por colores.

Salina G-A			Salina G-B			Salina G-H		
Tamaño			Tamaño			Tamaño		
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta
Punto 1	1	IGUAL	Punto 1	1	IGUAL	Punto 1	1	IGUAL
Punto 2	1	IGUAL	Punto 2	0,991	IGUAL	Punto 2	1	IGUAL
Punto 3	1	IGUAL	Punto 3	0,999	IGUAL	Punto 3	1	IGUAL

Tabla 10: Resultados ANOVA salinas interior y costeras activas 2 (tamaño) [Elaboración propia]

Salina G-A			Salina G-B			Salina G-H		
Color			Color			Color		
Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta	Punto de muestreo	p_valor	Se acepta
Punto 1	0,299	IGUAL	Punto 1	0,318	IGUAL	Punto 1	0,001	DIFERENTE
Punto 2	0,011	DIFERENTE	Punto 2	1	IGUAL	Punto 2	0,001	DIFERENTE
Punto 3	0,966	IGUAL	Punto 3	0,934	IGUAL	Punto 3	0,435	IGUAL

Tabla 11: Resultados ANOVA salinas interior y costeras activas 2 (color) [Elaboración propia]

En este análisis se observa la misma tendencia, en cuanto al tamaño todas las salinas son semejantes, mientras que el color presenta una variabilidad mucho mayor. Sin embargo, para la salina G, esta variabilidad no es tan notoria como sí ocurre con la salina F. Un estudio sobre los puntos en común entre estas salinas a la hora de trabajar con la sal podría dar mayores aclaraciones sobre cómo incluye en los colores que luego se observan en los resultados.

Capítulo 8. POSIBLES SOLUCIONES Y ESTUDIO ECONÓMICO

Como se ha podido comprobar, el principal problema cuando se trata la contaminación por microplásticos durante la actividad salinera proviene fundamentalmente del amontonamiento a la intemperie que se realiza de la sal una vez obtenida. De este modo, la forma óptima de solucionar el problema es evitar esta contaminación, y es el problema que se va a tratar en el presente apartado. Esto no solucionaría el problema en su totalidad, ya que se ha comprobado también que parte de la contaminación sí viene de los procesos anteriores al amontonamiento, sin embargo, esta cantidad es inferior y menos preocupante, como se comprueba en la Figura 62.

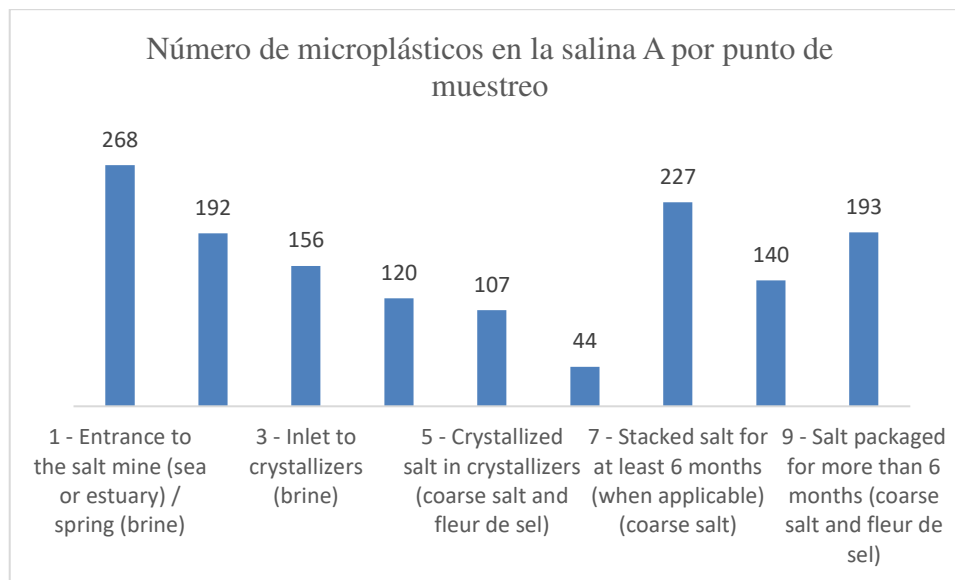


Figura 62: Número de microplásticos por punto de muestreo (salina A) [Elaboración propia]

Además, podría parecer que el envasado de la sal en material plástico influye, sin embargo, la cantidad de microplásticos antes y después del proceso de envasado no varía en gran medida, como se puede ver en la Figura 63.

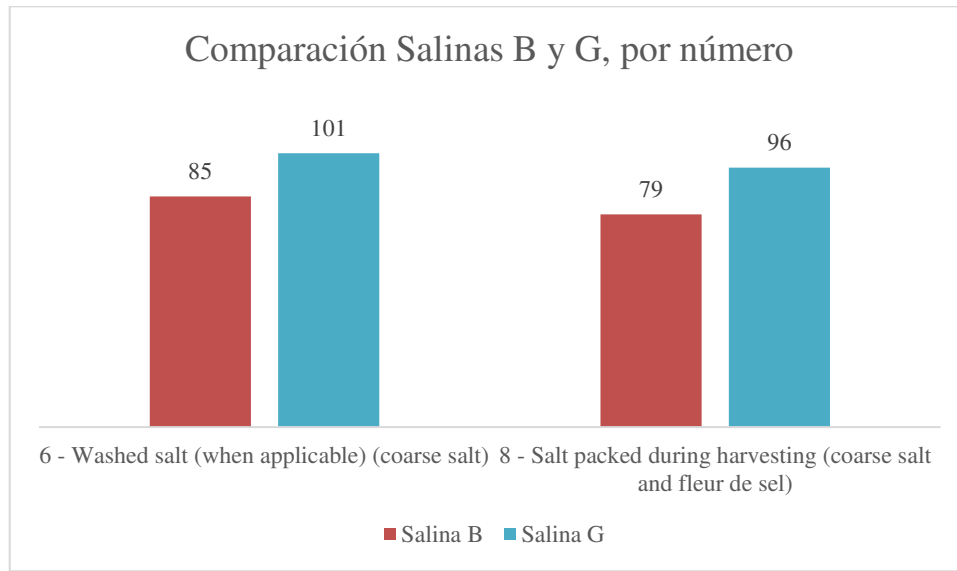


Figura 63: Comparación proceso de envasado (salinas B y G) [Elaboración propia]

Estas dos conclusiones ya se discutieron con mayor profundidad en el apartado Análisis de resultados.

La sal es considerada un producto barato, esto provoca que una inversión cuantiosa podría no llegar a ser rentable para la empresa salinera. Este problema se ve incrementado además al tener en cuenta el factor ventas: ¿descontaminar la sal de microplásticos provocaría un aumento en las ventas para la marca que lo realizara? A falta de realizar este análisis de mercado, se van a proponer varias soluciones, distintas en cuanto a presupuesto, periodo y dificultad. Las medidas estudiadas dependerán entre salina industrial y artesanal, como se presenta a continuación.

8.1 CANTIDAD DE SAL

Las salinas industriales estudiadas en este proyecto cosechan varias decenas de miles de toneladas de sal al año, lo que equivaldría, para hacer constancia de la dimensión, en el caso de la salina A, a 3260 contenedores de 40 pies de uso marítimo. Esto muestra la dificultad de tratar el problema en su totalidad. Es por ello que, para encontrar una solución, se va a descontaminar solo aquella sal cuyo destino final sea el uso en alimentos. Esto corresponde, en el caso de la salina A, al 33,3% de la cosecha.

Por lo tanto, para las salinas industriales, fijando la producción en un número ficticio (aunque próximo a la realidad) de 75.000 toneladas de sal anuales, se va a estudiar cómo no exponer la sal con fines alimentarios al ambiente y, por lo tanto, a los microplásticos.

Antes de ello, se va a caracterizar el tamaño que tienen los montones de sal producidos durante la cosecha.

8.1.1 CARACTERIZACIÓN AMONTONAMIENTOS DE SAL

Teniendo en cuenta las dimensiones de un montón de sal, así como la densidad de esta, se va a estudiar la cantidad de sal que alberga un solo montón, para facilitar los cálculos en cuanto a almacenamiento de esta. De este modo, se supone un montón como figura cónica de sal de base circular de 6 metros de diámetro y otros 6 metros de altura.

Siendo el volumen de un cono calculado mediante la fórmula

$$V = \frac{1}{3} * h * \pi * r^2$$

Y

$$r = 3 \text{ m}$$

$$h = 6 \text{ m}$$

Se obtiene

$$V = 56,55 \text{ m}^3$$

Siendo la densidad de sal 2160 kg/m^3 , se obtiene:

$$m = V * \rho$$

$$m = 122 \text{ toneladas}$$

Con ello, si se ha cifrado la producción de sal con fines alimenticios a 25000 toneladas anuales, se obtienen 205 montones de sal, que equivalen a 5793 m^2 de montones de sal. Esta cifra dificulta en gran medida las acciones que se pueden realizar para no contaminar la sal, entre ellas se contemplaba almacenarla en una nave industrial, sin embargo, se califica como inviable debido a los costes de tal proyecto.

8.2 SOLUCIONES

A continuación, se proponen dos soluciones económicas, la primera de ella tan solo aplicable a las salinas artesanales, y la segunda tanto para salinas artesanales como industriales.

8.2.1 OPCIÓN 1. TEJAS

Esta solución consiste en cubrir los montones de sal con tejas de cerámica. Como se trata de una labor manual, tan solo se enfocará a las salinas artesanales.

En las salinas de Trapani (Italia) ya se utiliza esta solución, con ella se pretende evitar la exposición de las sales apiladas a la lluvia e inclemencias, y así permitir la máxima preservación de la sal en condiciones óptimas. Esto, además, puede tener un aliciente, y es que proteger la sal de la atmósfera, la protegerá, a su vez, de los microplásticos.

Para el cálculo de esta opción se va a suponer un montón de sal con un peso de 25 toneladas. Teniendo en cuenta la densidad de sal, y utilizando las mismas proporciones de montón utilizadas anteriormente, este tendría un diámetro máximo y una altura de 3,54 metros.

Con ello, calculando el área de la superficie lateral del cono, que sería aquella a cubrir por las tejas, se obtiene un área de 21,96 m². Así, el resultado de la inversión se presenta en la Tabla 12.

Tejas seleccionadas	
Altura útil (metros)	0,5
Anchura útil (metros)	0,21
Área útil (m ²)	0,105
Precio unitario (€)	1,09
Conclusiones	
Área por recubrir (m ²)	21,96
Número de tejas	209,12
Precio total (€)	227,94

Tabla 12: Presupuesto aproximado compra de tejas [Elaboración propia]

Además, como punto positivo de esta solución, se indica la larga duración de las tejas, que puede durar varios años. Sin embargo, cabe destacar que será requerida mano de obra para la colocación anual de las tejas, con los costes que ello pueda suponer.

8.2.2 OPCIÓN 2. CORTINAS NATURALES

Una opción factible tanto para las salinas industriales y artesanales consiste en la instalación de cortinas rompevientos. Estas cortinas se utilizan para frenar el viento predominante de la zona y son comunes en cultivos agrícolas o en instalaciones ganaderas. Con ellas, se pretende frenar el viento predominante de la zona salinera, de modo que la sal amontonada quedara más protegida de la acción de este, y con ello de la contaminación por microplásticos.

En el caso presente, se propone la instalación de cortinas cortavientos consistentes en árboles autóctonos de la zona salinera. Así, la elección deberá variarse en función de la zona en la que se encuentre la zona salinera. Para realizar un caso general, en este estudio se va a utilizar el ciprés mediterráneo, se trata de un árbol muy resistente a las condiciones climáticas adversas, a la salinidad media de la tierra, y es de hoja perenne. Sin embargo, existen otros árboles resistentes a la salinidad que también se podrían utilizar, como la variedad *Tamarix*

canariensis (altura máxima entre 5 y 6 metros) o *Eucalyptus* (altura máxima entre 30 y 50 metros).

Antes de comenzar el análisis económico, y atendiendo a la Figura 64, se va a determinar el lugar donde debería quedar amontonada la sal, de modo que esta cortina no afecte a los vientos necesarios para evacuar el vapor de agua en las primeras etapas.

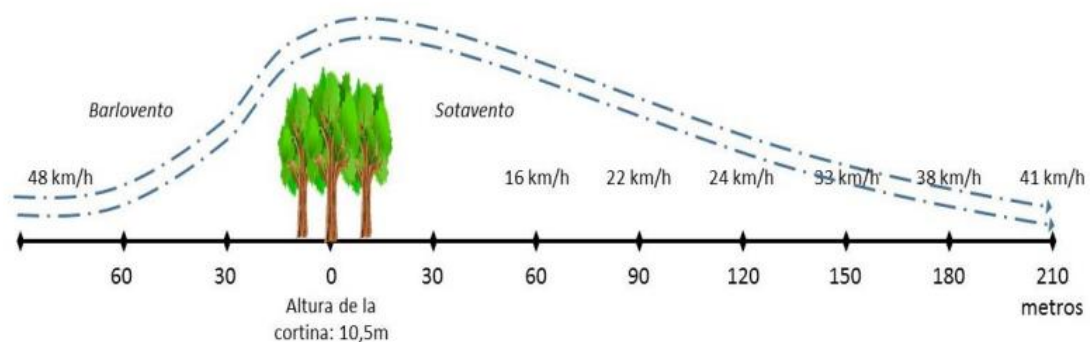


Figura 64: diagrama tamaño zona de sotavento tras cortina de viento [OBER20]

Con esta figura se pueden obtener conclusiones acerca de la distribución de montones en la salina. Para una cortina de 10,50 metros de altura, estos deberán encontrarse, como mucho, a 60 metros de la cortina (sotavento). Mientras, el resto de la salina que sí necesita la acción del viento, a más de 60 metros, o en su lugar, a barlovento.

A continuación, se realiza el análisis económico. Se representa en la Tabla 13, y tomando montones de sal de 122 toneladas y de 25 toneladas, para adaptar el estudio a ambos tipos de salina, se va a calcular el coste por montón.

Árbol escogido		<i>Cupressus sempervirens</i>	
Altura del árbol (metros)		30	
Anchura máxima del árbol (metros)		1	
Precio unitario (€)		6,67	
Salina Industrial		Salina Artesanal	
Diámetro Montón (metros)	6	Diámetro Montón (metros)	3,54
Margen lateral (metros)	1	Margen lateral (metros)	1
Número de árboles	8	Número de árboles	6
Precio total (€)	53,36	Precio total (€)	40,02

Tabla 13: Presupuesto cortina de viento [Elaboración propia]

En este caso, se han seleccionado plantones de ciprés de 1,25 metros de alto. Para este árbol, la velocidad de crecimiento es de 45 cm al año, por lo tanto, para obtener una altura de seis metros, se precisarían 11 años. Este tiempo se podría disminuir aumentando el tamaño de los plantones, y con ello el precio de estos. Como el plantón máximo a comprar es de 2 metros de altura (con un precio de 30,24 €), lo que conlleva una diferencia de dos años de crecimiento, no es rentable optar por comprar plantones más altos.

Esta solución no impedirá por completo la contaminación de las sales apiladas después de la cosecha en la intemperie, sin embargo, sí reducirá en gran medida su exposición al viento y, del mismo modo, la exposición a los microplásticos que este transporta. Cabe destacar que, para su máxima eficacia, la cortina debe establecerse perpendicular a la dirección del viento.

A continuación, se realiza un análisis para determinar la altura máxima de los montones de sal (y por lo tanto su capacidad) dependiendo de la fase de crecimiento de los árboles. De modo que al periodo de tiempo comprendido entre la plantación de los mismos hasta el alcance de su altura máximo se le denominará fase de transición y variará cada año. Para ello, se va a determinar la relación entre la altura del árbol y la longitud de la zona a sotavento atendiendo a las proporciones de la figura. Con ello, para una altura de 10,5 metros, se establece una longitud de la zona a sotavento de 60 metros. Así, en la Tabla 14 quedan representada las toneladas de sal que contienen los cuatro montones colocados detrás de la cortina, para una altura máxima de los mismos de 6 metros.

Año	Altura árbol (metros)	Toneladas de sal
Año 1	1,25	1,08
Año 2	1,7	2,71
Año 3	2,15	5,48
Año 4	2,6	9,70
Año 5	3,05	15,65
Año 6	3,5	23,65
Año 7	3,95	34,00
Año 8	4,4	47,00
Año 9	4,85	62,94
Año 10	5,3	82,14
Año 11	5,75	104,89
Año 12	6,2	126,99
Año 13	6,65	146,91
Año 14	7,1	167,92
Año 15	7,55	183,75
Año 16	8	202,37
Año 17	8,45	212,03
Año 18	8,9	223,41
Año 19	9,35	226,19
Año 20	9,8	226,19
Año 21	10,25	226,19

Tabla 14: Toneladas de sal por año tras la cortina de viento [Elaboración propia]

8.3 TURISMO Y SOSTENIBILIDAD

Como ventajas de las soluciones propuestas se incluyen aquellas relacionadas a las zonas salineras españolas, característicamente en zonas protegidos y constituyéndose como focos fundamentales para el turismo. De este modo, acciones como cubrir los montones de las salinas con tejas pueden conformar paisajes característicos que aumenten el patrimonio del lugar. Este efecto puede incrementarse mediante la adopción de plantas autóctonas para la conformación de las barreras naturales.

Capítulo 9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este apartado se van a mostrar las conclusiones obtenidas en el apartado análisis de resultados. Así, se van a explicar las principales evidencias, y se va a realizar una guía sobre lo que convendría realizar en trabajos futuros para continuar aumentando la literatura sobre la materia.

De este modo, este estudio ha consistido en un análisis general de las muestras disponibles hasta la fecha, de modo que las conclusiones obtenidas deberán ser analizadas en profundidad para determinar con la máxima certeza la veracidad de las mismas. Para ello, se deberá continuar con el protocolo de muestreo y estudio descritos en el trabajo de fin de master ya mencionado “Microplásticos en Salinas de España y Portugal”, por Cristina Espinosa de los Monteros López, y el presente proyecto, para poder avanzar en el estudio y análisis sobre microplásticos en salinas.

9.1 CONCLUSIONES

Como se ha comprobado en el apartado análisis de resultados, y en contra a la corriente actual que establece que las sales de mesa obtenidas por métodos tradicionales se contaminan por microplásticos debido a la presencia de los mismos en el agua de la que se extrae la sal, todo parece indicar que esta contaminación se realiza más bien mediante el medio aéreo.

El hecho de que el primer punto de muestreo de las salinas de interior contenga menos microplásticos que las siguientes etapas, conlleva que la contaminación se realiza una vez el agua emerge del manantial y ocupa las balsas desalinizadoras en contacto con la intemperie. Además, se ha comprobado de igual modo que la sal lavada es la que menos microplásticos

contiene, y que los posteriores procesos, como el amontonamiento a la intemperie hace aumentar su número en gran medida.

Se ha determinado también en el apartado análisis de resultados que, a la hora de tratar las muestras obtenidas a partir del producto final, la cantidad de microplásticos no varía según si la salina de procedencia es una salina de interior o es una salina costera. Así, en un principio podría parecer que la salina de interior, debido a que su agua es subterránea, debería presentar menos contaminación, y ocurre lo opuesto. Aunque el agua de procedencia no esté contaminada, sí lo está el producto final, lo que determina que la contaminación se realiza en las etapas posteriores.

Cabe destacar, de igual modo, que los productos finales de las salinas ubicadas geográficamente en espacios naturales protegidos presentan un número inferior de microplásticos. Así, se establece que el entorno y el ambiente en el que se ubica la salina influye de manera determinante acerca de la exposición a estas micropartículas.

También, se ha demostrado que el envasado de la sal no altera en gran medida el número de microplásticos contenidos en los productos finales. Esto muestra que la principal fuente del problema se encuentra una vez la sal ha sido lavada y se almacena. De este modo, las salinas deberán prestar una mayor atención al proceso de almacenado y a la ubicación de este.

Para finalizar y mediante el análisis de los colores, se ha descubierto que, aunque el color mayoritario sea en todos los casos el transparente, excepto en la salina F (punto de muestreo 7), que se trata de una muestra contaminada, el siguiente color mayoritario es el azul. Este color es el mismo utilizado en los monos de trabajo de los salineros, lo que una vez más demuestra que la fuente de los microplásticos es el tratado realizado a la sal una vez lavada.

Mediante el análisis estadístico realizado, se ha hallado que el tamaño de los microplásticos encontrados en cada salina puede considerarse igual, aunque no ocurre lo mismo con el color, ya que muestra una variabilidad muy superior. Esto demuestra que, si los microplásticos contaminan a través de la atmósfera, se realiza en un ambiente cercano. Si el radio de contaminación fuera superior, los colores encontrados deberían ser semejantes, y no es el

caso. Este fenómeno también puede deberse a la metodología y herramientas de trabajo llevadas a cabo en cada salina.

9.2 TRABAJOS FUTUROS

Las muestras analizadas en el presente proyecto para realizar el análisis de resultados provenían de las muestras obtenidas durante la realización del TFM anterior “Microplásticos en Salinas de España y Portugal” por Cristina Espinosa de los Monteros López. Así para trabajos futuros y como continuación a la rama de estudio, sería interesante realizar un análisis sobre cómo influye el factor tiempo a las muestras. Para ello, convendría analizar para las mismas muestras el número de microplásticos, junto con su tamaño y color, en distintos periodos de tiempo y así poder determinar si este factor influye o no a la hora de utilizar estos datos.

Además, tanto la medida, como el conteo y fotografía de microplásticos se ha realizado de manera manual, esto es, recorrer con el microscopio la totalidad de la muestra en busca de fibras. Esto conlleva un trabajo arduo y mucho tiempo para analizar cada muestra. Así, convendría en vista de futuros trabajos automatizar este proceso, de manera que llegue a ser más rápido, cómodo y preciso.

En este proyecto no se han podido analizar micropartículas más allá de las fibras debido a la dificultad de definir si el material observado en el microscopio se trata o no de plástico, o un mineral. Así, en vista a la continuación de la investigación y de hacer un estudio más preciso y exhaustivo convendría utilizar la tecnología micro F-TIR con la que poder determinar con exactitud el tipo de material observado.

Además, conocer el tipo de material ayudaría a determinar en gran medida la procedencia de los microplásticos. Es decir, si este proviene, como se sospecha, de los monos de trabajo utilizados por los salineros, o si proviene de otros factores, véase mascarillas, bolsas, embalaje, etc.

También se ha determinado, gracias a las evidencias obtenidas en el apartado análisis de resultados, que la contaminación se produce debido a la atmósfera. Sin embargo, y para concluir esto con mayor seguridad, convendría realizar un análisis sobre las posibilidades de filtración de microplásticos hacia aguas subterráneas, para así determinar otras fuentes de contaminación. Ya se mostraron estudios en el apartado estado de la cuestión, que abogaban por una contaminación de las aguas subterráneas, y del suelo, a través de las lluvias que contenían microplásticos. Cabría determinar cómo afecta este fenómeno a las salinas de interior.

El color de microplásticos hallado en mayor proporción ha sido el transparente. Sin embargo, se desconoce si esto se debe a que sean los plásticos más utilizados, o a que los microplásticos se destiñen. Por ello, podría resultar conveniente realizar un estudio que analice el deterioro del plástico en distintos medios como el acuático en agua salada y dulce, y el aéreo, simulando condiciones ambientales alternas. Con ello se podría determinar la razón de la presencia mayoritaria de esta característica.

Como se desconoce el efecto de la densidad sobre la distribución de los microplásticos en el medio, también convendría realizar una investigación sobre ella. Así, sería posible determinar si varían los resultados según el lugar de recolección de muestras. Esto se ha visto en el análisis de la salina E, en la que en la orilla de una extensión grande y expuesta de agua se ha encontrado un mayor número que en el resto de las muestras.

Capítulo 10. RECOMENDACIONES PARA LAS EMPRESAS

En el presente apartado se van a realizar informes de recomendaciones para las empresas encargadas del control y gestión de las salinas estudiadas. Se realizará dicho informe para aquellas salinas activas, y este presentará en todos los casos la misma estructura, la cual se definirá a continuación:

- Párrafo introductorio. En dicho párrafo se explicará el objetivo del informe, el método de análisis y se introducirán los resultados.
- Enumeración de los puntos de muestreo analizados.
- Recomendaciones por punto de muestreo. Según los resultados obtenidos, en ellas se podrán incluir, además, las gráficas obtenidas en el análisis realizado.
- Recomendaciones generales. Aquellas obtenidas para todas las salinas, aunque no aplique a la misma en concreto.

Así, a continuación, se presentan dichos informes.

10.1 SALINA A

A partir de los resultados obtenidos de las muestras obtenidas en las distintas etapas que constituyen la salina, se presenta el siguiente informe. En él se va a realizar un análisis a partir de los resultados obtenidos con relación al número, tamaño y color de los microplásticos, de modo que la empresa salinera encargada sea consciente de la contaminación a la cual está expuesta la salina. De este modo, primero, se enumerarán los puntos de muestreo de la salina analizados y se mostrarán recomendaciones para la salina en base a los resultados obtenidos.

10.1.1 PUNTOS DE MUESTREO

1. Boca de entrada a la salina.
2. Entrada a los concentradores.
3. Entrada a los cristalizadores.
4. Salida de cristalizadores.
5. Sal cristalizada en los cristalizadores.
6. Sal lavada.
7. Sal apilada durante al menos seis meses.
8. Sal envasada durante la cosecha.
9. Sal envasada más de seis meses.

10.1.2 RECOMENDACIONES

En esta salina se ha apreciado una tendencia descendiente a la hora de analizar los microplásticos en los primeros puntos, del primero al sexto. Posteriormente, el número de microplásticos crece de forma considerable. (Figura 65)

Así, se recomienda controlar el entorno de amontonado y envasado de la sal, ya que se aprecia un incremento de microplásticos en estas etapas.

Además, cabe destacar que los colores más presentes son el transparente, azul, rojo y negro. De modo que si los monos de los trabajadores, los sacos donde se almacena la sal, o las

herramientas utilizadas son de esos colores, se recomienda el control y aumentar la precaución en orden de prevenir la contaminación por microplásticos. (Figura 67)

En cuanto al análisis de colores, más adelante se realizará un control más exhaustivo y se identificará el tipo de plásticos. Con ello se podrá identificar mejor si la contaminación proviene del trabajo de la salina, o de fuentes externas.

Se informa igualmente que los tamaños más comunes en todas las etapas son 200 μm - 630 μm y 630 μm - 5 mm. (Figura 66)

Por último, se añade que los resultados del estudio indican que la contaminación por microplásticos se realizan por el aire, así, se recomienda controlar el entorno de almacenamiento de la misma y, en el caso de realizarse a la intemperie, intentar cubrirla o investigar sobre nuevos métodos de almacenaje.

10.1.3 GRÁFICAS DE RESULTADOS

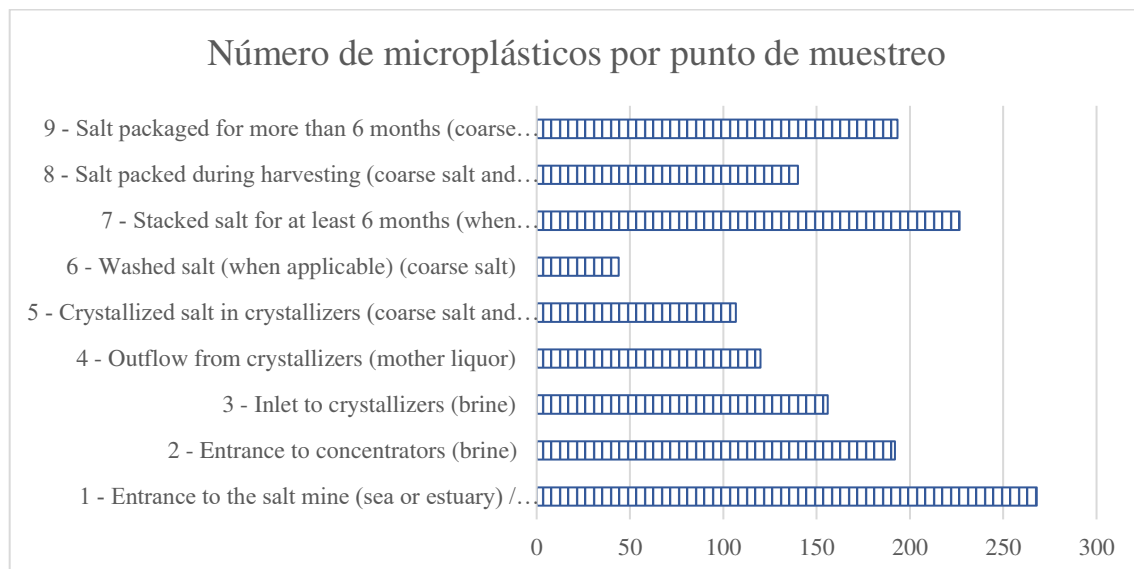


Figura 65: Salina A - Número por punto de muestreo [Elaboración propia]

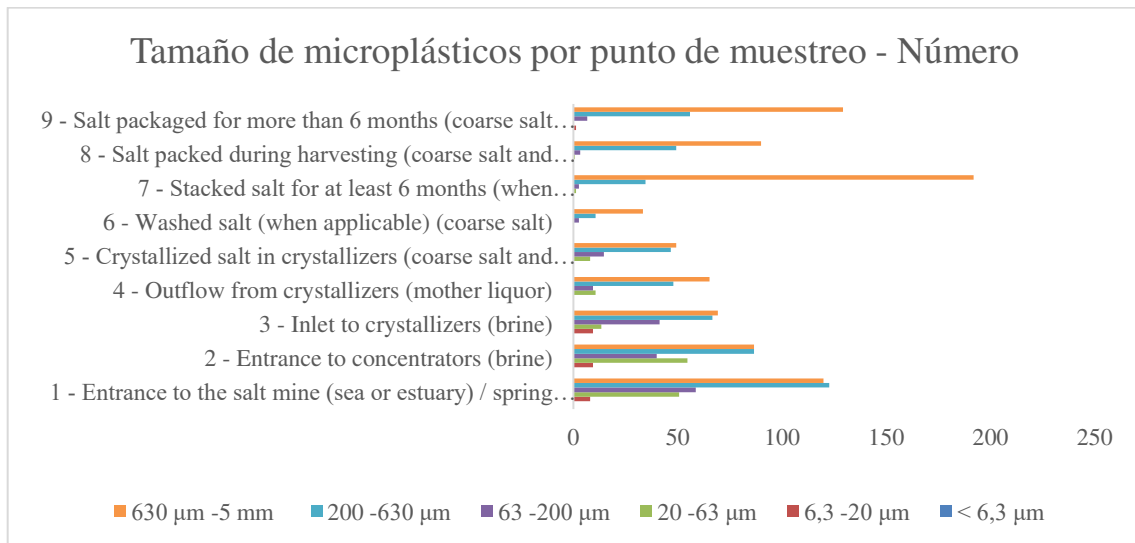


Figura 66: Salina A - Tamaño por punto de muestreo [Elaboración propia]

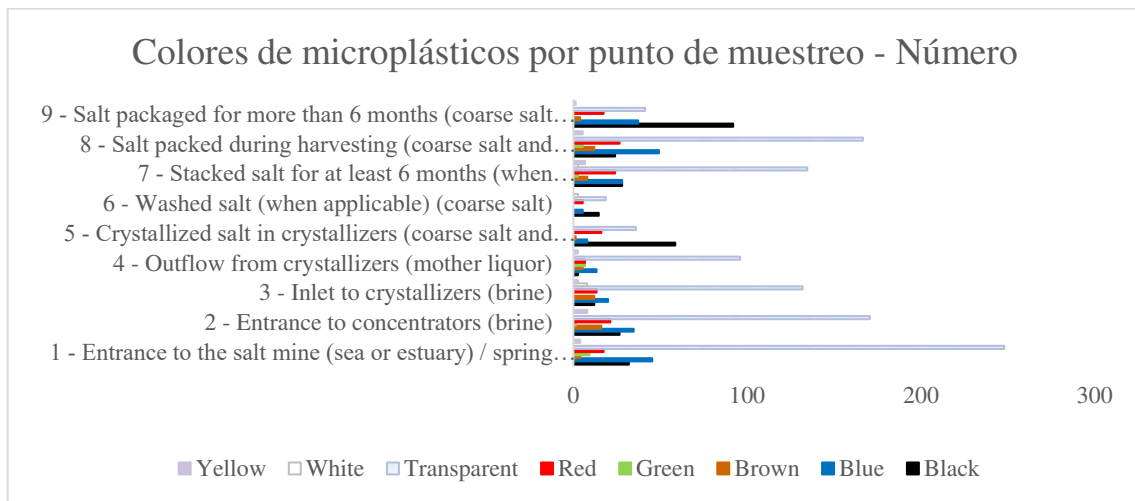


Figura 67: Salina A - Color por punto de muestreo [Elaboración propia]

10.1.4 RESUMEN

- Tendencia: decreciente hasta el punto de muestreo 5. La mayor parte aparece tras el punto de muestreo 6.
- Colores más frecuentes: transparente, azul, rojo y negro.
- Tamaños más frecuentes: 200 µm - 630 µm y 630 µm - 5 mm.

- Los resultados de la investigación indican que la contaminación por microplásticos se realiza por el aire.

10.2 SALINA B

A partir de los resultados obtenidos de las muestras obtenidas en las distintas etapas que constituyen la salina, se presenta el siguiente informe. En él se va a realizar un análisis a partir de los resultados obtenidos con relación al número, tamaño y color de los microplásticos, de modo que la empresa salinera encargada sea consciente de la contaminación a la cual está expuesta la salina. De este modo, primero, se enumerarán los puntos de muestreo de la salina analizados y se mostrarán recomendaciones para la salina en base a los resultados obtenidos.

10.2.1 PUNTOS DE MUESTREO

1. Boca de entrada a la salina.
2. Entrada a los concentradores.
3. Entrada a los cristalizadores.
4. Salida de cristalizadores.
5. Sal cristalizada en los cristalizadores.
6. Sal lavada.
7. Sal envasada durante la cosecha.
8. Sal envasada más de seis meses.

10.2.2 RECOMENDACIONES

En esta salina se ha apreciado una tendencia descendiente a la hora de analizar los microplásticos en las primeras etapas, de la primera a la quinta. Posteriormente, el número de microplásticos crece de forma considerable. (Figura 68)

Además, cabe destacar que los colores más presentes son el transparente, azul, rojo y verde. De modo que si los monos de los trabajadores, los sacos donde se almacena la sal, o las

herramientas utilizadas son de esos colores, se recomienda el control y aumentar la precaución en orden de prevenir la contaminación por microplásticos. (Figura 70)

En cuanto al análisis de colores, más adelante se realizará un control más exhaustivo y se identificará el tipo de plásticos. Con ello se podrá identificar mejor si la contaminación proviene del trabajo de la salina, o de fuentes externas.

Se informa igualmente que los tamaños más comunes en todas las etapas son 200 μm -630 μm y 630 μm - 5 mm. (Figura 69)

Por último, se añade que los resultados del estudio indican que la contaminación por microplásticos se realizan por el aire, así, se recomienda controlar el entorno de almacenamiento de la misma y, en el caso de realizarse a la intemperie, intentar cubrirla o investigar en nuevos métodos de almacenamiento.

10.2.3 GRÁFICAS DE RESULTADOS

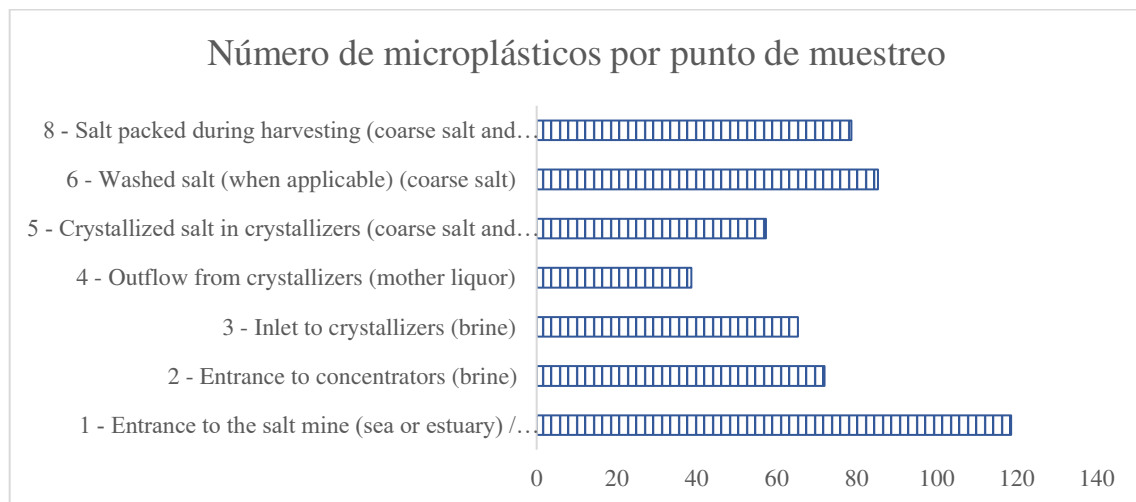


Figura 68: Salina B - Número por punto de muestreo [Elaboración propia]

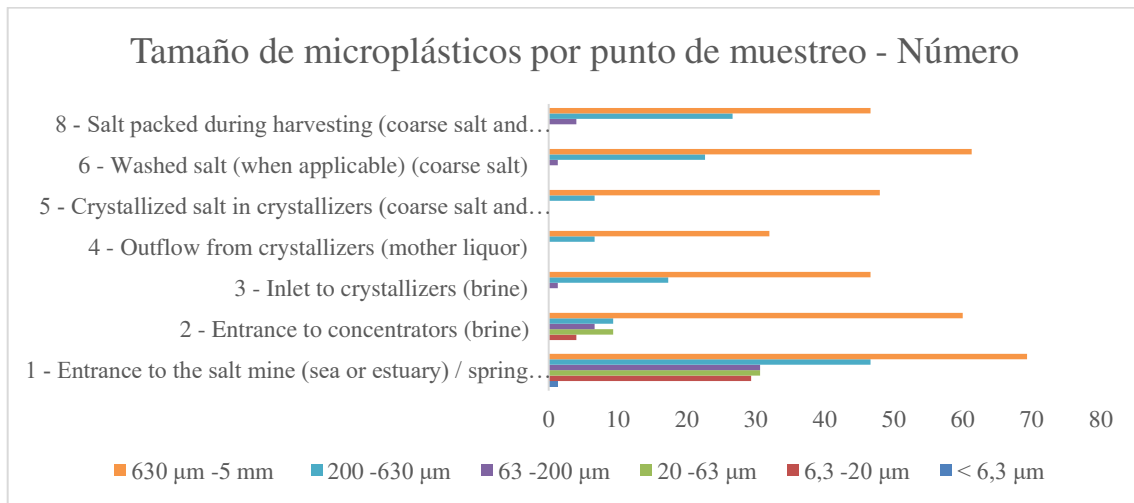


Figura 69: Salina B - Tamaño por punto de muestreo [Elaboración propia]

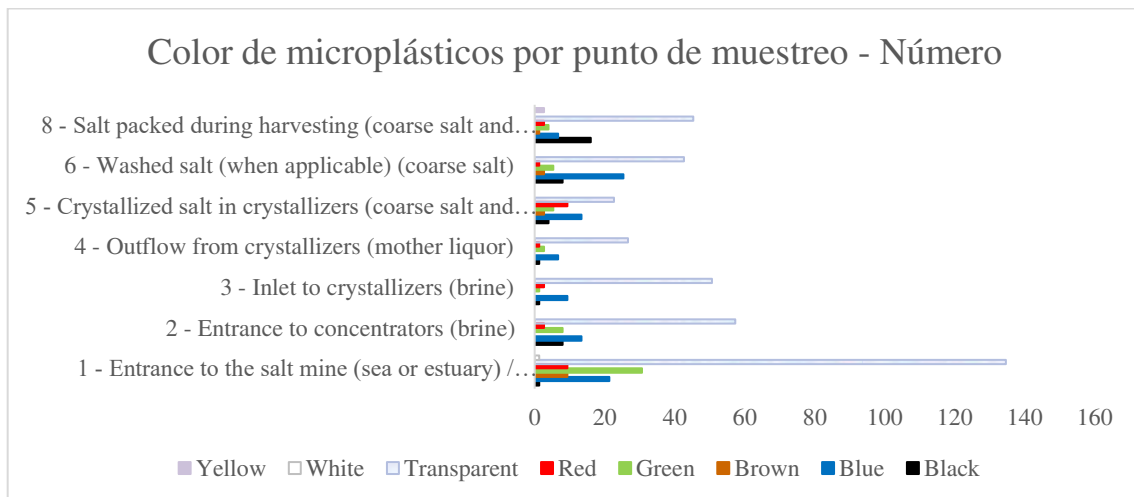


Figura 70: Salina B - Color por punto de muestreo [Elaboración propia]

10.2.4 RESUMEN

- Tendencia: decreciente hasta la punto de muestreo 4.
- Colores más frecuentes: transparente, azul, rojo y verde.
- Tamaños más frecuentes: 200 µm - 630 µm y 630 µm - 5 mm.
- Los resultados de la investigación indican que la contaminación por microplásticos se realiza por el aire.

10.3 SALINA F

A partir de los resultados obtenidos de las muestras obtenidas en las distintas etapas que constituyen la salina, se presenta el siguiente informe. En él se va a realizar un análisis a partir de los resultados obtenidos con relación al número, tamaño y color de los microplásticos, de modo que la empresa salinera encargada sea consciente de la contaminación a la cual está expuesta la salina. De este modo, primero, se enumerarán los puntos de muestreo de la salina analizados y se mostrarán recomendaciones para la salina en base a los resultados obtenidos.

10.3.1 PUNTOS DE MUESTREO

1. Boca de entrada a la salina.
2. Entrada a los concentradores.
3. Entrada a los cristalizadores.
4. Sal cristalizada en los cristalizadores.
5. Sal apilada durante al menos seis meses.
6. Sal envasada más de seis meses.

10.3.2 RECOMENDACIONES

En esta salina se ha apreciado una tendencia creciente del punto de muestreo uno al punto de muestreo dos en relación al número de fibras encontradas. Mientras, los puntos 4, 5 y 6 tienen números semejantes de microplásticos. (Figura 71)

Además, cabe destacar que el color más presente es el color negro. De modo que si los monos de los trabajadores, los sacos donde se almacena la sal, o las herramientas utilizadas son de esos colores, o si circula maquinaria con neumáticos por el interior de la instalación, se recomienda el control y aumentar la precaución en orden de prevenir la contaminación por microplásticos. (Figura 73)

En cuanto al análisis de colores, más adelante se realizará un control más exhaustivo y se identificará el tipo de plásticos. Con ello se podrá identificar mejor si la contaminación proviene del trabajo de la salina, o de fuentes externas.

Se informa igualmente que los tamaños más comunes en todas las etapas son 200 μm -630 μm y 630 μm - 5 mm. (Figura 72)

Por último, se añade que los resultados del estudio indican que la contaminación por microplásticos se realizan por el aire, así, se recomienda controlar el entorno de almacenamiento de la misma y, en el caso de realizarse a la intemperie, intentar cubrirla o investigar en nuevos métodos de almacenamiento.

10.3.3 GRÁFICAS DE RESULTADOS

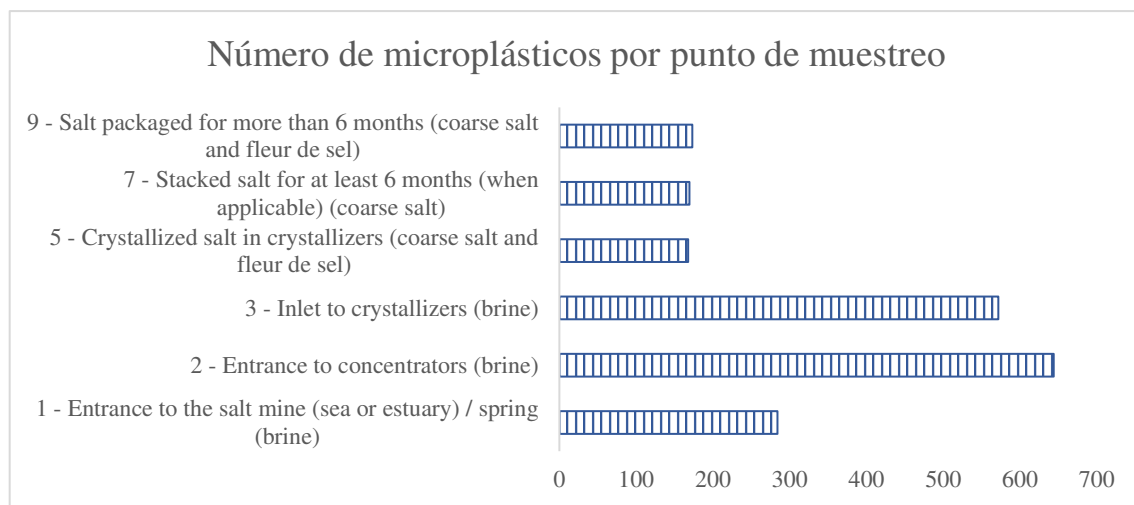


Figura 71: Salina F - Número por punto de muestreo [Elaboración propia]

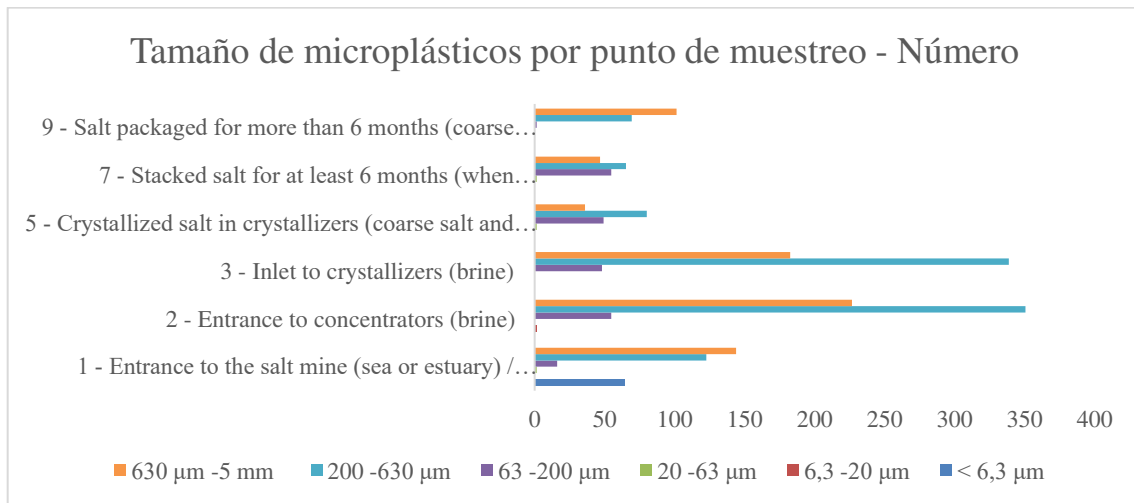


Figura 72: Salina F - Tamaño por punto de muestreo [Elaboración propia]

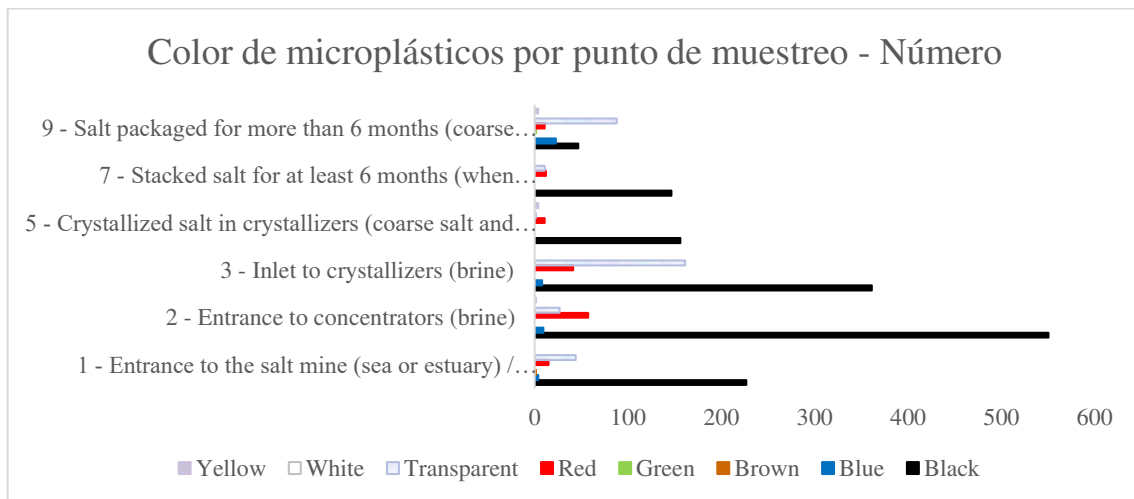


Figura 73: Salina F - Color por punto de muestreo [Elaboración propia]

10.3.4 RESUMEN

- Tendencia: creciente entre los puntos 1 y 2, decreciente entre los puntos 2 y 3. Posteriormente constante.
- Colores más frecuentes: negro.
- Tamaños más frecuentes: 200 µm - 630 µm y 630 µm - 5 mm.
- Los resultados de la investigación indican que la contaminación por microplásticos se realiza por el aire.

10.4 SALINA G

A partir de los resultados obtenidos de las muestras obtenidas en las distintas etapas que constituyen la salina, se presenta el siguiente informe. En él se va a realizar un análisis a partir de los resultados obtenidos con relación al número, tamaño y color de los microplásticos, de modo que la empresa salinera encargada sea consciente de la contaminación a la cual está expuesta la salina. De este modo, primero, se enumerarán los puntos de muestreo de la salina analizados y se mostrarán recomendaciones para la salina en base a los resultados obtenidos.

10.4.1 PUNTOS DE MUESTREO

1. Boca de entrada a la salina.
2. Entrada a los concentradores.
3. Entrada a los cristalizadores.
4. Sal lavada.
5. Sal envasada durante la cosecha.

10.4.2 RECOMENDACIONES

En esta salina se ha apreciado una tendencia creciente del punto de muestreo uno al punto de muestreo dos en relación al número de fibras encontradas. Mientras, los puntos 4 y 5 tienen números semejantes de microplásticos. (Figura 74)

Además, cabe destacar que el color más presente es el color transparente. En la punto de muestreo dos, predominan además los colores verde, azul y rojo. De modo que si los monos de los trabajadores, los sacos donde se almacena la sal, o las herramientas utilizadas son de esos colores, o si circula maquinaria con neumáticos por el interior de la instalación, se recomienda el control y aumentar la precaución en orden de prevenir la contaminación por microplásticos. (Figura 76)

En cuanto al análisis de colores, más adelante se realizará un control más exhaustivo y se identificará el tipo de plásticos. Con ello se podrá identificar mejor si la contaminación proviene del trabajo de la salina, o de fuentes externas.

Se informa igualmente que los tamaños más comunes en todas las etapas son 200 µm - 630 µm y 630 µm - 5 mm. En el punto de muestreo 2, además, se incrementa el número de microplásticos del rango 6,3 µm - 20 µm. (Figura 75)

Por último, se añade que los resultados del estudio indican que la contaminación por microplásticos se realizan por el aire, así, se recomienda controlar el entorno de almacenamiento de la misma y, en el caso de realizarse a la intemperie, intentar cubrirla o investigar en nuevos métodos de almacenamiento.

10.4.3 GRÁFICAS DE RESULTADOS

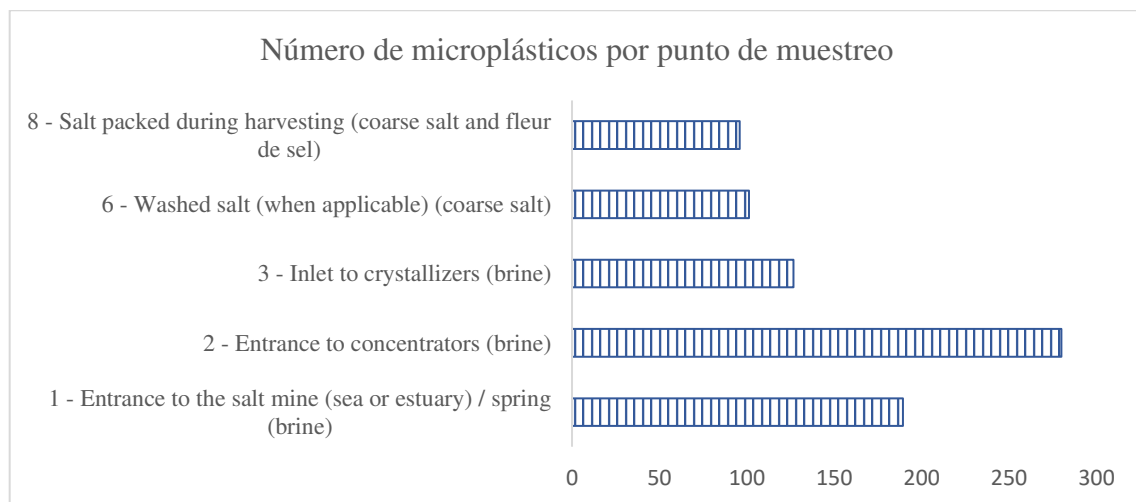


Figura 74: Salina G - Número por punto de muestreo [Elaboración propia]

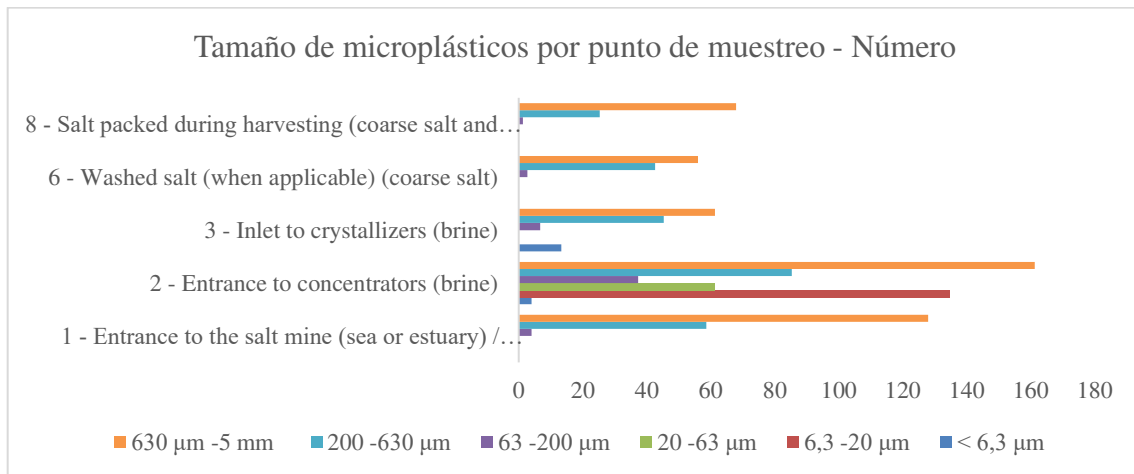


Figura 75: Salina G - Tamaño por punto de muestreo [Elaboración propia]

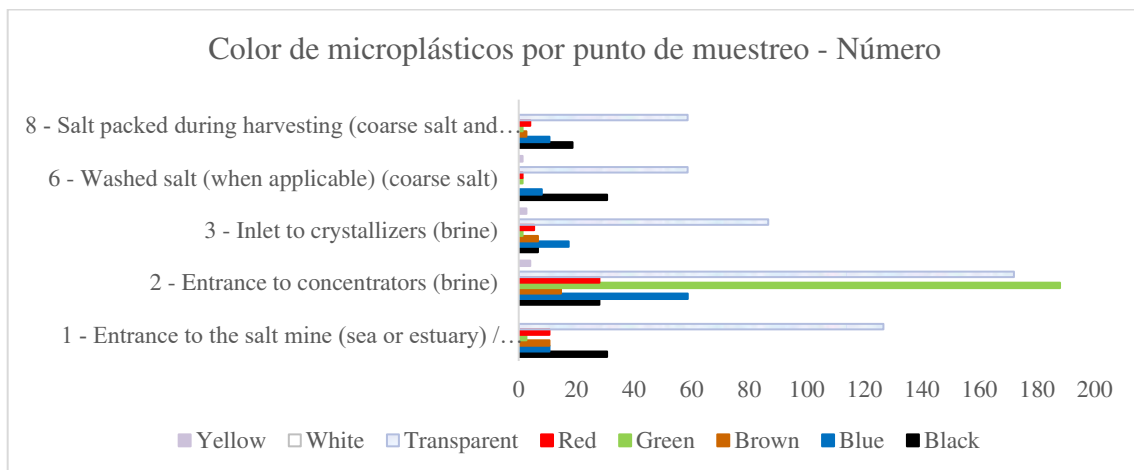


Figura 76: Salina G - Color por punto de muestreo [Elaboración propia]

10.4.4 RESUMEN

- Tendencia: creciente entre los puntos 1 y 2, decreciente entre los puntos 2 y 3. Posteriormente constante.
- Colores más frecuentes: transparente. Verde, azul y rojo (punto de muestreo 2).
- Tamaños más frecuentes: 200 µm - 630 µm y 630 µm - 5 mm. 6,3 µm - 20 µm (punto de muestreo 2).
- Los resultados de la investigación indican que la contaminación por microplásticos se realiza por el aire.

10.5 SALINA H

A partir de los resultados obtenidos de las muestras obtenidas en las distintas etapas que constituyen la salina, se presenta el siguiente informe. En él se va a realizar un análisis a partir de los resultados obtenidos con relación al número, tamaño y color de los microplásticos, de modo que la empresa salinera encargada sea consciente de la contaminación a la cual está expuesta la salina. De este modo, primero, se enumerarán los puntos de muestreo de la salina analizados y se mostrarán recomendaciones para la salina en base a los resultados obtenidos.

10.5.1 PUNTOS DE MUESTREO

1. Boca de entrada a la salina.
2. Entrada a los concentradores.
3. Entrada a los cristalizadores.
4. Sal envasada más de seis meses.

10.5.2 RECOMENDACIONES

En esta salina se ha apreciado una tendencia descendiente a la hora de analizar los microplásticos en las primeras etapas, de la primera a la tercera. Posteriormente, el número de microplásticos crece de forma considerable. (Figura 77)

Así, se recomienda controlar el entorno de amontonado y envasado de la sal, ya que se aprecia un incremento de microplásticos en estos puntos.

Además, cabe destacar que los colores más presentes son el transparente y negro, este último sobre todo en la punto de muestreo 4. De modo que si los monos de los trabajadores, los sacos donde se almacena la sal, o las herramientas utilizadas son de esos colores, se recomienda el control aumentar la precaución en orden de prevenir la contaminación por microplásticos. (Figura 79)

En cuanto al análisis de colores, más adelante se realizará un control más exhaustivo y se identificará el tipo de plásticos. Con ello se podrá identificar mejor si la contaminación proviene del trabajo de la salina, o de fuentes externas.

Se informa igualmente que los tamaños más comunes en todas los puntos de muestreo son 200 μm - 630 μm y 630 μm – 5 mm. (Figura 78)

Por último, se añade que los resultados del estudio indican que la contaminación por microplásticos se realizan por el aire, así, se recomienda controlar el entorno de almacenamiento de la misma y, en el caso de realizarse a la intemperie, intentar cubrirla o investigar en nuevos métodos de almacenamiento.

10.5.3 GRÁFICAS DE RESULTADOS

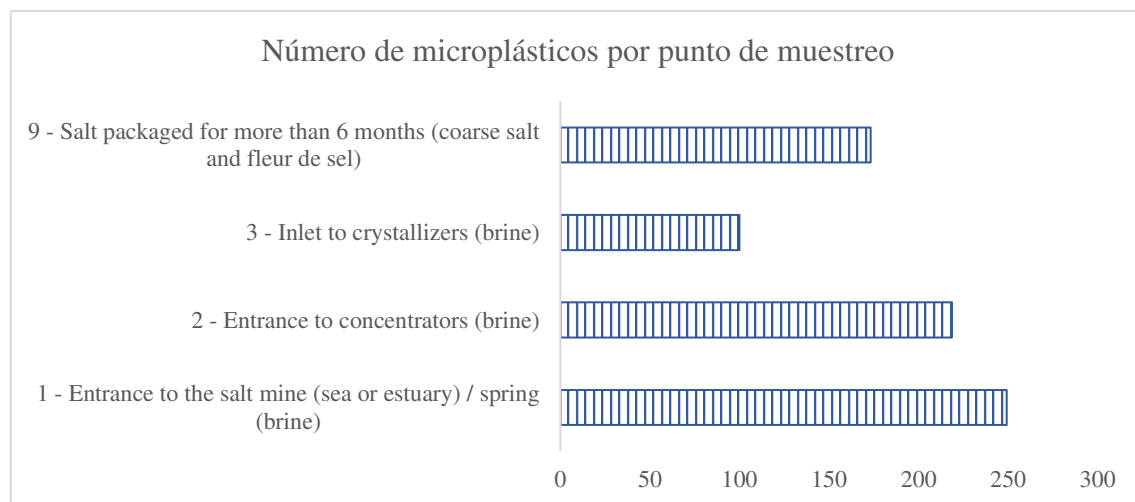


Figura 77: Salina H - Número por punto de muestreo [Elaboración propia]

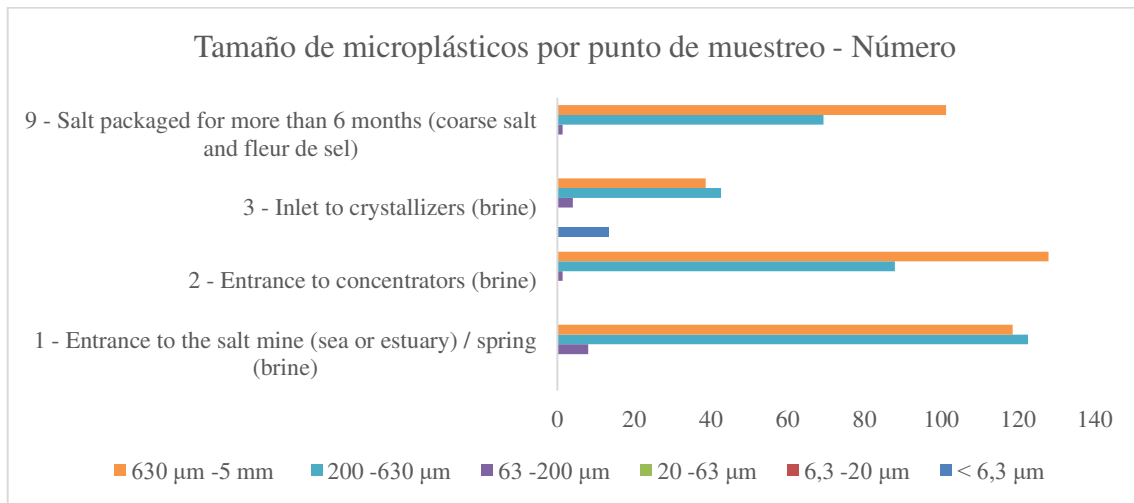


Figura 78: Salina H - Tamaño por punto de muestreo [Elaboración propia]

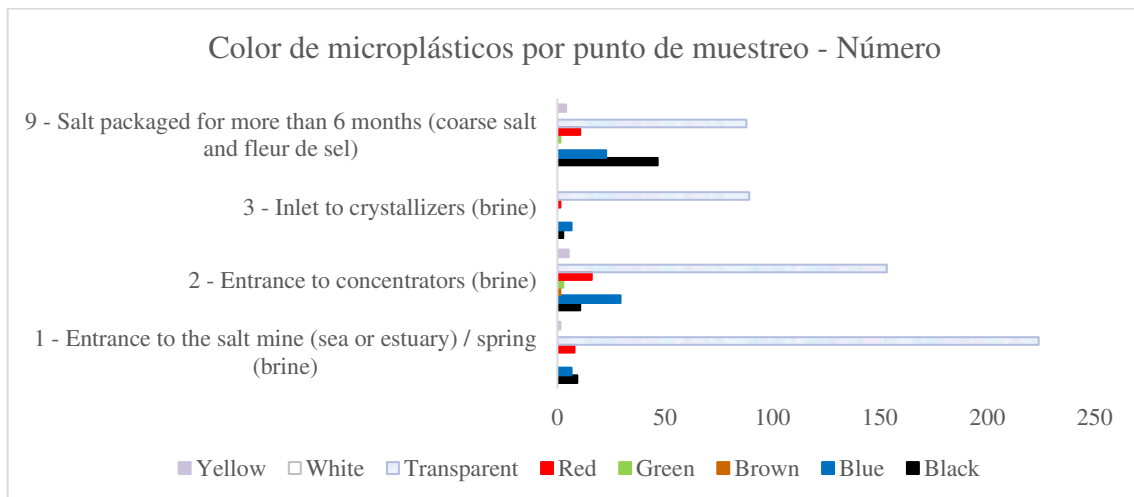


Figura 79: Salina H - Color por punto de muestreo [Elaboración propia]

10.5.4 RESUMEN

- Tendencia: decreciente puntos del 1 al 3.
- Colores más frecuentes: transparente y negro.
- Tamaños más frecuentes: 200 µm - 630 µm y 630 µm – 5 mm.
- Los resultados de la investigación indican que la contaminación por microplásticos se realiza por el aire.

Capítulo 11. BIBLIOGRAFÍA

- [ANDR17] Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine pollution bulletin*, 119(1), 12-22.
- [BAJT21] Bajt, O. (2021). From plastics to microplastics and organisms. *FEBS Open bio*, 11(4), 954-966.
- [BALL14] Ballesteros, G. A. (2014). Configuración del paisaje en las explotaciones salineras litorales mediterráneas: El caso de las salinas de San Pedro del Pinatar (Murcia, España). In *Anales de Geografía* (Vol. 34, No. 1, pp. 33-59).
- [BOUCH20] Boucher, J., & Billard, G. (2020). *The Mediterranean: Mare plasticum*. Gland, Switzerland: IUCN. x, 62.
- [CARP72] Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P., & Peck, B. B. (1972). Polystyrene spherules in coastal waters. *Science*, 178(4062), 749-750.
- [ESPI21] Espinosa de los Monteros, (2021). “Detección de Microplásticos en Salinas de España y Portugal”.
- [FEND09] Fendall, L. S., & Sewell, M. A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Marine pollution bul*, 58(8), 1225-1228
- [FRIA19] Frias, J. P., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine pollution bulletin*, 138, 145-147.
- [HUES22] Hueso Kortekaas, C. (2022). *Salt in our veins. The patrimonialization processes of artisanal salt and saltscapes in Europe and their contribution to local development*. Pergamon Verlag (Kaiserslautern, Alemania).

- [IÑIG17] Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific reports*, 7(1), 1-7.
- [KUMA21] Kumar, R., Sharma, P., & Bandyopadhyay, S. (2021). Evidence of microplastics in wetlands: Extraction and quantification in Freshwater and coastal ecosystems. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101966.
- [LORE19] Lorenz, C., Roscher, L., Meyer, M. S., Hildebrandt, L., Prume, J., Löder, M. G., ... & Gerdts, G. (2019). Spatial distribution of microplastics in sediments and surface waters of the southern North Sea. *Environmental Pollution*, 252, 1719-1729.
- [LUSH15] Lusher, A. (2015). Microplastics in the marine environment: distribution, interactions and effects. In *Marine anthropogenic litter* (pp. 245-307). Springer, Cham.
- [NAPP20] Napper, I. E., Davies, B. F., Clifford, H., Elvin, S., Koldewey, H. J., Mayewski, P. A., ... & Thompson, R. C. (2020). Reaching new heights in plastic pollution—preliminary findings of microplastics on Mount Everest. *One Earth*, 3(5), 621-630.
- [OBER20] Oberschelp, J., Harrand, L., Mastrandrea, C., Salto, C., & Florez, M. (2020). Cortinas forestales: rompevientos y amortiguadoras de deriva de agroquímicos. EEA Concordia. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ediciones INTA. Buenos Aires.
- [PERE07] Pérez, R. M. (2007). Las salinas marítimas de San Pedro del Pinatar. *Revista Murciana de Antropología*, (14), 481-514.
- [PEIX19] Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliva-Teles, L., Guilhermino, L., & Vieira, M. N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 219, 161-168.
- [QIAN21] Qian, J., Tang, S., Wang, P., Lu, B., Li, K., Jin, W., & He, X. (2021). From source to sink: Review and prospects of microplastics in wetland ecosystems. *Science of The Total Environment*, 758, 143633.

- [RAGU22] Ragusa, A., Notarstefano, V., Svelato, A., Belloni, A., Gioacchini, G., Blondeel, C., ... & Giorgini, E. (2022). Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. *Polymers*, 14(13), 2700.
- [REnz18] Renzi, M., & Blašković, A. (2018). Litter & microplastics features in table salts from marine origin: Italian versus Croatian brands. *Marine pollution bulletin*, 135, 62-68.
- [SRID21] Sridharan, S., Kumar, M., Singh, L., Bolan, N. S., & Saha, M. (2021). Microplastics as an emerging source of particulate air pollution: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126245.
- [THOM04] Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., ... & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304.
- [TURA21] Turan, N. B., Erkan, H. S., & Engin, G. O. (2021). Current status of studies on microplastics in the world's marine environments. *Journal of Cleaner Production*, 327, 129394.
- [VETH21] Vethaak, A. D., & Legler, J. (2021). Microplastics and human health. *Science*, 371(6530), 672-674.
- [WRIG13] Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental pollution*, 178, 483-492.
- [ZHAN20] Zhang, Q., Xu, E. G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. Y., & Shi, H. (2020). A review of microplastics in table salt, drinking water, and air: direct human exposure. *Environmental Science & Technology*, 54(7), 3740-3751.

ANEXO I – TABLAS DE RESULTADOS SALINA A

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cantidad	268	192	156	120	107	44	227	140	193
Proporción	19%	13%	11%	8%	7%	3%	16%	10%	13%

Tabla 15: Salina A. Número de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
< 6,3 μm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3 -20 μm	6	6	7	0	0	0	0	0	1
20 - 63 μm	38	39	11	9	7	0	1	1	0
63 -200 μm	43	27	32	8	13	3	3	3	7
200 -630 μm	92	59	52	43	43	10	35	49	56
630 μm – 5 mm	89	59	54	60	44	31	188	87	129

Tabla 16: Salina A. Tamaño de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Negro	24	18	9	2	53	14	27	12	92
Azul	34	24	16	12	7	5	27	24	37
Marrón	3	11	9	5	1	0	8	6	4
Verde	7	1	0	6	0	0	3	3	0
Rojo	12	15	10	6	14	5	24	13	17
Transparente	184	117	104	87	32	17	129	79	41
Blanco	0	0	6	0	0	3	3	0	0
Amarillo	4	6	2	2	0	0	7	3	1

Tabla 17: Salina A. Color de microplásticos

ANEXO II – TABLAS DE RESULTADOS SALINA B

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cantidad	119	72	65	39	57	85	0	79	0
Proporción	23%	14%	13%	7%	11%	17%	-	15%	-

Tabla 18: Salina B. Número de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
< 6,3 μm	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3 -20 μm	17	3	0	0	0	0	0	0	0
20 - 63 μm	17	7	0	0	0	0	0	0	0
63 -200 μm	17	5	1	0	0	1	0	4	0
200 -630 μm	27	7	17	7	7	23	0	27	0
630 μm – 5 mm	40	48	47	32	50	61	0	48	0

Tabla 19: Salina B. Tamaño de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Negro	1	6	1	1	4	8	0	16	0
Azul	12	11	9	7	13	25	0	7	0
Marrón	5	0	0	0	3	3	0	1	0
Verde	17	6	1	3	5	5	0	4	0
Rojo	5	2	3	1	9	1	0	3	0
Transparente	77	47	51	27	23	43	0	45	0
Blanco	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Amarillo	0	0	0	0	0	0	0	3	0

Tabla 20: Salina B. Color de microplásticos

ANEXO III – TABLAS DE RESULTADOS SALINA E

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cantidad	443	17	59	0	0	0	0	0	0
Proporción	85%	3%	11%	-	-	-	-	-	-

Tabla 21: Salina E. Número de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
< 6,3 μm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3 -20 μm	3	0	0	0	0	0	0	0	0
20 - 63 μm	2	0	0	0	0	0	0	0	0
63 -200 μm	25	4	3	0	0	0	0	0	0
200 -630 μm	208	4	16	0	0	0	0	0	0
630 μm – 5 mm	205	9	40	0	0	0	0	0	0

Tabla 22: Salina E. Tamaño de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Negro	382	16	16	0	0	0	0	0	0
Azul	0	0	7	0	0	0	0	0	0
Marrón	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verde	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rojo	61	1	3	0	0	0	0	0	0
Transparente	0	0	32	0	0	0	0	0	0
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amarillo	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabla 23: Salina E. Color de microplásticos

ANEXO IV – TABLAS DE RESULTADOS SALINA F

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cantidad	284	644	572	0	168	0	169	0	173
Proporción	14%	32%	28%	-	8%	-	8%	-	9%

Tabla 24: Salina F. Número de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
< 6,3 μm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3 -20 μm	0	1	0	0	0	0	0	0	0
20 - 63 μm	1	0	0	0	1	0	1	0	0
63 -200 μm	16	58	48	0	49	0	55	0	1
200 -630 μm	123	354	339	0	80	0	65	0	69
630 μm – 5 mm	144	231	186	0	37	0	48	0	102

Tabla 25: Salina F. Tamaño de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Negro	227	550	359	0	151	0	146	0	46
Azul	4	9	8	0	0	0	0	0	23
Marrón	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Verde	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Rojo	12	57	41	0	11	0	12	0	11
Transparente	40	27	161	0	1	0	11	0	88
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amarillo	0	1	0	0	4	0	0	0	4

Tabla 26: Salina F. Color de microplásticos

ANEXO V – TABLAS DE RESULTADOS SALINA G

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cantidad	189	280	127	0	0	101	0	96	0
Proporción	24%	35%	16%	-	-	13%	-	12%	-

Tabla 27: Salina G. Número de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
< 6,3 μm	0	4	13	0	0	0	0	0	0
6,3 -20 μm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 - 63 μm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63 -200 μm	4	35	7	0	0	3	0	2	0
200 -630 μm	59	83	45	0	0	43	0	25	0
630 μm – 5 mm	126	157	61	0	0	56	0	68	0

Tabla 28: Salina G. Tamaño de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Negro	31	22	7	0	0	31	0	19	0
Azul	11	44	17	0	0	8	0	11	0
Marrón	11	10	7	0	0	0	0	3	0
Verde	3	0	1	0	0	1	0	1	0
Rojo	11	28	5	0	0	1	0	4	0
Transparente	124	172	87	0	0	59	0	59	0
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amarillo	0	4	3	0	0	1	0	0	0

Tabla 29: Salina G. Color de microplásticos

ANEXO VI – TABLAS DE RESULTADOS SALINA H

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cantidad	249	219	87	0	0	0	0	0	173
Proporción	34%	30%	12%	-	-	-	-	-	24%

Tabla 30: Salina H. Número de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
< 6,3 μm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3 -20 μm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 - 63 μm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63 -200 μm	8	1	6	0	0	0	0	0	2
200 -630 μm	123	91	43	0	0	0	0	0	69
630 μm – 5 mm	119	217	89	0	0	0	0	0	101

Tabla 31: Salina H. Tamaño de microplásticos

Punto de muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Negro	9	11	3	0	0	0	0	0	47
Azul	7	29	7	0	0	0	0	0	23
Marrón	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Verde	0	3	0	0	0	0	0	0	1
Rojo	8	16	1	0	0	0	0	0	11
Transparente	224	153	76	0	0	0	0	0	88
Blanco	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amarillo	1	5	0	0	0	0	0	0	4

Tabla 32: Salina H. Color de microplásticos