



UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE
DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

**Avances en la fabricación y el desarrollo industrial de
productos transformados de calamar común (*Loligo
vulgaris*)**

Celia Lucas Sánchez

2024



UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE
DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

Avances en la fabricación y el desarrollo industrial de
productos transformados de calamar común (*Loligo vulgaris*)

Autor: Celia Lucas Sánchez
Director: Sancho José Bañón Arias



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR

Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022

D./Dña. Celia Lucas Sánchez

doctorando del Programa de Doctorado en

Tecnología de los Alimentos, Nutrición y Bromatología

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

Avances en la fabricación y el desarrollo industrial de productos transformados de calamar común (Loligo vulgaris)

y dirigida por,

D./Dña. Sancho José Bañón Arias

D./Dña.

D./Dña.

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Si la tesis hubiera sido autorizada como tesis por compendio de publicaciones o incluyese 1 o 2 publicaciones (como prevé el artículo 29.8 del reglamento), declarar que cuenta con:

- *La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.*
- *En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.*

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 9 de Septiembre de 2024

Fdo.: Celia Lucas Sánchez

Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD de la tesis insertada en la presente página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor

Información básica sobre protección de sus datos personales aportados

Responsable:	Universidad de Murcia. Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia. Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es
Legitimación:	La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos
Finalidad:	Gestionar su declaración de autoría y originalidad
Destinatarios:	No se prevén comunicaciones de datos
Derechos:	Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia

Agradecimientos

A mi tutor, Sancho, por darme la oportunidad de realizar esta tesis y por compartir conmigo cada paso de este arduo camino, brindándome siempre su apoyo. Sin su compromiso y transparencia, este trabajo no hubiera sido posible.

A las empresas colaboradoras, por permitirme crecer profesionalmente y por ofrecerme el espacio y tiempo para poder desarrollar esta tesis.

A toda mi familia, por apoyarme desde el inicio hasta el final de este proyecto. En especial a mi madre, la mujer de la eterna sonrisa, que siempre me ha animado y ha estado en todos y cada uno de los pasos que he recorrido. A mi padre, por enseñarme que nunca es suficiente y que puedo conseguir todo lo que me proponga. A mi hermana, por apoyarme y sentirse siempre orgullosa de mí. A mis tíos Begoña y Gonzalo por compartir conmigo sus experiencias y ofrecerme sus consejos.

A mis chicas de “Villa abajo”, Celia María y Alba, por ayudarme, comprenderme y colaborar de una manera u otra en esta tesis.

A mis amigas del alma Vanesa, María, Faustina e Inma que han sido pilares fundamentales durante todos estos años, me falta vida para agradecerlos todo lo que habéis hecho por mí.

A Rafa, por estar a mi lado desde el inicio de esta travesía, animándome en los momentos más difíciles y celebrando conmigo cada logro. Tu apoyo y comprensión han hecho que este camino sea más llevadero.

A todas las personas que, en algún momento, han formado parte de este recorrido y que sé que compartirán conmigo la alegría de haber llegado hasta aquí.

A todos y cada uno de vosotros, gracias por todo, gracias por tanto.

Dedicado a: mis padres, por su amor incondicional.

“El que tiene un porqué para vivir puede soportar casi cualquier cómo”

(Friedrich Nietzsche)

1. ÍNDICE	7
1.1 Índice de tablas	10
1.2 Índice de figuras.....	13
1.3 Lista de abreviaturas.....	16
2. INTRODUCCIÓN	18
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 EL CALAMAR EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA	21
3.1.1 Definición y tipos de cefalópodos.....	21
3.1.2 Los cefalópodos como recurso pesquero	24
3.1.3 Calamar común (<i>Loligo vulgaris</i>)	28
3.1.4 Características tecnológicas y nutricionales de la carne de calamar	31
3.1.5 Producción, consumo y comercialización del calamar	36
3.1.6 Principales productos transformados de calamar	38
3.2 INDUSTRIALIZACIÓN DEL CALAMAR	42
3.2.1 Pesquerías y métodos de pesca.....	43
3.2.2 Pretratamientos a bordo y en puerto.....	46
3.2.3 Técnicas de congelación	47
3.2.4 Técnicas de descongelación.....	57
3.2.5 Métodos de maceración con sales sódicas.....	62
3.2.6 Métodos de cocinado y preparados culinarios.....	65
3.2.7 Métodos y materiales de envasado.....	73
3.2.8 Tecnologías de conservación alternativas a los tratamientos frigoríficos y/o térmicos	77
3.2.9 Tratamiento de subproductos	80
3.2.10 Controles de calidad aplicados en la industria	82
3.3 LEGISLACIÓN APLICABLE	84
3.4 RETOS TECNOLÓGICOS EN LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS TRANSFORMADOS DE CALAMAR	87
3.4.1 Estandarización de materias primas de diferente calibre y origen	87
3.4.2 Corrección de defectos de congelación en origen	88
3.4.3 Control de la contaminación microbiológica procedente de materias primas	90
3.4.4 Control de la contaminación por metales y metaloides procedentes de materias primas	91
3.4.5 Reducción de sodio en productos macerados listos para el consumo.....	92
3.4.6 Mejora de los procedimientos de cocinado.	93
3.4.7 Uso de preparados “Clean Label” para productos transformados.	95

3.4.8 Mejora de los procedimientos de congelación y envasado.	96
3.4.9 Introducción de nuevas tecnologías de conservación para productos refrigerados.	99
3.4.10 Aprovechamiento de recortes y subproductos para elaborar productos derivados.....	99
4. OBJETIVOS	102
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	102
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	102
5. MATERIAL Y MÉTODOS	103
5.1. PLAN DE TRABAJO	103
5.2. DISEÑO EXPERIMENTAL	104
5.3. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD ORIGINALES	104
5.4. REESTRUCTURACIÓN PREVIA DE LA SALA DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS TRANSFORMADOS DE CALAMAR.....	114
5.5. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE CALAMAR CRUDO Y COCINADO.	120
5.6. CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL	121
5.6.1. Humedad.....	121
5.6.2. Lípidos totales	122
5.6.3. Proteínas totales	122
5.6.4. Nitrógeno básico volátil total (NBVT).	123
5.6.4. Cenizas	124
5.6.5. Color CIELab	124
5.6.6. Textura	125
5.6.7. Determinación de las pérdidas de peso.	126
5.6.8. Determinación de minerales	126
5.9. Perfil de ácidos grasos e índices nutricionales relacionados.....	128
5.6.9. Análisis microbiológico	129
5.6.10. Análisis sensorial.....	131
5.7. ÍNDICES NUTRICIONALES RELACIONADOS CON LA INGESTA DE MINERALES	132
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	134
6.1. CORRECCIÓN DE DEFECTOS SENSORIALES DEL CALAMAR DEBIDOS A LA CONGELACIÓN EN ORIGEN.	134
6.2. PELADO MANUAL, MECÁNICO Y QUÍMICO DEL CALAMAR CRUDO.	143
6.3. AJUSTE DE LA CONCENTRACIÓN DE CITRATO SÓDICO EN EL MEDIO DE MACERACIÓN.	153
6.4. MONITORIZACIÓN DEL CONTENIDO MINERAL DURANTE EL PROCESADO DEL CALAMAR.	162

6.5. DESARROLLO DE UN NUEVO PRODUCTO DE CALAMAR COCINADO “SOUS VIDE”	177
6.6. DESARROLLO DE UN NUEVO PRODUCTO COCINADO DE CALAMAR “CLEAN LABEL”.	190
6.7. DESARROLLO DE UN NUEVO CALAMAR COCINADO Y ENVASADO AL VACÍO CON SALSA.....	205
6.8. DESARROLLO DE NUEVAS RABAS DE CALAMAR CRUDO ENHARINADAS SIN GLUTEN.	220
6.9. DESARROLLO DE UN NUEVO EMBUTIDO ESCALDADO A BASE DE TENTÁCULOS Y RECORTES DE CALAMAR.	233
7. CONCLUSIONES GENERALES	246
8. RESUMEN/ABSTRACT	247
9. REFERENCIAS	249

1.1. Índice de tablas

Tabla 1. Composición nutricional del calamar común y recomendaciones de ingesta diaria.....	35
Tabla 2. Consumo de calamar congelado en los hogares españoles durante el periodo 2013-2022 ..	38
Tabla 3. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de congelación convencionales.....	54
Tabla 4. Resumen de los retos tecnológicos expuestos, las posibles estrategias de mejora y la probabilidad de implementación.....	101
Tabla 5. Cálculos y unidades de parámetros de textura	126
Tabla 6. Escala de puntuación para los atributos sensoriales del calamar crudo y cocinado	136
Tabla 7. Efectos del tratamiento de bateo sobre la calidad sensorial del calamar crudo macerado	137
Tabla 8. Efectos del tratamiento de bateo sobre la calidad sensorial del calamar macerado y cocinado.....	138
Tabla 9. Tratamientos de pelado químico por inmersión	145
Tabla 10. Resultados del tratamiento de pelado del calamar con NaOH a diferentes concentraciones y tiempos.....	148
Tabla 11. Efectos del tratamiento de neutralización con ácido cítrico sobre el pH y el rendimiento en peso del calamar pelado con hidróxido de sodio	150
Tabla 12. Efectos de la maceración con sales de sodio y el cocinado sobre la composición proximal (g/100g) del calamar procedente de dos pesquerías atlánticas.....	155
Tabla 13. Efectos de la maceración con sales de sodio y la cocción al vacío sobre los valores de nitrógeno básico volátil total (mg/100g) y pH de la carne de calamar de dos pesquerías del Atlántico	156
Tabla 14. Resumen de los efectos de la maceración y el cocinado sobre la composición proximal, Nitrógeno Básico Volátil Total y el pH del calamar (FAO 47 + FAO 34)	157
Tabla 15. Resultados del análisis microbiológico del calamar cocinado macerado	159
Tabla 16. Contenido en minerales de los medios de maceración utilizados.....	163
Tabla 17. Efectos de la maceración con sales de sodio y la cocción al vacío sobre el contenido en macrominerales (g/100 g) del calamar procedente de dos pesquerías atlánticas.....	164
Tabla 18. Efectos de la maceración con sales de sodio y la cocción al vacío sobre el contenido en microminerales (mg/kg) del calamar procedente de dos pesquerías atlánticas.....	166
Tabla 19. Resumen de efectos de la maceración y el cocinado sobre el contenido mineral del calamar (FAO 47 + FAO 34).....	168

Tabla 20. Ingesta total y porcentaje cubierto (entre paréntesis) de la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) de macrominerales seleccionados mediante el consumo de 100 g de calamar cocinado por un consumidor adulto de 60 kg	169
Tabla 21. Ingesta total y porcentaje cubierto (entre paréntesis) de la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) de microminerales seleccionados mediante el consumo de 100 g de calamar cocinado por un consumidor adulto de 60 kg	170
Tabla 22. Ingesta Semanal Estimada (EWI) ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de peso corporal) e Ingesta Semanal Tolerable Provisional (PTWI) equivalente (expresada como porcentaje cubierto) de Pb, Cd y Hg por consumo de calamar cocinado	171
Tabla 23. Escala de puntuación para los atributos sensoriales del calamar cocinado sous vide	178
Tabla 24. Pérdidas de peso tras la cocción del calamar sous vide a diferentes tiempos y temperaturas	179
Tabla 25. Cambios de color CIELab en el manto de calamar cocinado sous vide	180
Tabla 26. Calidad sensorial del calamar cocinado sous vide a diferentes tiempos y temperaturas ..	181
Tabla 27. Comparativa de las pérdidas de peso por cocción en el calamar cocinado convencional y sous vide	182
Tabla 28. Comparativa del color CIELab en el calamar cocinado convencional y sous vide	182
Tabla 29. Comparativa de textura instrumental del calamar crudo, cocinado sous vide y convencional	184
Tabla 30. Comparación sensorial del calamar cocinado sous vide y convencional.....	184
Tabla 31. Comparativa de la calidad microbiológica del calamar cocinado sous vide y convencional	185
Tabla 32. Comparativa de la composición proximal del calamar cocinado sous vide y convencional	186
Tabla 33. Ingredientes "Clean label" en polvo utilizados para macerar el calamar crudo.....	191
Tabla 34. Escala de puntuación para los atributos sensoriales del calamar cocinado a la plancha y sous vide	192
Tabla 35. Rendimiento en peso (%) de los calamares crudo macerados con diferentes ingredientes	193
Tabla 36. Pérdidas por cocción (%) de los calamares macerados con diferentes ingredientes y cocinados mediante dos técnicas culinarias.....	194
Tabla 37. Evaluación sensorial del calamar cocinado sous vide y asado a la plancha elaborados con diferentes medios de maceración	195
Tabla 38. Recuentos microbiológicos determinados en el calamar crudo macerado (Log UFC/ g)...	197

Tabla 39. Recuentos microbiológicos determinados en el calamar cocinado sous vide y asado a la plancha (Log UFC/ g)	198
Tabla 40. Composición proximal del calamar entero crudo macerado (%)	199
Tabla 41. Composición proximal del calamar macerado cocinado (%)	200
Tabla 42. Escalas sensoriales de puntuación para el calamar cocinado en salsa	210
Tabla 43. Evaluación sensorial del calamar cocinado envasado con diferentes salsas.....	211
Tabla 44. Recuentos microbiológicos del calamar cocinado envasado con salsa de ajo y perejil	212
Tabla 45. Recuentos microbiológicos del calamar cocinado envasado con salsa "vizcaína"	212
Tabla 46. Perfil de ácidos grasos del calamar cocinado sin salsa y con ajo y perejil y "vizcaína"	213
Tabla 47. Ácidos grasos mayoritarios (abundancia relativa) en calamar cocinado sin salsa y envasado con salsa de ajo y perejil y "vizcaína"	214
Tabla 48. Composición de las harinas de garbanzo y texturizado de guisante	221
Tabla 49. Escalas sensoriales de puntuación para evaluar las rabas de calamar enharinadas	222
Tabla 50. Evaluación sensorial de rabas de calamar rebozadas en 3 capas con dos harinas (guisante HT y garbanzo HG) y dos encolantes (con soja E76 y leche E82) sometidas a fritura u horneado.....	223
Tabla 51. Análisis sensorial de las rabas de calamar fritas y horneadas preparadas con un rebozado simple sin encolante	224
Tabla 52. Información nutricional de rabas enharinadas sin gluten únicamente con harina de guisante (precocinadas).....	226
Tabla 53. Ácidos grasos mayoritarios (abundancia relativa) en las rabas de calamar enharinadas con harina de guisante	227
Tabla 54. Perfil de ácidos grasos de las rabas de calamar elaboradas con harina de guisante	228
Tabla 55. Ingredientes del embutido de calamar congelado (10 kg)	234
Tabla 56. Escala de puntuación para los atributos sensoriales del embutido escaldado de calamar	237
Tabla 57. Composición proximal del embutido escaldado de calamar con y sin fécula de patata	238
Tabla 58. Recuentos microbiológicos para el embutido cocinado de calamar con y sin fécula de patata	239
Tabla 59. Evaluación sensorial del embutido escaldado de calamar con y sin fécula de patata	240

1.2 Índice de figuras

Figura 1. Principales especies de cefalópodos.....	22
Figura 2. Producción mundial de la pesca, acuicultura, utilización y comercio	26
Figura 3. Análisis comparativo entre las fases de la industria alimentaria pesquera y los hábitos de consumo de productos pesqueros.....	27
Figura 4. Evolución de las importaciones y exportaciones de cefalópodos congelados en España (t) en el periodo 2013 a 2022	27
Figura 5. Morfología del calamar común.....	28
Figura 6. Principales especies de calamar y producción en 2019.....	37
Figura 7. Ejemplos de productos transformados de calamar comercializados.....	40
Figura 8. Kilos producidos por la empresa colaboradora en el periodo 2018-2022	41
Figura 9. Deformación mecánica de la estructura de las proteínas musculares en condiciones de congelación	48
Figura 10. Ejemplo de túnel de congelación.....	50
Figura 11. Ejemplo de sistema de lecho fluidizado	50
Figura 12. Ejemplo de equipo de congelación de banda.....	51
Figura 13. Ejemplo de equipo de congelación por superficie.....	52
Figura 14. Ejemplo de equipo de congelación con nitrógeno	53
Figura 15. Esquema de un sistema de congelación isocórica y variación según cambios en la temperatura y la presión	55
Figura 16. Esquema de congelación asistida por ultrasonidos.....	56
Figura 17. Túnel congelador magnético estático.....	57
Figura 18. Sistema de descongelación por convección forzada	58
Figura 19. Equipo para la descongelación por radiofrecuencia	59
Figura 20. Reactor de descongelación con expansor de vapor	60
Figura 21. Esquema simple de descongelación con nanopartículas combinado con microondas o infrarrojo lejano	61
Figura 22. Métodos de maceración empleados en la industria alimentaria	64
Figura 23. Cocedor de agua en continuo para cefalópodos	68
Figura 24. Esquema de equipo de fritura al vacío	70
Figura 25. Ejemplo de ficha técnica de preparado para el agua de cocción de calamar	71
Figura 26. Ejemplo de ficha técnica de preparado para rebozar el calamar	72
Figura 27. Equipo de campo eléctrico pulsado.....	79

Figura 28. Equipo de luz ultravioleta para la desinfección de alimentos	80
Figura 29. Sección histoquímica del tejido del manto del calamar mostrando variaciones en el almacenamiento congelado y cocinado	95
Figura 30. Esquema de trabajo seguido para la proyección de actividades experimentales.....	103
Figura 31. Diagrama de flujos del proceso de elaboración del calamar crudo congelado IQF	105
Figura 32. Registro de control de recepción de materias primas.....	106
Figura 33. Tanques de descongelación para calamar.....	106
Figura 34. Registro del control de descongelación del calamar	107
Figura 35. Registro de control del tratamiento de maceración por inmersión de los calamares	107
Figura 36. Ficha técnica proporcionada por el proveedor del preparado de maceración para el tratamiento de calamar por inmersión.....	108
Figura 37. Congelación del calamar IQF en túnel espiral	109
Figura 38. Envasado convencional de calamar a granel en cajas de cartón.....	110
Figura 39. Registro de control de glaseado y congelación	110
Figura 40. Registro de control de talla y peso	111
Figura 41. Registro de control de etiquetado.....	111
Figura 42. Registro de control de detector de metales.....	112
Figura 43. Registro de control de envasado	112
Figura 44. Calamar envuelto individual en bolsas plásticas	113
Figura 45. Plano original de la planta de elaboración de la empresa colaboradora, donde se indica la zona de elaboración del calamar	114
Figura 46. Salas original y remodelada para la elaboración del calamar crudo envasado en bolsas plásticas.....	117
Figura 47. Termoformadora empleada para envasar el calamar al vacío	118
Figura 48. Introducción de calamar crudo en la termoformadora.....	118
Figura 49. Túnel de nitrógeno empleado para ultracongelar el calamar envasado al vacío.....	118
Figura 50. Diagrama de flujos del proceso de elaboración del calamar crudo envasado al vacío	119
Figura 51. Calamar crudo congelado envasado en bolsas plásticas y envasado al vacío	120
Figura 52. Ejemplo de ficha de cata para la evaluación sensorial del calamar	131
Figura 53. Calamar descongelado con defectos por congelación tardía.....	135
Figura 54. Calamares crudos con diferentes tipos de bateo	137
Figura 55. Ganancia en peso y pérdidas por cocción del calamar bateado (2 min) y sin batear	139
Figura 56. Pérdidas por cocción del calamar bateado (2 min) y sin batear.....	139
Figura 57. Máquina peladora de cefalópodos.....	144

Figura 58. Pelado mecánico del calamar	145
Figura 59. Escala de intensidad no numérica utilizada para la evaluación sensorial del grado de pelado	146
Figura 60. Calamar sin piel pelado manualmente	147
Figura 61. Calamar sin piel pelado mecánicamente.....	147
Figura 62. Apariencia de los calamares pelados mediante diferentes tratamientos con NaOH.....	148
Figura 63. Eliminación de la piel y la membrana de los calamares pelados mediante diferentes tratamientos con NaOH	149
Figura 64. Retirada completa de piel y membrana en los calamares pelados mediante diferentes tratamientos con NaOH	149
Figura 65. Pérdida acumulada de agua tras la maceración y el cocinado (con respecto al calamar crudo no tratado).....	158
Figura 66. Ganancia acumulada de cenizas tras la maceración y el cocinado (con respecto al calamar crudo no tratado).....	158
Figura 67. Contenido total en macrominerales del calamar macerado crudo y cocinado.....	173
Figura 68. Contenido total en macrominerales del calamar macerado crudo y cocinado.....	174
Figura 69. Dosificadora automática de salsas	206
Figura 70. Calamares cocinados en termoformadora para su envasado al vacío	206
Figura 71. Calamar cocinado envasado al vacío con diferentes salsas.....	207
Figura 72. Diagrama de flujos del proceso de elaboración de calamar cocinado y envasado con salsa	209
Figura 73. Línea de enharinado y congelación	225
Figura 74. Rabas de calamar enharinadas con harina de guisante crudas y cocinadas	225
Figura 75. Diagrama de flujos del proceso de elaboración del embutido escaldado de calamar.....	235
Figura 76. Máquina cortadora de dados	236
Figura 77. Emulsión de la pasta del embutido de calamar.....	236
Figura 78. Embutido crudo a base de subproductos de calamar	236
Figura 79. Rodajas de embutido escaldado de calamar preparadas para el análisis sensorial.....	237
Figura 80. Apariencia del embutido escaldado descongelado de calamar tras retirar la tripa de plástico.....	240
Figura 81. Rendimiento del embutido cocinado de calamar con y sin fécula añadida	241

1.3 Lista de abreviaturas

AESAN: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición

AG: Ácidos grasos

AGM: Ácidos grasos monoinsaturados

AGP: Ácidos grasos poliinsaturados

AGS: Ácidos grasos saturados

AGT: Ácidos grasos totales

ANOVA: Analysis of Variance-Análisis de varianza

AOAC: Association of Analytical Communities/ Asociación científica dedicada a la Excelencia Analítica

APPCC: Análisis de Peligros y Puntos Críticos

CE: Comisión Europea

CPO: Cociente Peligro Objetivo

ED: Duración de la exposición en la esperanza de vida media

DHA: Ácido docosahexaenoido

DRF: Dosis de Referencia Oral

EFSA: European Food Safety Authority/ Agencia Europea de Seguridad Alimentaria

EPA: Ácido Ecosapentaenoico

EPA: Environmental Protection Agency/ Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

ESM: Error Estándar de la Media

EWI: Estimated Weekly Intakes/ Ingesta Semanal Estimada

FAO: Food and Agriculture Organization/ Organización de Alimentación y Agricultura

FDA: Food and Drug Administration/Administración de Alimentación y Medicamentos

FIFO: First in, First out-Primero en entrar, Primero en salir

GC-FID: Gas Chromatography-Flame Ionization Detector/ Cromatografía de gases-Detector de Ionización de Llama

GRAS: Generally Recognized As Safe/ Generalmente Reconocido Como Seguro

HT: Harina de guisante

HG: Harina de garbanzo

ICP-OES: Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy/ Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo

ICP/MS: Inductively coupled plasma mass spectrometry/ Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente

IDR: Ingesta diaria recomendada

IQF: Individual Quick Freezing/ Congelación Rápida Individual

ISO: International Organization for Standardization/ Organización Internacional de Estandarización

LDL: Lipoproteínas de baja densidad

LDPE: Polietileno de Baja Densidad

Log: Logaritmo

LC: Límite de cuantificación

M: Media

N-BVT: Nitrógeno Básico Volátil Total

ND: No Detectado

OPA/PE: Poliamida mono/Polietileno

PA/PE: Poliamida/Polietileno

PHA: Polihidroxialcanoato

PLA: Ácido poliláctico

PTWI: *Provisional Tolerable Weekly Intake*/ Ingesta Semanal Tolerable Provisional

PVA: Alcohol polivinílico

QDA: Análisis Descriptivo Cuantitativo

RFID: Radio Frequency Identification/ Identificación por Radiofrecuencia

RSW: Refrigeration sea water/ Agua de Mar Refrigerada

T: Tonelada

TAM: Tasa anual móvil

TIC: Tasa de Ingestión de cefalópodos

TMA: Trimetilamina

UE: Unión Europea

UFC: Unidad Formadora de Colonias

US EPA: United States Environmental Protection Agency/ Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

USDA: United States Department of Agriculture/ Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

2. INTRODUCCIÓN

El consumo de cefalópodos ha crecido significativamente en las últimas décadas debido a sus propiedades nutricionales y su versatilidad culinaria. Estos moluscos son ricos en proteínas de alto valor nutricional, bajos en grasas, contienen micronutrientes esenciales, incluyendo algunas vitaminas y ácidos grasos poliinsaturados. En Europa, la gastronomía mediterránea ha promovido el consumo de cefalópodos, destacando sus beneficios para la salud y su rol en una dieta equilibrada. España se ha posicionado como uno de los principales consumidores de cefalópodos en Europa, reflejando una fuerte tradición culinaria que incorpora estos moluscos a una amplia variedad de platos. La gastronomía española ha sabido aprovechar las características únicas de los cefalópodos, integrándolos en recetas que varían regionalmente. Además, la industria pesquera española se beneficia de las aguas circundantes y de acuerdos internacionales de pesca que permiten la captura sostenible de diversas especies de cefalópodos. El acceso a productos frescos y congelados, junto con la innovación en técnicas de procesado, ha facilitado que los cefalópodos sean un componente común en la dieta diaria de los españoles. Además de sus ventajas nutricionales, el consumo de cefalópodos es sostenible, ya que muchas especies tienen ciclos de vida cortos y altas tasas de reproducción, lo que permite una explotación más manejable y menos perjudicial para los ecosistemas marinos. Este equilibrio entre sostenibilidad y nutrición posiciona a los cefalópodos como una opción viable y saludable en la alimentación moderna.

El calamar común (*Loligo vulgaris*) es procesado en la industria alimentaria mediante métodos de maceración y congelación para mejorar sus cualidades sensoriales y prolongar su vida útil. Este proceso implica la inmersión del calamar en soluciones salinas y ácidos orgánicos, que actúan como agentes conservantes y potenciadores del sabor. Las sales ayudan a deshidratar parcialmente el tejido muscular, inhibiendo el crecimiento microbiano y prolongando la vida útil del calamar. Por otro lado, los ácidos orgánicos disminuyen el pH del medio, creando un entorno que dificulta el desarrollo de microorganismos patógenos que contribuye a preservar el producto. La combinación de sales y ácidos orgánicos en el proceso de maceración resulta en un efecto sinérgico que también mejora de la textura del calamar. Mientras que las sales deshidratan y solubilizan proteínas, los ácidos orgánicos ablandan las fibras musculares y reducen el pH, obteniéndose un producto final más tierno y sabroso. La congelación es una de las técnicas más utilizadas para preservar el calamar en la industria alimentaria, permitiendo mantener su frescura y calidad durante largos períodos de tiempo. Sin embargo, este proceso implica cambios en la estructura del músculo que pueden afectar la textura y el sabor del producto final. Durante la congelación, el agua contenida en las células musculares del calamar

cristaliza, lo que puede romper las fibras musculares. Este fenómeno puede resultar en una pérdida de firmeza y una textura más blanda una vez que el calamar es descongelado. La calidad del calamar congelado también depende de factores intrínsecos como su origen, hábitat y alimentación. El proceso de descongelación es igualmente crucial y debe realizarse adecuadamente para minimizar los daños en la estructura del músculo. La descongelación lenta en condiciones controladas ayuda a preservar la integridad del tejido y reduce la pérdida de jugosidad. Estos aspectos son especialmente valiosos para la industria alimentaria, donde la vida útil extendida reduce las pérdidas económicas y mejora la disponibilidad del producto fresco o procesado en mercados alejados de las zonas de captura.

La innovación en los productos alimentarios es esencial para satisfacer la creciente demanda de opciones prácticas y saludables. En este contexto, el desarrollo de nuevos productos a base de calamar listos para el consumo representa una oportunidad significativa para la industria alimentaria. El calamar, con su perfil nutricional favorable y versatilidad culinaria, es ideal para crear platos que se ajusten mejor a las necesidades de los consumidores modernos. El *sous vide* es una técnica culinaria que ha ganado popularidad para preparar calamar y otros productos de la pesca. Este método implica cocinar el calamar a baja temperatura en un entorno controlado, generalmente al vacío, lo que permite conservar sus jugos naturales, realzar su sabor y obtener una textura perfecta. Los productos *sous vide* de calamar pueden incorporarse a numerosos platos, ofreciendo a los consumidores una opción rápida y de calidad. El desarrollo de productos listos para el consumo también puede incluir la creación de platos a base de calamar enharinados, rellenos o con diferentes salsas. Estos productos deben ser bien diseñados teniendo en cuenta la vida útil, la seguridad alimentaria y la calidad sensorial, para garantizar que los consumidores disfruten de una experiencia gastronómica óptima.

El aprovechamiento de subproductos de calamar es otra área prometedora. Los subproductos, que incluyen tentáculos, aletas, vísceras y otras partes comestibles desechadas durante su procesado en la industria, pueden ser utilizados para crear una variedad de productos innovadores. Esta práctica no solo reduce el desperdicio, sino que también maximiza el valor económico del calamar, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores.

La presente tesis doctoral se desarrolló en colaboración con una empresa fabricante de productos transformados de cefalópodos. El propósito principal de esta investigación fue establecer métodos para mejorar la tecnología y desarrollar nuevos productos transformados a partir de calamar común. Para alcanzar este propósito, se abordaron posibles desafíos tecnológicos y se diseñaron actividades de investigación industrial centradas en la infraestructura y la tecnología de la factoría, las materias

primas utilizada, los controles de calidad, y la innovación en productos transformados y en el aprovechamiento de subproductos. Este enfoque busca mejorar la eficiencia de los procesos de elaboración existentes, promover la innovación y aumentar la calidad de los productos transformados a base de calamar común.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 EL CALAMAR EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA

3.1.1 Definición y tipos de cefalópodos

Los cefalópodos son una clase de animales invertebrados marinos que pertenecen al filo de los moluscos. El nombre procede del griego cuyo nombre significa *kephale* (cabeza) y *podos* (pies). Actualmente existen más de 800 especies, incluyendo pulpos, calamares, sepias (subclase *Coleoidea*) y nautilus (subclase *Nautiloidea*) (Romero, 2022). La **figura 1** muestra las principales especies de cefalópodos, que se clasifican comúnmente en pulpos, sepias y calamares. Todos son moluscos sin caparazón y se pueden distinguir dos clases: superorden *Decabrachia* o decapodiformes que se caracterizan por poseer diez tentáculos, de los cuales dos son más largos que los ocho restantes; y superorden *Octobrachia* u octopodiformes que poseen ocho brazos. En comparación con especies ancestrales, muchos de ellos han perdido por completo la concha (pulpos) y otros conservan vestigios como la pluma (sepias y calamares). Por lo tanto, son considerados animales invertebrados cuya concha varía en función de la especie, pudiendo estar modificada y encontrándose en el interior del manto o bien, encontrarse ausente. Su cuerpo está conformado por un manto muy musculado que alberga los órganos, una cabeza bien desarrollada, con cerebro muy complejo. Para alimentarse, tienen un pico córneo que se encuentra en la cavidad bucal y dentro de ella se encuentra la rádula, un órgano compuesto de quitina que utilizan para raspar el alimento. Para desplazarse por el medio, poseen una estructura denominada sifón a través de la cual expulsan el agua contenida en el manto, pudiendo controlar con éste la velocidad y la dirección de nado (Castillo et al., 2015). Los cefalópodos, a excepción de los nautilus, poseen unas glándulas conocidas como cromatóforos que les permiten cambios en el color y en la textura de la piel frente a situaciones de peligro o estrés. Estos animales acuáticos tienen sexos separados y realizan una especie de cortejo para la reproducción donde los machos rodean a la hembra e incluso pueden cambiar de color. La fecundación se realiza a través del espermatóforo que se encuentra dentro del manto y es instalado a una cavidad en el interior del manto de la hembra mediante el hectocótilo, brazo especializado para ello. Una vez los huevos han llegado a la zona del oviducto se produce la fertilización y los huevos son depositados en zonas rocosas, con corales o grupos de algas (Jereb et al., 2010).

Los cefalópodos se encuentran ampliamente distribuidos en diferentes hábitats de todo el mundo y, a diferencia de otros moluscos, mayoritariamente bentónicos, pueden habitar tanto zonas bentónicas como pelágicas, cerca de la superficie y en aguas profundas (Boyle y Rodhouse, 2005; Castillo et al., 2015). En relación con el hábitat en el que viven, los cefalópodos buscan el medio óptimo para llevar a cabo la reproducción, alimentación y supervivencia, emigrando hacia áreas con las condiciones ambientales más favorables. Los cambios en la calidad del agua, la temperatura o la contaminación puede afectar al ciclo biológico de los cefalópodos (Lacoue-Labarthe et al., 2009). La temperatura del agua puede afectar a las tasas de crecimiento y tamaño final del individuo (Forsythe, 2004; Jackson y Moltshaniwsky, 2002). Así, un aumento de un grado en la temperatura del agua puede incrementar hasta en un 15 % la masa corporal de los cefalópodos (André et al., 2009) y, en concreto, los calamares pueden triplicar su tamaño tras 90 días (Forsythe, 2004). Sin embargo, una temperatura elevada del medio puede acortar el ciclo de vida y reducir el tamaño corporal (Moreno et al., 2005; Moreno et al., 2007). Se ha sugerido que los animales que viven en zonas más profundas poseen un ciclo de vida más largo, creciendo y madurando más lentamente y presentando tasas de mortalidad inferiores a los que habitan en zonas cercanas a la superficie (Hoving y Robison, 2017). Los factores que podrían determinar el crecimiento de las especies que viven en las profundidades marinas podrían ser la escasez de alimentos y las bajas temperaturas, que aminoran la velocidad de los procesos fisiológicos (Hoving y Robison, 2017). Además, son especies poco tolerantes a aguas con bajas concentraciones de salinidad (Romero, 2022).

Los cefalópodos poseen un ciclo de vida corto, entre seis meses y dos años, dependiendo de la especie y las condiciones ambientales. La mayoría son organismos semélparos (Ibáñez et al., 2021), solo presentan un ciclo de reproducción. Los calamares, en general, poseen una esperanza de vida inferior a un año (Jackson, 2004; Pecl y Jackson, 2008). A pesar de su corta esperanza de vida, poseen tasas de crecimiento elevadas gracias a factores como su elevada tasa metabólica, la hipertrofia de las fibras musculares durante el crecimiento e hiperplasia de nuevas fibras musculares, el uso eficiente del oxígeno del medio y los bajos niveles de defensa antioxidante (Pecl y Jackson, 2008). Los calamares continúan creciendo durante todo su ciclo de vida (Pecl y Jackson, 2008). Varios estudios sugieren que las hembras son más longevas que los machos debido a que éstas maduran más tarde para aumentar su tamaño y así, incrementar su potencial reproductivo. Una vez que se culmina el proceso de reproducción, los calamares mueren. Esto puede ser debido a que se produce un desgaste fisiológico, convirtiéndose en presas más asequibles para los depredadores (Padilla-Serrato et al., 2021).

3.1.2 Los cefalópodos como recurso pesquero

Los cefalópodos se consideran un recurso pesquero muy interesante para su explotación, industrialización y comercialización, debido a sus buenas propiedades sensoriales y nutricionales como alimento (Zlatanov et al., 2006). La pesca de cefalópodos ha aumentado en los últimos años debido al descenso de capturas de otros especímenes procedentes de las pesquerías tradicionales, lo que ha conducido a un incremento en su interés como recurso pesquero (González, 2021). Los cefalópodos, en general, se consideran recursos inestables, debido a la constante fluctuación de su producción anual (Puerta et al., 2016) por los cambios estacionales ya mencionados que influyen en su distribución en el medio (Pang et al., 2018). A pesar de este desequilibrio, la producción de pescado ha ido aumentando en los últimos años, con cifras de producción mayores a 175 millones de toneladas anuales a nivel mundial (Aubourg et al., 2021a) de las cuales, 156 millones de toneladas se utilizaron para consumo humano, lo que corresponde a unos 20 kg per cápita (FAO, 2018). La explotación de los cefalópodos es bastante menor que la de pescado y, aunque se explotan comercialmente durante todo el año, las capturas solo alcanzan las 15000 toneladas anuales (Cozza et al., 2016). En aguas europeas, los cefalópodos se pescan de forma accidental en pesquerías enfocadas a múltiples especies demersales, aunque también son el objetivo de la pesca especializada por pescadores artesanos de la costa (Bañón et al., 2018).

La producción acuícola y pesquera alcanzó el récord histórico con 2,14 millones de toneladas en el año 2022, de las cuales, 178 millones de toneladas correspondieron a animales acuáticos y 36 millones a las algas, lo que supone un incremento del 3 % con respecto al año 2018 (FAO, 2022). Este crecimiento estuvo limitado por un descenso del 4,4 % de la pesca de especies pelágicas y por el descenso de las capturas en China tras la pandemia del COVID-19. Sin embargo, este descenso fue compensado con el crecimiento de la acuicultura, que aumentó del 12 al 37 % en los últimos 30 años. En este mismo año, los países asiáticos fueron los principales productores, representando el 70 % de la producción total, encabezados por China con un 35 %, seguidos de América, Europa, África y Oceanía. En la pesca de captura, se produjeron 90,3 millones de toneladas, de las cuales 78,8 millones de toneladas corresponden a aguas marinas y 11,5 millones de toneladas a aguas continentales. Los peces de aleta representaron el 85 % de la producción total de la pesca en aguas marinas. Sin embargo, la pesca en aguas continentales disminuyó alrededor del 5 % en comparación con el año 2019, aunque se mantuvieron en niveles relativamente elevados en comparación con años anteriores. Asia representa dos tercios del total, seguida por África, siendo India el mayor productor.

Las capturas de cefalópodos disminuyeron y se alcanzaron niveles de 3,5-3,8 millones de toneladas, niveles inferiores a las 4,9 millones de toneladas contabilizadas en 2014. Como se ha comentado, los cefalópodos son especies muy afectadas por la variabilidad del medio marino, lo que podría explicar las fluctuaciones en las capturas. Esta variabilidad se debería a sus particularidades biológicas, como su ciclo de vida corto y rápido crecimiento (Srairi et al., 2023). El calamar, por ejemplo, se explota ampliamente por la pesca comercial y existe un flujo importante desde las pesquerías atlánticas situadas junto a Mauritania y Sudáfrica, aunque también se pesca al sur de Europa en países como España, Portugal, Grecia e Italia, que son grandes consumidores de cefalópodos (García et al., 2018).

Según las estadísticas de la FAO, (FAO, 2018) el consumo mundial de pescados y productos de la pesca se ha quintuplicado en los últimos sesenta años, aumentando a un ritmo anual medio del 3 %. Este incremento se ha visto influido por el cambio en las preferencias del consumidor, los avances tecnológicos y el aumento de los ingresos económicos, entre otros factores. El consumo global de pescado ha sido superior al de la carne, la leche o sus derivados, representando el 17 % de la ingesta de proteínas de origen animal y el 7 % de todas las proteínas ingeridas. El consumo anual per cápita de pescado aumentó de 9,9 kg en la década de 1960 a 20,5 kg en 2019. Los países con ingresos altos experimentaron un mayor crecimiento, destacando China. El consumo varía según el país, la cultura y la disponibilidad para acceder al mercado, siendo mayor en zonas costeras. Por ejemplo, los países con un mayor consumo son Islandia, las Maldivas y las Islas Feroe, con un consumo per cápita de 80 kg al año. Sin embargo, otros países como Afganistán, Tayikistán o Etiopía apenas consumen menos de 1 kg al año per cápita. Podemos destacar las diferencias entre continentes, siendo Asia el que más pescado consume (24,5 kg), seguido por Oceanía (23,1 kg), Europa (21,4 kg), América (14,5 kg) y África (10,1 kg).

La producción, consumo y comercio de productos de la pesca y acuicultura se ha incrementado en los últimos 30 años (**figura 2**). Se prevé que, tanto la producción, como el consumo de animales acuáticos, aumenten en los próximos diez años en alrededor del 13 %. Este incremento será la consecuencia del aumento de la demanda por el aumento de ingresos y la urbanización, junto con las mejoras en las actividades posteriores a la captura, distribución y los cambios en la tendencia alimentaria. La **figura 3** muestra cómo han evolucionado los hábitos de consumo de productos pesqueros. Como puede verse, los consumidores más jóvenes buscan productos cada vez más nutritivos y económicos, que ofrezcan garantías desde el punto de vista de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad medioambiental. Los productos transformados de cefalópodos podrían cumplir con estas premisas, e impulsar un aumento del consumo.

Gracias al comercio internacional, algunos países que antes no podían acceder a este tipo de alimentos podrán hacerlo, además, con una mayor diversidad de productos. En los últimos cincuenta años, las importaciones de pescado y marisco aumentaron del 16 % al 32 %, siendo mayor en países desarrollados donde las infraestructuras permiten un transporte adecuado y los consumidores pueden acceder a un mercado de productos de más valor. Se prevé que los precios del pescado y marisco aumenten un 33 % (FAO, 2022). Las innovaciones logísticas y tecnológicas, así como las políticas comerciales, han permitido a los productores acceder a los mercados internacionales, existiendo una mayor disponibilidad de productos. Actualmente, el comercio de productos acuáticos supone una importante fuente de ingresos, ligada a la exportación, empleo y valor añadido. La exportación de alimentos acuáticos ha aumentado a un ritmo del 2,9 % anual entre 1976 y 2020, siendo mayor en productos con alto valor añadido o que han sido transformados. Las exportaciones de cefalópodos representaron el 6,8 % del valor total de los alimentos acuáticos en 2020. Los animales acuáticos vivos, frescos o refrigerados representaron la mayor parte destinada al consumo humano (44 %), seguido de los productos congelados (35 %), en conserva (11 %) y desecados (10 %) (FAO, 2022).

Figura 2. Producción mundial de la pesca, acuicultura, utilización y comercio

	Decenio de 1990	Decenio de 2000	Decenio de 2010	2018	2019	2020
	Promedio anual					
	Millones de toneladas (equivalente en peso vivo)					
Producción						
Pesca de captura:						
Continental	7,1	9,3	11,3	12,0	12,1	11,5
Marina	81,9	81,6	79,8	84,5	80,1	78,8
Total de la pesca de captura	88,9	90,9	91,0	96,5	92,2	90,3
Acuicultura:						
Continental	12,6	25,6	44,7	51,6	53,3	54,4
Marina	9,2	17,9	26,8	30,9	31,9	33,1
Total de la acuicultura	21,8	43,4	71,5	82,5	85,2	87,5
Total mundial de la pesca y la acuicultura	110,7	134,3	162,6	178,9	177,4	177,8
Utilización²						
Para el consumo humano	81,6	109,3	143,2	156,8	158,1	157,4
No destinado al consumo humano	29,1	25,0	19,3	22,2	19,3	20,4
Población (miles de millones) ³	5,7	6,5	7,3	7,6	7,7	7,8
Consumo aparente per cápita (kg)	14,3	16,8	19,5	20,5	20,5	20,2
Comercio						
Exportaciones, en cantidad	39,6	51,6	61,4	66,8	66,6	59,8
Porcentaje de exportaciones en la producción total	35,8%	38,5%	37,7%	37,3%	37,5%	33,7%
Exportaciones, en valor (1 000 millones de USD)	46,6	76,4	141,8	165,3	161,8	150,5

¹ Excluidos los mamíferos acuáticos, los cocodrilos, los lagartos, los caimanes y las algas. Los totales podrían no corresponder debido al redondeo.
² Los datos sobre la utilización para 2018-2020 son provisionales.
³ Fuente de los datos sobre las poblaciones: Naciones Unidas. 2019. 2019 Revision of World Population Prospects. En: Naciones Unidas. Nueva York (EE. UU.). Consultado el 22 de abril de 2022. <https://population.un.org/wpp>
FUENTE: FAO.

Fuente: FAO (2022).

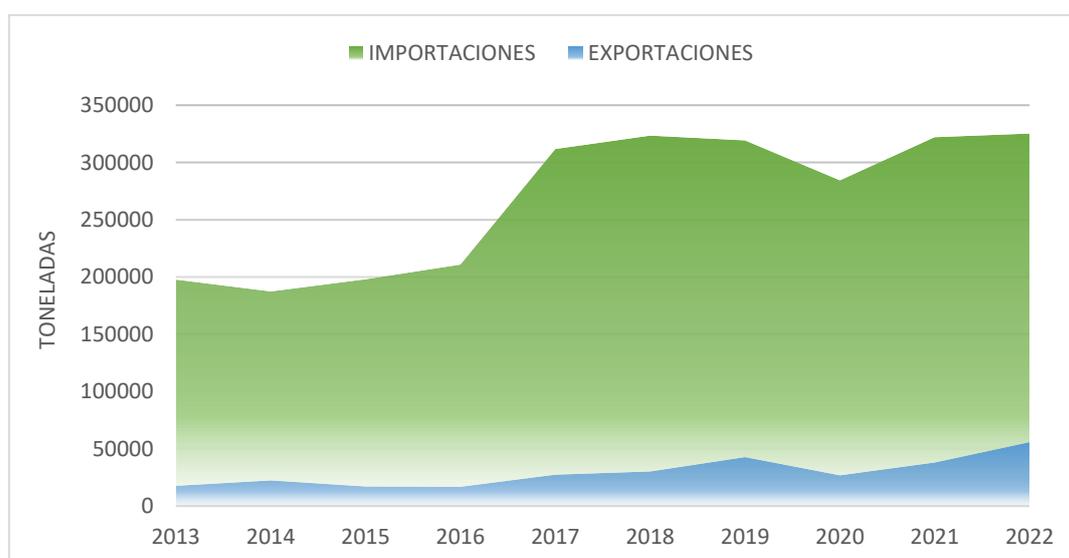
Figura 3. Análisis comparativo entre las fases de la industria alimentaria pesquera y los hábitos de consumo de productos pesqueros

Fases	Características	Generación	Periodos
Consumidor moderno	Progreso técnico. La oferta superaba a la demanda	Generación de la penuria y el racionamiento	1950-1970
Consolidación de la industria agroalimentaria	Años gloriosos. Fuerte crecimiento consumo productos	Generación de los refrigeradores	1970-1985
Desconfianza en los productos alimentarios	Crisis alimentarias. Emergen los productos naturales y sus vínculos con la salud: <i>bio</i> y <i>light</i>	Generación de los hipermercados	1985-2000
Cambios en el consumidor	Versatilidad y nuevas costumbres. Nuevas formas de adquisición (<i>e-commerce</i>). Productos nutricionales y predominio de marcas de distribución	Generación de los servicios alimentarios	2000-2008
De la crisis a la recuperación	Intensificación de los ritmos de vida. Demanda alimentaria atomizada y singular. Conciencia ecológica y trazabilidad	Generación low-cost	2008-2017
		Generación internet	2008-2017
		Generación nómada	2008-2017

Fuente: González-Laxe (2018).

En España, el volumen de las importaciones de cefalópodos es muy superior a la de las exportaciones, tal y como se muestra en la **figura 4**. A lo largo de los últimos 10 años, las exportaciones aumentaron de 17571 a 55843 toneladas y las importaciones de 197650 a 325299 toneladas.

Figura 4. Evolución de las importaciones y exportaciones de cefalópodos congelados en España (t) en el periodo 2013 a 2022

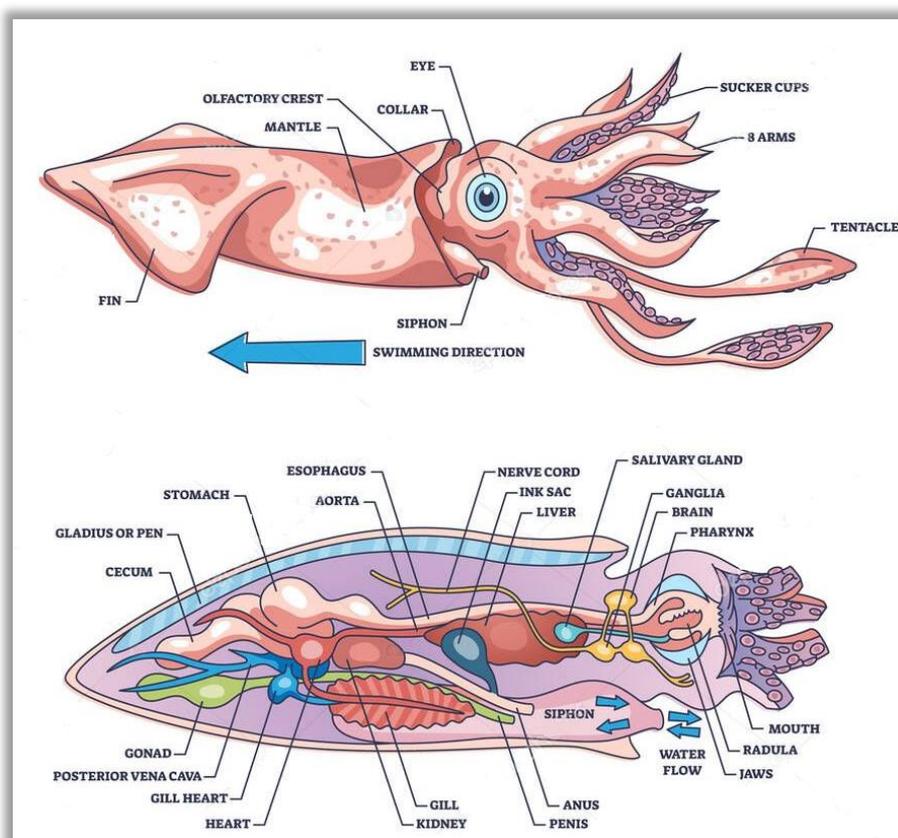


Fuente: <https://eumofa.eu/es/extra-eu-imports>

3.1.3 Calamar común (*Loligo vulgaris*)

El calamar europeo o calamar común (*Loligo vulgaris*) es un molusco cefalópodo perteneciente a la clase *Cephalopoda*, subclase *Coloidea*, superorden *Decapodiformes*, orden *Myopsida*, familia *Loliginidae* (Faxholm et al., 2018) descubierto por Lamarck en 1798. Los moluscos son animales invertebrados con una simetría bilateral y con sistemas bien desarrollados. Los cefalópodos (calamares, sepias y pulpos) tienen un conjunto único de características biológicas como un crecimiento rápido, una vida útil corta y una plasticidad de larga duración, lo que les permite adaptarse rápidamente a las condiciones ambientales cambiantes (Doubleday et al., 2016). Los moluscos cefalópodos se componen de tres partes principales: cabeza-pies, cuerpo o manto y masa visceral. La **figura 5** representa la morfología del calamar común:

Figura 5. Morfología del calamar común



Fuente: <https://depositphotos.com/mx/vector/squid-anatomy-underwater-creature-inner-biological-parts-structure-outline-diagram-609566754.html>

Los calamares tienen una cabeza bien diferenciada, con un cerebro y ojos bastante desarrollados. En la cabeza se encuentran los tentáculos, de ahí el nombre de cefalópodos. Poseen diez tentáculos con ventosas en la cara interna con el objetivo de facilitar el manejo de la comida, ocho son de extensión corta y dos más largos y flexibles que utilizan para capturar sus presas. Uno de estos tentáculos es denominado hectocótilo y es el encargado de transferir el esperma a la hembra durante la reproducción. En el centro del círculo de los tentáculos, el calamar posee una cavidad oral formada por dos mandíbulas con una estructura de queratina denominada pico de loro que utilizan para fragmentar el alimento. Dentro de esta cavidad se encuentra la rádula, una especie de lengua que sirve para despedazar la comida y así facilitar la ingesta.

El calamar se caracteriza por poseer un manto largo y ligeramente delgado con una longitud que oscila entre los quince y los cuarenta centímetros en la edad adulta, siendo la talla más común entre veinte y los treinta centímetros. Está recubierto por una piel compuesta por cuatro capas: dos de ellas se localizan en la parte externa y son las más visibles; las otras dos capas internas, comúnmente conocidas como membranas, se encuentran en la parte interna, son de color blanquecino, sumamente delgadas y se encuentran adheridas al músculo (Sánchez, 2002). La piel de los cefalópodos posee un alto contenido en colágeno y menor contenido en hidroxiprolina que el de los animales terrestres, siendo más sensible térmicamente, lo que le proporciona menores temperaturas de fusión y mayor capacidad de hidratación (Aldoradín et al., 2013). El manto consta con dos aletas romboidales en su extremo posterior que suponen aproximadamente dos tercios su longitud total. Los calamares utilizan las aletas para desplazarse y conseguir cierta estabilidad durante la natación, permitiéndoles recorrer grandes distancias tanto horizontal como verticalmente (Csirke et al., 2018). En su hábitat natural, el calamar se caracteriza por ser semitransparente, con tonalidades que varían en función del entorno y en forma de respuesta a diferentes estímulos (Chaparro, 2014).

Además, los calamares albergan en el cuello un sifón que tiene función propulsora para desplazarse por el medio y expulsar los productos de desecho. El manto es elástico y tiene como función proteger al calamar, conservar los nutrientes y albergar la masa visceral (Castillo et al., 2015). En cuanto al aparato digestivo, a continuación de la cavidad oral se encuentra el esófago, que traspasa el alimento al estómago, donde se acumula y luego se transfiere al ciego para pasar posteriormente al hígado y páncreas y ser absorbido por el cuerpo. El estómago del calamar tiene un tamaño pequeño, con forma de bolsa ovalada que conecta con el intestino y este a su vez con el recto, donde se recogen los productos de desecho antes de ser expulsados por el ano.

El calamar posee arterias, venas y capilares recubiertas por endotelio. Tienen tres corazones, uno de ellos sistémico y dos corazones branquiales, encontrándose estos últimos en el extremo superior de las branquias. Entre los dos corazones branquiales se encuentra el corazón sistémico, encargado de recolectar la sangre de las diferentes partes del calamar como el manto, la cabeza y las vísceras. Esta sangre desemboca en los corazones branquiales donde se oxigena y retorna al corazón sistémico, donde comienza de nuevo la distribución. Se trata de un sistema circulatorio cerrado donde la presión y el flujo de sangre es mayor que un sistema circulatorio abierto para captar más oxígeno. La sangre llega rápidamente a los tejidos permitiendo la eliminación de los desechos en poco tiempo, contribuyendo a un metabolismo rápido, lo que conlleva más velocidad en los movimientos (Jereb et al., 2010).

El calamar tiene una reproducción sexual que tiene lugar generalmente en primavera y verano. Durante el proceso de reproducción, los calamares forman grupos de machos y hembras nadando en círculos para encontrar su pareja. Para atraer a las hembras, los machos cambian de color mediante unas células pigmentarias que se encuentran principalmente en la zona dorsal, llamadas cromatóforos que también sirven para camuflarse y comunicarse con otros organismos. Una vez la hembra ha mostrado interés por el macho, se produce la fecundación a través del hectocótilo que deposita el esperma en una bolsa que posee la hembra bajo unas glándulas en las branquias con el objetivo de fertilizar los huevos. La hembra distribuye los huevos en zonas estratégicas para evitar que los depredadores los encuentren (Srairi et al., 2023).

Existen diferencias entre el aparato reproductor de machos y hembras que son difíciles de distinguir por su aspecto externo. Las hembras poseen en la mitad posterior del manto los ovarios que contienen los óvulos. Su forma es ovalada, de color blanquecino. Los machos tienen en la mitad posterior del manto los testículos que producen esperma de color blanquecino que se almacena hasta que se produce la fecundación. Son organismos semélparos, con una única reproducción durante su corta vida (Pérez-Palafox, 2019).

Además, en el interior del manto, el calamar alberga una bolsa de tinta cerca del sifón. Cuando el calamar se encuentra en peligro, se produce la excreción de tinta formándose una nube negra que les permite escapar de sus depredadores. Para dar soporte al cuerpo blando y proporcionar estabilidad durante la natación, los calamares tienen en su interior una delgada estructura denominada pluma de calamar. Estos dos elementos dan nombre al animal, cuyo origen es *calamario*, *calamarius* en latín vulgar que significa tintero antiguo, asociado a la tinta y a la estructura de la pluma que recuerdan a

este objeto. Los calamares tienen sistemas nerviosos muy desarrollados, lo que les permite poseer una excelente capacidad de adaptación al medio mediante el camuflaje, lo que los convierte en depredadores muy eficientes (Castillo et al., 2015; Nishiguchi y Mapes, 2008).

El músculo de los cefalópodos contiene colágeno en grandes cantidades, suponiendo un 11 % de la proteína total del músculo en especies como *Illex argentinus* (Okuzumi y Fujii, 2000). La disposición de las fibras musculares es desigual en cada parte del cuerpo en los diferentes cefalópodos (Kier, 2016; Mouritsen y Styrbæk, 2018). El manto del calamar, por ejemplo, está formado por varias capas de fibras musculares extendidas transversalmente entre sí, intercaladas en varios ángulos y cubiertas por varias láminas de tejido conectivo con orientaciones longitudinal, radial y circular (Anadón, 2019), lo que explica la dureza en la textura del manto del calamar a diferencia de la de otros peces (Agrafioti y Katsanidis, 2012). La composición proximal de los cefalópodos puede variar según la fase de maduración, sexo, hábitats de los individuos y época del año (Ortiz, 2019), además, pueden presentarse diferencias entre las distintas partes de un mismo espécimen (Atayeter y Ercoşkun, 2011). En general, el contenido en lípidos en cefalópodos es mayor en primavera e invierno por la mayor abundancia de nutrientes, mientras que las proteínas no sufren fluctuaciones estacionales (Ozogul et al., 2008).

3.1.4 Características tecnológicas y nutricionales de la carne de calamar

La porción comestible de los cefalópodos está compuesta por un contenido en agua cercano al 80 %, un alto contenido en proteínas y un bajo contenido en grasa (Cui et al., 2019; Raman y Mathew, 2015). Los cefalópodos aportan una energía calórica alrededor de 80-90 Kcal/ 100 g, siendo menor que la del pescado. El componente mayoritario del músculo del calamar es el agua (Cabello et al., 2004), con valores que difieren poco de una especie a otra. Por ejemplo, el calamar común *Loligo vulgaris* posee un contenido en humedad en torno al 78-80 %; *Loligo plei* se encuentra en torno al 74 % y *Dosidicus gigas* presenta valores alrededor del 83 % (García et al., 2018). El contenido en humedad del músculo del calamar está directamente relacionado con su valor de actividad de agua, siendo un factor importante para el crecimiento microbiano y para las reacciones químicas y enzimáticas que deterioran el producto.

Las proteínas son el segundo componente mayoritario del músculo del calamar, con valores entre el 13-22 % del total (Fonseca Rodríguez y Chavarría-Solera, 2017; Raman y Mathew, 2015). La

degradación del músculo tras la captura afecta a la configuración espacial de las proteínas, aumentando los enlaces carbonilo y disulfuro y disminuyendo los grupos sulfidrilo, reduciendo la solubilidad de las proteínas y la capacidad de retención de agua en el músculo (Zhu et al., 2023). Sin embargo, esta degradación no tiene por qué afectar al aspecto y sabor del calamar (Qi et al., 2022). Estudios previos han reportado contenidos de proteínas de 14,4 % en *Loligo plei* (Lapa- Guimarães et al., 2005); 17 % en *Loligo vulgaris* (Moreiras et al., 2013) y, en menor proporción, en *Dosidicus gigas* (Fernández et al., 2021) y *Sepioteuthis sepioidea* (Fonseca-Rodríguez y Chavarría-Solera, 2017) con valores cercanos al 13 %. Esta composición permite aplicar la denominación comercial de “alimento fuente de proteínas”, al ser los niveles mayores al 12 % que exige la legislación (Reglamento (CE) nº 1924/2006). Su contenido en proteínas varía con la especie, la época de la captura, la alimentación y el estado de maduración del calamar (Cabello et al., 2004).

Las proteínas del músculo del calamar se clasifican en tres grupos según su solubilidad: proteínas contráctiles o miofibrilares, proteínas sarcoplásmicas o solubles y proteínas del estroma o insolubles (Badui, 2005; Razcon y Tapia, 2015). Las proteínas miofibrilares o contráctiles son solubles en soluciones salinas y suponen un 75-85 % de las proteínas del músculo. La miosina es la proteína mayoritaria, junto con la actina y la paramiosina, representando estas últimas hasta el 25 % de las proteínas miofibrilares de los invertebrados marinos (Murrieta-Martínez et al., 2016). Las proteínas sarcoplásmicas son solubles en agua y representan aproximadamente el 15 % de las proteínas del músculo. Se caracterizan por su alta capacidad de retención de agua y por ser buenos agentes emulsionantes y gelificantes (Badui, 2005; Razcon y Tapia, 2015). Además, poseen una alta actividad proteolítica (Arias-Moscoso et al., 2015). A diferencia de los animales vertebrados donde la mioglobina es la proteína sarcoplásmica más importante, en los cefalópodos es la hemocianina. Esta proteína es la responsable de transportar el oxígeno desde los órganos respiratorios hacia los tejidos, donde el oxígeno se libera para su uso celular. Contiene cobre en su centro activo y proporciona a la sangre un color azul cuando está oxigenada (Dihort-García et al., 2011). Además, el músculo del calamar contiene paramiosina parcial, una proteína motora relacionada con la contracción muscular (Cui et al., 2019). Todas estas proteínas musculares pueden degradarse debido a la actividad de las enzimas musculares. Las catepsinas son las proteasas musculares más activas, en particular las catepsinas B y L, que están relacionadas con la degradación y desnaturalización de las proteínas en productos de la pesca (Deng et al., 2014; Hernández-Andrés et al., 2006). Las proteínas estromales constituyen aproximadamente un 10 % de las proteínas del músculo. Son proteínas insolubles en agua y están formadas principalmente por proteínas del tejido conectivo como el colágeno, la reticulina y la elastina. El colágeno es el componente mayoritario, siendo responsable de la unión de las células y del

movimiento del calamar. En especies de *Loligo spp*, el colágeno representa aproximadamente el 3 %, aumentando a medida que el animal envejece, ya que se polimeriza mediante enlaces covalentes entrecruzados que aumentan con la edad del calamar, mejorando la termoestabilidad de esta proteína e incrementando su resistencia a la desnaturalización (García et al., 2018). Los niveles de proteínas encontrados en el calamar son muy interesantes para el ser humano, ya que éste no es capaz de acumularlas y necesita ingerirlas para su buen funcionamiento fisiológico (Deng et al., 2014). La cantidad de proteínas presentes en los cefalópodos depende de su contenido en agua y lípidos, ya que son inversamente proporcionales.

La cantidad total de lípidos presente en el músculo del calamar oscila entre 1,1 %- 3,0 % (Cabello et al., 2004; Fonseca-Rodríguez y Chavarría-Solera, 2017; Raman y Mathew, 2015). Los lípidos actúan como barrera y evitan la salida de otros nutrientes del músculo del calamar (Cabello et al., 2004). Su cantidad y tipo varía según la especie, el ciclo biológico, alimentación o desove. Por ejemplo, en épocas donde el alimento es escaso, la grasa almacenada sirve como fuente de energía para el crecimiento (Moltschaniwkyj, 2004; Satjarak et al., 2022). El contenido en grasa del calamar es muy variable, siendo en especies como *Loligo vulgaris* del 1,3 % (Moreiras et al., 2013), *Loligo plei* del 2 % (Lapa-Guimarães et al., 2005). En el caso de *Dosidicus gigas*, se encuentran estudios con diferencias en el contenido en grasa. Por ejemplo, Cortés-Ruiz et al. (2008) obtuvieron valores del 0,9 % y Fernández et al. (2021) cifraron el contenido en lípidos totales en torno al 2 % en especies capturadas en aguas de Chile y Perú.

A pesar de estas diferencias, los calamares pueden considerarse como alimentos bajos en grasa (< 3 g/ 100 g) (Reglamento (CE) nº 1924/2006). El músculo del calamar es bajo en triglicéridos y no tiende a acumular grasa, siendo su componente principal los fosfolípidos (40-45 %) situados en las membranas musculares (Okuzumi y Fujii, 2000). La grasa del calamar se acumula principalmente en los órganos internos, siendo lípidos altamente insaturados. Los lípidos presentes en el calamar son de alto valor biológico por su riqueza en ácidos grasos ω -3 (DHA y EPA) constituyendo 39 % y 35 % del total de la grasa presente en el manto y los brazos (Atayeter y Ercoşkun, 2011; Ozogul et al., 2008; Schmidt et al., 2020). Sin embargo, los ácidos grasos ω -6 sólo representan el 1,9 % (Cui et al., 2020a).

Los lípidos presentes en cefalópodos tienen una gran importancia nutricional por su alto contenido en ácidos grasos como el docosahexaenoico (DHA) y el ecosapentaenoico (EPA) (Aubourg et al., 2021a; Ozogul et al., 2008), cuya ingesta contribuye a mejorar la memoria y a prevenir el envejecimiento del cerebro (Cui et al., 2020a). Los cefalópodos destacan por su elevado nivel de colesterol, siendo mayor

en sepias y calamares (112 mg/100 g y 233 mg/100 g, respectivamente), que en pulpos (48 mg/100 g). En todo caso, ambos son valores elevados si los comparamos con pescados como el salmón (55 mg/100 g) o el bacalao (43 mg/100 g) (Ozogul et al., 2008; USDA, 2018). A diferencia de lo que sucede con la degradación de las proteínas, la oxidación lipídica produce cambios de aspecto y color (decoloración amarilla) y a la aparición de olores y sabores desagradables (rancidez) (Bhat et al., 2018), que estarían asociados sobre todo al deterioro de los ácidos grasos poliinsaturados de los fosfolípidos (Xuan et al., 2017; Zhang et al., 2015). Los principales factores que afectan a la oxidación de las grasas del calamar son la presencia de oxígeno, la luz y la temperatura de almacenamiento (Tan et al., 2019).

Los calamares no contienen fibra dietética, pero poseen carbohidratos (Mouritsen y Styrbæk, 2018), aunque sus niveles son bajos (0,8-2,0 mg/ 100 g). Solo una pequeña parte de los carbohidratos se acumulan como glucógeno muscular, siendo utilizados como fuente de energía para llevar a cabo actividades anaeróbicas rápidas como la huida de depredadores o la captura de otras especies (Sánchez, 2013). También contienen minerales que forman parte de los compuestos orgánicos e inorgánicos. Estos compuestos, aunque no aportan energía, son interesantes para conocer el contenido mineral y detectar la presencia de contaminantes (Cabello et al., 2004). El contenido en cenizas publicado para *Loligo duvacei* y *Dosidicus gigas*, es de 1,2 % (Raman y Mathew, 2015; Fernández et al., 2021), mientras que para *Loligo vulgaris* y *Loligo plei* es de 1,7 % (Lapa- Guimarães et al., 2005).

Además, el calamar está considerado una fuente dietética de vitamina B12 y vitamina E, de minerales como el calcio, potasio, zinc, hierro, fósforo, cobre y selenio (Craig y Overnell, 2003; Flores et al., 2017) y de aminoácidos como la lisina, leucina, isoleucina, treonina y otros nucleótidos (Cui et al., 2020a). Sin embargo, el calamar contiene cantidades relevantes de colesterol y sodio, por lo que se recomienda un consumo moderado en personas con patologías relacionadas (Moreiras et al., 2013). La **tabla 1** muestra la composición detallada del calamar común *Loligo vulgaris* y las recomendaciones dietéticas diarias para hombres y mujeres.

Tabla 1. Composición nutricional del calamar común y recomendaciones de ingesta diaria

	Por 100 g de porción comestible	Por ración (200 g)	Recomendaciones día-hombre	Recomendaciones día-mujeres
Energía (Kcal)	80	112	3000	2300
Proteínas (g)	17	23,8	54	41
Lípidos totales (g)	1,3	1,8	100-117	77-89
AG saturados (g)	0,340	0,48	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	0,100	0,14	67	51
AG poliinsaturados (g)	0,480	0,67	17	13
ω -3 (g)	0,467	0,654	3,3-6,6	2,6-5,1
C18:2 Linoleico ω -6) (g)	0,002	0,003	10	8
Colesterol (mg/1000 kcal)	200	280	<300	<230
Hidratos de carbono (g)	0	0	375-413	288-316
Fibra (g)	0	0	>35	>25
Agua (g)	81,7	114	2500	2000
Calcio (mg)	78	109	1000	1000
Hierro (mg)	1,7	2,4	10	18
Yodo (μg)	64	89,6	140	110
Magnesio (mg)	36	50,4	350	330
Zinc (mg)	1,2	1,7	15	15
Sodio (mg)	425	595	<2000	<2000
Potasio (mg)	93	130	3500	3500
Fósforo (mg)	185	259	700	700
Selenio (μg)	44,8	62,7	70	55
Tiamina (mg)	0,07	0,10	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,14	0,20	1,8	1,4
Equivalentes niacina (mg)	3,6	5,0	20	15
Vitamina B₆ (mg)	0,003	0	1,8	1,6
Folatos (μg)	5,1	7,1	400	400
Vitamina B₁₂ (μg)	1,30	1,8	2	2
Vitamina C (mg)	4,7	6,6	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol (μg)	70	98	1000	800
Vitamina D (μg)	-	-	15	15
Vitamina E (mg)	2,7	3,8	12	12

-: Dato no disponible

Fuente: Tablas de Composición de Alimentos. Moreiras et al. (2013).

3.1.5 Producción, consumo y comercialización del calamar

El calamar común *Loligo vulgaris* es una de las especies de cefalópodos que más abundan en el Noroeste Atlántico y la costa mediterránea (Sánchez et al., 2008) junto con el pulpo (*Octopus vulgaris*) y la sepia (*Sepia officinalis*), aunque también se encuentran en el Mar del Norte (Arkhipkin et al., 2015). El calamar común consumido en Europa procede principalmente de pesquerías de la zona FAO 34 (Marruecos y Mauritania), siendo un importante recurso pesquero que se encuentra distribuido por la costa del Noroeste de África gracias a las particulares condiciones meteorológicas determinadas por los vientos alisios y a la estructura de la plataforma continental, lo que hace que esta área resulte muy rentable para la pesca (González, 2021). En comparación con otros moluscos, que son principalmente bentónicos, los calamares comunes se pueden encontrar, tanto en zonas bentónicas, como pelágicas, cerca de la superficie o a profundidades cercanas a los 5000 metros (Castillo et al., 2015; Nishiguchi y Mapes, 2008), aunque abunda sobre todo en zonas próximas al litoral en las costas del norte y oeste de África (Cozza et al., 2016), donde la temperatura del agua se encuentra comprendida entre 12,5-20 °C (Jereb y Roper, 2010).

A pesar de que la producción de calamar ha ido disminuyendo en los últimos años, ésta representa el 8,8 % de la producción mundial de animales acuáticos, siendo aproximadamente de 543 millones de toneladas en 2022 (FAO, 2024). La mayor parte de la producción mundial de calamar se concentra en el Océano Pacífico (73 %), seguido por el Océano Atlántico (16 %), siendo los países asiáticos los principales productores con alrededor del 60 % de la producción mundial de calamar. Entre los países productores, destaca China, que representa el 27 % de la producción global y Perú con capturas cercanas al 20 % de la pesca mundial del calamar. Las especies de calamar más explotadas son el calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y el calamar argentino (*Illex argentinus*). Sin embargo, la producción del calamar común o europeo (*Loligo vulgaris*) es muy pequeña en comparación con las especies mencionadas anteriormente, con capturas que levemente superan el 1 % en las zonas costeras de Marruecos, Mauritania y el Mar Mediterráneo (Ruano et al., 2022), como se puede observar en la **figura 6**, donde se muestran las principales especies de calamar y su producción mundial en el año 2019. Este menor volumen de pesca se explica en parte porque los ejemplares de calamar común son de menor tamaño.

El consumo de calamar ha experimentado un crecimiento notable a nivel mundial, con un aumento especialmente destacado en países asiáticos como Japón, China y Corea del Sur. Estos lugares han mantenido una tradición de incorporar calamar en su dieta y cultura culinaria. En los países

occidentales, se ha observado un cambio en las preferencias hacia opciones más saludables y sostenibles, lo que ha contribuido a aumentar la demanda de productos del mar, incluido el calamar. La creatividad culinaria ha impulsado la popularidad del calamar, con innovaciones en la presentación de platos y diversas formas de preparación. Además, la disponibilidad de productos transformados de calamar ha facilitado su inclusión en la dieta. En España, el consumo per cápita de calamar ha experimentado un ligero aumento en los últimos años (**tabla 2**), situándose en 0,46 kg/ año en 2020 respecto a 0,36 kg/ año en 2016.

Figura 6. Principales especies de calamar y producción en 2019

Common name	Scientific name	2019 production ('000 t)	% of total
Jumbo flying squid	<i>Dosidicus gigas</i>	939.24	35.56
Argentine shortfin squid	<i>Illex argentinus</i>	249.26	9.44
Japanese flying squid	<i>Todarodes pacificus</i>	104.0	3.94
Patagonian squid	<i>Doryteuthis gahi</i>	94.0	3.56
Schoolmaster gonate squid	<i>Beryteuthis magister</i>	88.29	3.34
Wellington flying squid	<i>Nototodarus sloanii</i>	43.80	1.66
Northern shortfin squid	<i>Illex illecebrosus</i>	28.56	1.08
Opalescent inshore squid	<i>Doryteuthis opalescens</i>	22.89	0.87
Longfin squid	<i>Loligo pealeii</i>	12.44	0.47
Cape Hope squid	<i>Loligo reynaudii</i>	7.31	0.28
Neon flying squid	<i>Ommastrephes bartramii</i>	7.10	0.27
Bigfin reef squid	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	5.84	0.22
Broadtail shortfin squid	<i>Illex coindetii</i>	4.75	0.18
European squid	<i>Loligo vulgaris</i>	1.84	0.08
European flying squid	<i>Todarodes sagittatus</i>	1.47	0.06
Veined squid	<i>Loligo forbesii</i>	1.33	0.05
Indian squid	<i>Uroteuthis duvaucelii</i>	0.44	0.02
Lesser flying squid	<i>Todaropsis eblanae</i>	0.32	0.01
African squid	<i>Alloteuthis africana</i>	0.12	0.01
Alloteuthis squids nei	<i>Alloteuthis spp</i>	0.05	0
Common bobtail squid	<i>Sepietta oweniana</i>	0.01	0
Midsized squid	<i>Loligo media</i>	0.01	0
Antarctic flying squid	<i>Todarodes filippovae</i>	0.01	0
Greater hooked squid	<i>Onykia ingens</i>	0.01	0
Sevenstar flying squid	<i>Martialia hyadesi</i>	0.00	0
Gonate squids nei	Gonatidae	0.00	0
Robust clubhook squid	<i>Onykia robusta</i>	0.00	0
Other	Squids nei	1028.10	38.93

Fuente: Ruano et al. (2022).

Tabla 2. Consumo de calamar congelado en los hogares españoles durante el periodo 2013-2022

	Consumo per cápita kg/año (TAM)	Volumen de consumo (t) (TAM)
2013	0,43	19.489,39
2014	0,44	19.856,36
2015	0,41	18.203,79
2016	0,36	15.626,33
2017	0,37	16.956,85
2018	0,44	19.952,92
2019	0,43	19.742,25
2020	0,46	21.365,13
2021	0,43	20.127,96
2022	0,33	15.211,68

Abreviaturas: TAM: Tasa anual móvil; t: tonelada.

Fuente: <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/panel-de-consumo-alimentario/>

3.1.6 Principales productos transformados de calamar

Los productos transformados de la pesca incluyen un amplio abanico de artículos comerciales. El pescado, en general, se somete a procesos de salado, secado, ahumado o enlatado con el fin de prolongar la vida útil de estos productos, ya que estas tecnologías previenen que bacterias patógenas puedan sobrevivir en el alimento y así mejorar la conservación. Sin embargo, los productos transformados a base de cefalópodos y, en particular, de calamar no son muy conocidos. En la industria alimentaria podemos encontrar, entre otros, lo siguientes productos (**figura 7**):

- * Calamar troceado: descongelado, eviscerado, lavado y posteriormente troceado mecánicamente, obteniendo porciones irregulares de calamar. El envase final puede ser

congelado o refrigerado y su venta puede ser a granel, al vacío o embolsado. Puede tener un pretratamiento de marinado con sales para mejorar las características sensoriales y la conservación.

- * Calamar en su tinta o en salsa: sometido a un tratamiento previo de lavado, eviscerado y marinado y, posteriormente, se adiciona el líquido de gobierno. Suele presentarse en conserva.
- * Anillas de calamar: proceden de porciones del manto del calamar, siendo sometidas a un proceso de extrusión y gelificación para darle forma de anilla, en el que se adicionan ciertos elementos como sales y conservantes. Podemos encontrarlas también rebozadas y con un tratamiento de pre fritura. Suele presentarse congeladas en bolsa con formato familiar.
- * Rabas de calamar rebozadas: el manto es descongelado, marinado y cortado mecánicamente en porciones rectangulares de tamaño variable, normalmente 8 cm (largo) x 1cm (ancho) x 1 cm (espesor). Las porciones son enharinadas, pre-fritas y congeladas. Las encontramos normalmente en bolsas de gran formato.
- * Calamar relleno: el proceso incluye la descongelación de la materia prima, eviscerado y lavado y posterior relleno con partes del propio calamar u otros pescados o mariscos. Se comercializan envasados individualmente o a granel.
- * Calamar cocido: el calamar eviscerado y marinado se somete a un proceso de cocción obteniendo un producto listo para el consumo. Puede elaborarse entero congelado a granel, envasado al vacío o bien, cortado en rodajas.

Además de los productos mencionados anteriormente, la industria planea desarrollar nuevos productos más adaptados a las necesidades del consumidor actual. La utilización del manto de calamar para obtener colágeno se encuentra ampliamente descrita en la literatura científica. Los hidrolizados de colágeno se emplean como complementos nutricionales en la industria farmacéutica para elaborar biopolímeros o como antioxidantes en la industria alimentaria. Existen estudios donde se describe que los hidrolizados de calamar podrían reducir la oxidación de los lípidos (Fang et al., 2012; García et al., 2018; Giménez et al., 2009). También se ha utilizado el manto del calamar en polvo como ingrediente para enriquecer yogures (Córdova et al., 2018).

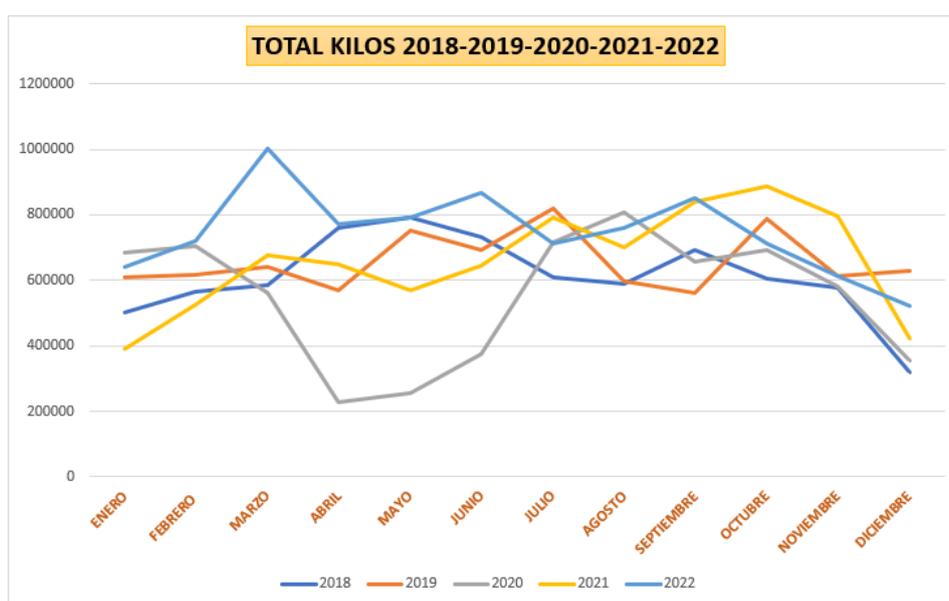
Figura 7. Ejemplos de productos transformados de calamar comercializados

		Presentación comercial	Ingredientes
Calamar crudo troceado			INGREDIENTES E Calamares (<i>Loligo spp</i>) (88%) (moluscos), agua (12%), sal, correctores de acidez: E-330 y E-331. Puede contener pescado y/o crustáceos.
Rabas de calamar empanadas			INGREDIENTES: E POTÓN (MOLUSCO) (70%); Agua, sal, correctores de la acidez (E-331, E-330) y estabilizante (E-451), empanado (30%): pan rallado [harina de TRIGO (GLUTEN), agua, pimentón, sal, levadura y cúrcuma], aceite de girasol y harina de TRIGO (GLUTEN). Puede contener trazas de leche, huevo, pescado, crustáceos, soja y mostaza.
Calamar relleno			INFORMACIÓN/INFORMATION Calamares rellenos en aceite de oliva INGREDIENTES: Calamares, aceite de oliva (34%) y sal. Puede contener pescado y crustáceo.
Calamar en salsa			Calamares en salsa americana. Ingredientes: calamares (Moluscos) y salsa americana (aceite de girasol, tomate, cebolla, sal, almidón modificado, azúcar, especias y aromas naturales).
Anillas de calamar			INGREDIENTS Squid (<i>Dosidicus gigas</i>), Sodium Tripolyphosphate, Sodium Hexametaphosphate, Sodium Citrate
Calamar cocido troceado			INGREDIENTES: POTÓN DEL PACÍFICO (<i>DOSIDICUS GIGAS</i>), almidón de arroz, sal, PROTEÍNA DE LECHE y antioxidante: ascorbato de sodio. Puede contener trazas de pescado, crustáceo.

España cuenta con un gran número de empresas dedicadas a fabricar y comercializar productos congelados de la pesca. Según el ranking del valor de las ventas en millones de euros proporcionado por Statista (Orús, 2022), destaca Nueva Pescanova S.L (1050 M), Grupo Profand S.L (929 M) o Grupo Virto S.A (519 M). Cabe destacar que las empresas que lideran el ranking no sólo se dedican a la producción y comercialización de cefalópodos y pescados congelados, sino que incluyen una amplia gama de productos congelados vegetales, cárnicos, etc.

La empresa que colabora en esta investigación, ubicada en el Polígono Industrial de Ascoy s/n, Cieza (Murcia), se encuentra en el puesto 53 de dicha lista. Actualmente, cuenta con un centro de producción en Chile y delegaciones en Estados Unidos y Mauritania. Se dedica principalmente a la elaboración de cefalópodos congelados y, en menor medida, a la venta de cefalópodos refrigerados. Sus productos principales son pulpos, calamares, sepia y potón del Pacífico. Cuenta con una plantilla de 140 empleados, siendo el volumen de producción cercano a los 9 millones de kg en 2022, lo que supone un aumento del 8 % respecto al año 2021 (**figura 8**). La empresa se distribuye en cinco departamentos (calidad, producción, ventas, mantenimiento y recursos humanos) y cuenta con las certificaciones de calidad ISO 9001, ISO 14001 e IFS Food. Las instalaciones se encuentran ubicadas en un mismo edificio que cuenta con la sala de elaboración, oficinas de producción, expedición, ventas, recursos humanos y gerencia. En los exteriores, pero en el mismo recinto, se encuentra la planta de tratamiento de agua y el almacén de materiales auxiliares.

Figura 8. Kilos producidos por la empresa colaboradora en el periodo 2018-2022



3.2 INDUSTRIALIZACIÓN DEL CALAMAR

La industrialización del calamar incluye los métodos de pesca, los tratamientos frigoríficos y la elaboración de productos transformados. En la industria transformadora de cefalópodos, cada vez es más frecuente elaborar productos marinados con el fin de mejorar sus características sensoriales y microbiológicas, proporcionando un producto con un alto valor añadido apto para el consumo. Dentro de esta práctica, se incluyen las etapas de descongelación, evisceración, maceración, cocción y/o congelación, entre otras. La fabricación de estos productos está condicionada por el tipo de transformación, las variables empleadas y por la preparación del consumidor final (Carrera-Quintana y Jiménez-Perdomo, 2022; Fuentes, 2007).

Según el informe de la FAO (2022), más de la mitad de los alimentos procedentes del mar se comercializan de forma congelada, un 26 % forma preparada y en conserva y un 13 % en forma deshidratada, salada, ahumada o fermentada, entre otras. Es importante destacar que los países desarrollados son los que favorecen el consumo de productos transformados dejando atrás los métodos tradicionales y avanzando hacia productos con más valor añadido. La aparición y el aumento de este tipo de productos ha favorecido el comercio nacional e internacional. En Asia y África, se emplean sobre todo métodos de conservación tradicionales, como son la salazón, el ahumado, la fermentación o el secado. En España, la transformación de los productos de la pesca ha estado siempre fijada en el tejido social y empresarial de zonas cercanas a la costa. Debido a que en tiempos pasados la distribución y la comunicación era limitada, se desarrolló una fuerte especialización en productos en conserva y salazón, para poder distribuir y abastecer a poblaciones del interior del país (Fernández-Polanco et al., 2012).

En los últimos dos decenios, se ha observado como los alimentos procesados han experimentado un gran auge en los mercados. Los cambios en el estilo de vida y en los hábitos de consumo son un hecho, ya que las nuevas formas de vida dificultan el consumo de los productos de la pesca tradicionales debido a que ha disminuido el tiempo disponible para cocinar y el consumidor cada vez demanda un producto que tenga una rápida y sencilla preparación en el hogar. Es por ello que la industria alimentaria ha desarrollado nuevos formatos de venta para proporcionar productos transformados de la pesca que se adecúen a las necesidades exigidas. Los supermercados y, en particular, las grandes superficies, ofrecen productos de la pesca emergentes, más atractivos, quedando en un segundo plano las pescaderías tradicionales. En España, los hábitos de consumo se concentran en un reducido

grupo de productos de la pesca, a pesar de la gran oferta que ofrecen las lonjas y otros puntos de venta.

3.2.1 Pesquerías y métodos de pesca

La pesca es una de las actividades primarias realizadas por el hombre desde tiempos ancestrales para su supervivencia. La pesca en aguas de la costa africana no comenzó a desarrollarse hasta principios del siglo XX, ya que la población africana solía asentarse en zonas cercanas a la desembocadura de los ríos y lagunas cercanas, siendo las embarcaciones tripuladas por pescadores locales muy escasas. Fue durante la Segunda Guerra Mundial cuando se desarrollaron las pesquerías en las zonas costeras del Sáhara Occidental debido a que flotas industriales europeas migraron hacia la costa sahariana. Al mismo tiempo, se desarrollaron otras pesquerías locales, principalmente artesanales, que hoy en día tienen una importancia considerable (Abdallahi, 2017). Actualmente, la pesca en las costas de África occidental es una de las más rentables a nivel mundial, ya que abarca más de mil kilómetros de costa atlántica. Está condicionada por el movimiento y recorrido del agua del océano Atlántico, siendo esta área muy productiva donde se explotan especies pelágicas, oceánicas y bentónicas. Los artes de pesca empleados varían en función de la especie que se quiera capturar y de la zona en la que se encuentren. Para pescar el calamar se utilizan artes de pesca pasivos y activos.

La captura mediante artes de pesca pasivos se basa en el movimiento de la especie hacia el arte de pesca (Chaparro, 2014). Se trata del tipo más antiguo de artes de pesca y se utilizan principalmente en la pesca a pequeña escala y pesca artesanal. A continuación, se describen los principales artes de pesca pasivos empleados para el calamar:

- * Redes de enmalle. Son también llamadas redes agalleras, cuyo nombre procede de su principio de captura, pues los peces son atrapados por la región de las agallas. Están compuestas por una pared de mallas donde los peces al intentar atravesarlas quedan atrapados. La malla está compuesta de hilos finos reforzados por cuerdas en todos sus lados. Tienen una posición vertical, por lo que existe una línea de flotación en la parte superior y pesos en la parte inferior. La luz de malla y la tasa de calado depende de la especie y talla objeto de captura. Debido a que los peces pueden detectar este tipo de redes, las capturas suelen ser más productivas cuando hay niveles bajos de luz o las aguas son turbias. Además, actualmente están construidas con nylon debido a su baja visibilidad. Este tipo de redes suelen

emplearse ancladas al fondo marino y pueden ser utilizadas tanto por embarcaciones pequeñas como por buques grandes capaces de pescar a grandes profundidades. Suelen utilizarse para capturar especies demersales que viven cerca del fondo marino, como el bacalao, lenguado o pargo, aunque también hay redes agalleras pelágicas que se utilizan para la captura de caballa, arenques o calamares. Una variedad de las redes agalleras son los trasmallos, en los cuales los peces son capturados por enmallamiento. Este tipo de red es similar a la red agallera, con la diferencia de poseer tres paredes en lugar de una. El pez atraviesa las tres paredes quedando así atrapado entre éstas. Este tipo de arte suele utilizarse para capturas de espáridos como brechas, sargos o besugos entre otros, aunque también cazones, rayas o salmonetes, siendo empleados por pequeñas pesquerías cerca de la costa. Las capturas mediante este método pueden realizarse en superficie, en aguas medias o en el fondo.

- * Sedales y anzuelos. El objetivo principal de este arte de pesca es el de atraer a los peces al anzuelo, lograr que lo muerdan y así poder retenerlos y capturarlos. Los anzuelos suelen estar provistos de carnada natural o de imitaciones artificiales de organismos como señuelos o lombrices. Cuando se utilizan sedales (normalmente de nylon), la cuerda se encuentra en posición vertical y puede realizarse desde una embarcación anclada o no. Es interesante mencionar dentro de este arte de pesca el palangre, donde se utiliza exclusivamente carnada natural en el anzuelo. El olor desprendido atrae a la especie objetivo hacia el anzuelo con la finalidad de que sea mordido y capturado. El palangre consta de una cuerda larga con varios anzuelos con carnada dispuestos cada cierta distancia. La longitud y número de anzuelos varía según la embarcación, las más pequeñas disponen de cientos de anzuelos, mientras que las más grandes pueden operar 50-60 kilómetros de palangre y cerca de 50000 anzuelos. Existen dos tipos de palangres: los palangres pelágicos que se utilizan para la pesca de especies como el atún, el pez espada o el salmón y los palangres anclados al fondo, utilizados para especies como el pargo, bacalao, marucas o calamar, entre otros. Dentro de este arte es importante mencionar la pesca mediante potera. Se trata de un plomo unido a un cabo madre en uno de sus extremos y a una corona de anzuelos en el otro extremo. El plomo suele estar recubierto de hilos de colores vivos para atraer a la especie objeto de captura. Algunas poteras presentan luz o forma de pez. Se utiliza principalmente para la captura de cefalópodos.

- * Nasas y trampas. Este tipo de arte tiene como objetivo llevar a la especie que se desea capturar hacia una caja o compartimiento que no le permita escapar. A pesar de que las nasas

son un tipo de trampa, es necesario definir las por separado debido a diferencias en el principio de captura y su construcción. En cuanto a las nasas, se basan en atraer a los peces mediante cebos a través de una o varias entradas a la nasa. Estas entradas suelen tener forma de cajas, conos, cilindros, esferas o botellas con un tamaño variable en función de la especie objetivo. Estas aberturas tienen forma de embudo o cuña para facilitar la entrada del individuo y, a su vez, dificultar la salida. Es habitual que se dispongan en el fondo y una vez que el pez ha entrado en ésta y ha sido capturado, se retiran. Las nasas se utilizan principalmente para capturar crustáceos, peces como el bacalao o el brosmio en aguas templadas y meros en aguas tropicales. También se utilizan para la captura de pulpos, sepias y calamares. Este método es utilizado por todos los tipos de embarcaciones a excepción de las arrastreras congeladoras y las deportivas. A diferencia de las nasas, las trampas no contienen cebo o carnada y su tamaño es mayor. Conducen los peces hacia la trampa, la cual está diseñada para mantener al individuo atrapado. Dentro de las trampas podemos diferenciar dos tipos: las trampas intermareales y las trampas de marea. Las trampas intermareales tienen paredes en forma de cono y se encargan de atrapar los peces cuando baja la marea. Suelen utilizarse para capturar especies como el salmón y el bacalao. Sin embargo, en las trampas de marea los peces son retenidos lateralmente por paredes guidoras, por encima de la superficie y por debajo del lecho marino. Este tipo de trampas suelen ser permanentes y suelen ser utilizadas para la captura de peces de escama y crustáceos.

Los artes de pesca activos se basan en la captura mediante la persecución dirigida hacia la especie objeto de captura (Chaparro, 2014). En el caso del calamar, se emplean sobre todo redes de cerco y arrastre.

- * Redes de cerco. Este arte de pesca se utiliza para rodear grandes bancos de especies pelágicas, forzando la permanencia de éstas en el interior de la red que posee una luz de malla pequeña. Pueden incluir jareta, que es un cabo resistente que se encuentra en el fondo de la red de cerco con el objetivo de cerrar el fondo de la red cuando los peces se encuentran en su interior. La pesca mediante la utilización de redes de cerco es llevada a cabo desde buques costeros que se encuentran cerca del litoral. Dentro de este tipo de redes de cerco se incluyen la traíña y la salemera. La traíña tiene forma rectangular y está montada sobre dos relingas, una superior donde van colocados unos corchos para conceder flotabilidad y una inferior con plomos para proporcionar el hundimiento. Este tipo de arte se utiliza para capturar especies pelágicas costeras como la caballa, sardina o arenque y cefalópodos, entre otros. Su utilización

es principalmente durante las horas nocturnas y se emplea luz artificial. La salemera posee características similares a la traíña, aunque de menor tamaño. Se utiliza para la pesca de salemas y suele realizarse en horas diurnas desde embarcaciones que se encuentran en aguas poco profundas cerca del litoral (González et al., 2001).

- * Redes de arrastre. Consisten en unas redes que se arrastran por el fondo marino y capturan diferentes especies que se encuentran en él. Se suelen remolcar desde una embarcación en zonas donde se encuentran las especies de interés para que éstas entren en el interior y queden aherrojadas en el copo. La pesca de cefalópodos en aguas africanas suele realizarse mediante redes de arrastre de fondo, que se utiliza para capturar especies que se encuentran en el fondo marino o próximo a éste. En los extremos de la red se encuentra los calones, precedidos de unas puertas que pueden ser ovales o rectangulares. Este tipo de arte está destinado a la pesca de cefalópodos y suele ser utilizado por la flota arrastrera congeladora (González et al., 2001).

3.2.2 Pretratamientos a bordo y en puerto

La pesca de cefalópodos conlleva un tratamiento previo a su descarga en puerto. Tras la captura, los calamares se clasifican manualmente por tamaño y, siempre que sea posible, se someten a una rápida refrigeración y/o congelación con el objetivo de preservar sus cualidades y evitar el deterioro. En función del tipo de flota pesquera, podemos distinguir dos métodos de conservación: congelación a bordo y congelación en tierra.

- * Congelación a bordo: el proceso tiene lugar en la propia embarcación pesquera. Suele llevarse a cabo cuando los buques se encuentran faenando durante varias semanas e incluso meses. Este proceso garantiza la preservación de las características sensoriales hasta que finaliza el periodo de pesca y regresan a la costa. Los buques suelen estar provistos de túneles estáticos en la bodega donde el producto capturado se coloca en moldes y se congela por circulación de aire frío. También pueden existir armarios de congelación, llevándose a cabo este proceso por contacto del producto con la placa que se encuentra provista de un circuito interno de refrigerante.

- * Congelación en tierra: este método suele emplearse cuando las especies son capturadas en zonas costeras. Tras la captura, es necesario un enfriamiento rápido para conservar las cualidades sensoriales que puede llevarse a cabo con hielo almacenado o fabricado en el propio buque. Existen otros sistemas de refrigeración a bordo como el método RSW (agua de mar refrigerada), que consiste en enfriar del 20-30 % del agua de las bodegas desde la temperatura del agua del mar hasta los 0 °C (Rojas y Álvarez, 2012). Además, para garantizar la calidad del pescado, es necesario que se hayan llevado a cabo manipulaciones correctas en el barco, almacenando el pescado en condiciones sanitarias y evitando la compresión y los golpes (Barreiro y Sandoval, 2006).

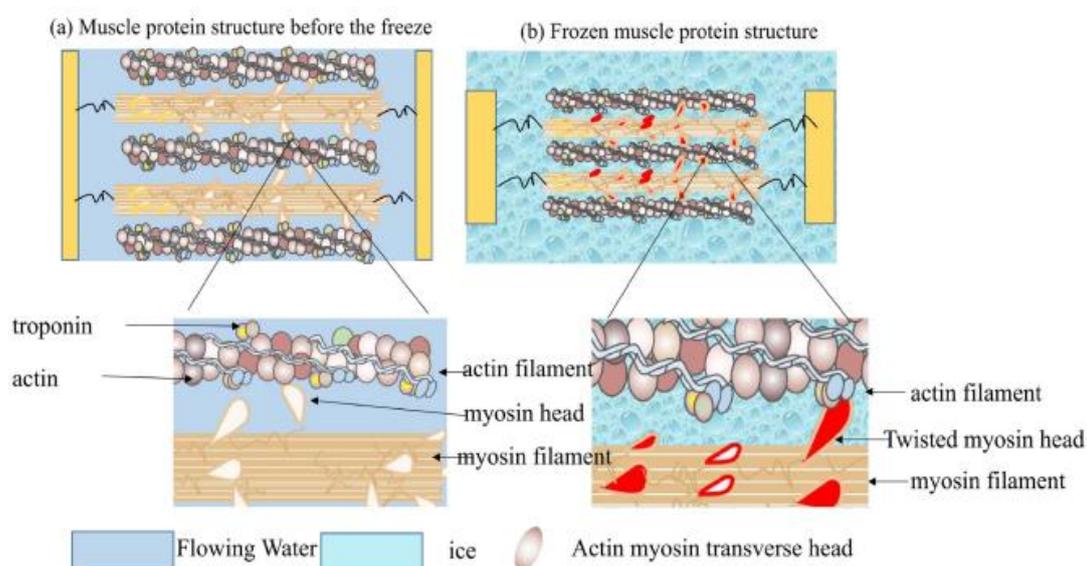
La congelación a bordo y en tierra puede llevarse a cabo tanto en bloques como de forma individual, introduciendo los calamares uno a uno en bolsas plásticas. Con el fin de evitar la deshidratación de los cefalópodos y preservar la textura, es común que, tras la pesca, éstos se sumerjan en agua de mar. Cada vez es más frecuente encontrar calamares procedentes de Marruecos y Mauritania tratados con aditivos como ácido cítrico o ascórbico para mantener y mejorar el color (Capúz, 2014; Ruiz, 2002) alterado por los cambios sufridos desde la pesca hasta la congelación. Factores como la temperatura, el oxígeno, la luz y/o el tiempo transcurrido pueden alterar el color, olor, textura y sabor de los productos de la pesca (Ramírez-Soperáñez et al., 2012). El uso de NaCl y fosfatos favorece la absorción de agua y, por lo tanto, mejora el rendimiento (Vivas y Morrillo, 2017). Estas prácticas son comunes en la industria transformadora de productos de la pesca, aunque cada vez son más típicas en países africanos debido a que el costo de la mano de obra es inferior al de los países europeos.

3.2.3 Técnicas de congelación

La congelación se basa en reducir la temperatura del alimento por debajo del punto de la formación de cristales de hielo (Gómez-Sánchez et al., 2007; Otero et al., 2013). Con ello se consigue ralentizar el deterioro de los alimentos gracias a que la baja temperatura limita el crecimiento bacteriano (Gómez-Sánchez et al., 2007) y la velocidad de las reacciones químicas, catalizadas o no por enzimas. Además, el proceso de congelación disminuye la actividad de agua, lo que también reduce la actividad microbiológica y enzimática en el alimento. Una de las ventajas de este tipo de conservación es que el alimento puede permanecer almacenado durante un tiempo prolongado sin que sus características sensoriales se vean afectadas. Esto depende de la vida útil de cada producto, siendo ésta de 24 meses

en el calamar congelado. Sin embargo, al igual que otros métodos de conservación, la congelación presenta ciertas limitaciones como, por ejemplo, daños en la calidad del producto (oxidación y deshidratación y/o daños en la estructura interna que afecta a la textura (**figura 9**)) y el gasto energético para la industria y el comercio.

Figura 9. Deformación mecánica de la estructura de las proteínas musculares en condiciones de congelación



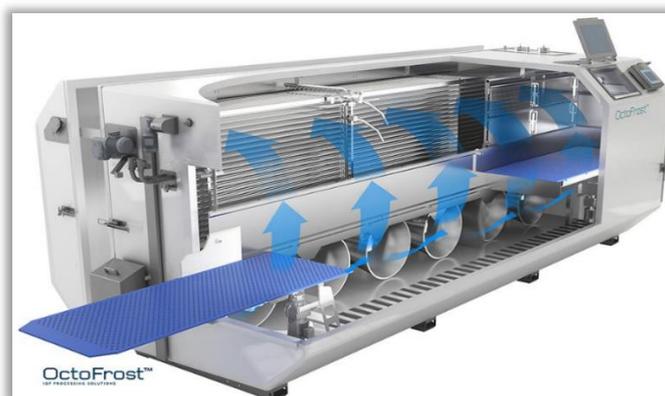
Fuente: Bao et al. (2021).

El proceso de congelación comprende tres etapas: la primera fase, llamada fase de enfriamiento, abarca desde la temperatura inicial del producto hasta 0 °C aproximadamente; la segunda fase es conocida como la fase crítica, donde se pasa desde 0 °C a -5 °C; y la fase final, donde se consigue la temperatura de conservación deseada, normalmente -18 °C. El tiempo necesario para congelar un alimento depende de su tamaño y características morfológicas, de la instalación y del método de congelación. Podemos distinguir dos tipos de congelación en función del tiempo: congelación lenta y congelación rápida. La congelación rápida se lleva a cabo normalmente en tiempos inferiores a los 30 min, reduciendo la temperatura a -50 °C en cuestión de 10-15 min dependiendo del equipo, con velocidades de congelación superiores a los 5 cm/ h (congelación ultrarrápida) o 1-5 cm/ h (congelación rápida) (Barreiro y Sandoval, 2006; Lunarejo, 2021).

La congelación lenta requiere tiempos superiores, presentando como principal inconveniente la formación de grandes cristales de hielo en el alimento ya que, cuando cristaliza el agua extracelular, la solución líquida restante se concentra en las soluciones salinas presentes y se reduce el punto crioscópico, siendo más difícil de congelar. Se produce una transferencia de agua desde el interior hacia el exterior celular intentando alcanzar un equilibrio osmótico, lo que produce la formación de una pequeña cantidad de cristales de hielo, pero de gran tamaño (Barreiro y Sandoval, 2006). Estos cambios generados en la estructura interna afectan negativamente a la calidad y características del producto final (Campañone et al., 2002; Gómez-Sánchez et al., 2007). En cambio, durante la congelación rápida, la formación de los cristales de hielo se produce tanto dentro como fuera de la célula, por lo que el proceso osmótico ocurre en menor medida y, por lo tanto, la transferencia de agua desde el interior hacia el exterior de la célula es menor, lo que se traduce en un menor daño tisular y en una menor desnaturalización proteica, favoreciendo la retención de agua y obteniendo una mejor textura. De acuerdo con Alizadeh et al. (2007) y Sampels (2015), es deseable una rápida congelación que estabilice el pescado para evitar la formación de grandes cristales de hielo que pueden destruir la membrana de las células, afectando negativamente a la textura, la capacidad de retención de agua y la oxidación.

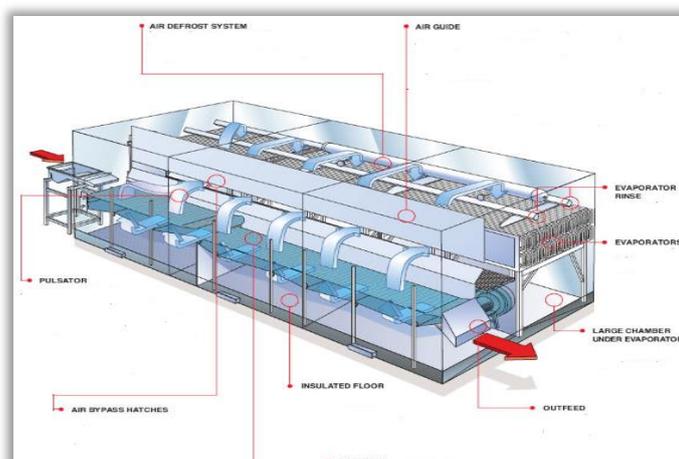
La congelación se lleva a cabo en equipos donde el alimento entra en contacto con un medio frigorífico a una temperatura mucho más baja que la del producto final deseado (Saravacos y Kostaropoulos, 2002). El tipo de proceso y las características del alimento definirán el tipo de sistema de congelación a emplear. A continuación, se detallan los principales sistemas industriales de congelación:

- * Túneles de congelación: se trata de instalaciones cerradas donde el frío se genera gracias a fluidos refrigerantes (normalmente amoníaco o freón) que permiten enfriar el aire para congelar el alimento durante un tiempo variable en función de su tamaño (**figura 10**). El aire pasa a través de unos evaporadores que captan el calor generado por el alimento. La velocidad del aire en este tipo de instalaciones entre 6 y 12 m/ s. Se emplean en una amplia gama de productos, desde producto molido, cortado y carnes y pescados (Farouk et al., 2004). Requieren de ventiladores de alta potencia para asegurar una distribución homogénea del aire frío por toda la instalación (Saravacos y Kostaropoulos, 2002). En los túneles de enrejillado fijo, el producto a congelar se coloca en bandejas formando estanterías en sentido vertical dejando espacio suficiente entre éstas para que el aire circule libremente. Una vez congeladas, las bandejas se descargan, se invierten y se sumergen o rocían con agua para poder soltar los bloques de producto congelado.

Figura 10. Ejemplo de túnel de congelación

Fuente: <https://octofrost.cn/individual-quick-freezing>

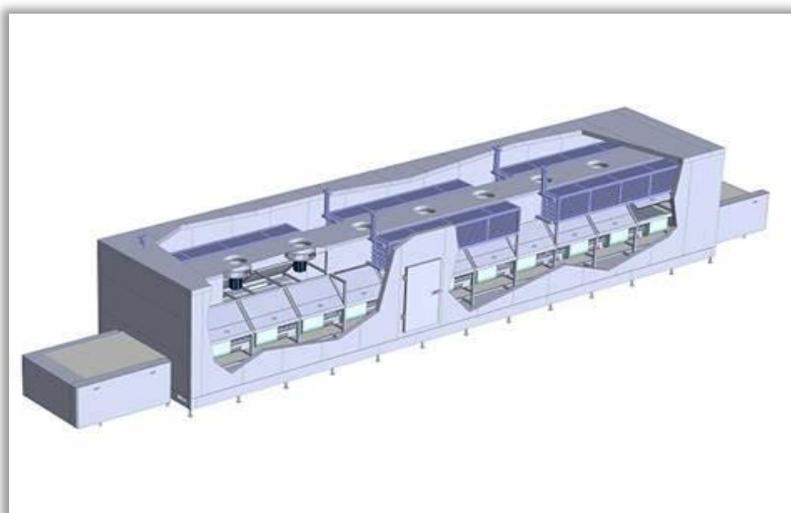
- * Sistemas de lecho fluidizado: es un sistema de congelación rápida que consiste en una banda transportadora donde el alimento está en suspensión (**figura 11**). El aire impulsado por unos ventiladores fluye a través del evaporador y atraviesa la cinta perforada, provocando que los productos entren en movimiento, evitando la adherencia entre éstos. La congelación mediante este sistema es rápida debido a que el producto queda envuelto por el aire. El tamaño de esta instalación varía de 2-11 m de largo, 2-9 m de ancho y 3-6 m de alto (Gómez-Sánchez et al., 2007; Saravacos y Kostaropoulos, 2002). Suele utilizarse para la congelación individual de piezas pequeñas (IQF).

Figura 11. Ejemplo de sistema de lecho fluidizado

Fuente: <https://outlet.cheapstoresale2024.ru/content?c=congelador+de+lecho+fluidizado&id=16>

- * Sistemas de congelación de banda: consiste en bandas rectas o curvas que se mueven a través de un flujo de aire frío, permitiendo el paso del aire a través de éstas (**figura 12**). La utilización de bandas con forma curva permite ahorrar espacio dentro de la instalación, pues el evaporador se sitúa en el interior del tambor y el aire circula en sentido horizontal, evitando espacios muertos. Este sistema consta de dos fases: una primera donde el aire circula con fuerza congelando la parte superficial de alimento y una segunda fase donde se completa la congelación. Las dimensiones de la instalación varían de 5-13 m de largo y 4-5 m de ancho. La capacidad de congelación es muy variable, pudiendo oscilar entre 0,2-6 t/ h. Se utilizan en muchos alimentos como filetes de pescado, calamares y también en la industria cárnica.

Figura 12. Ejemplo de equipo de congelación de banda

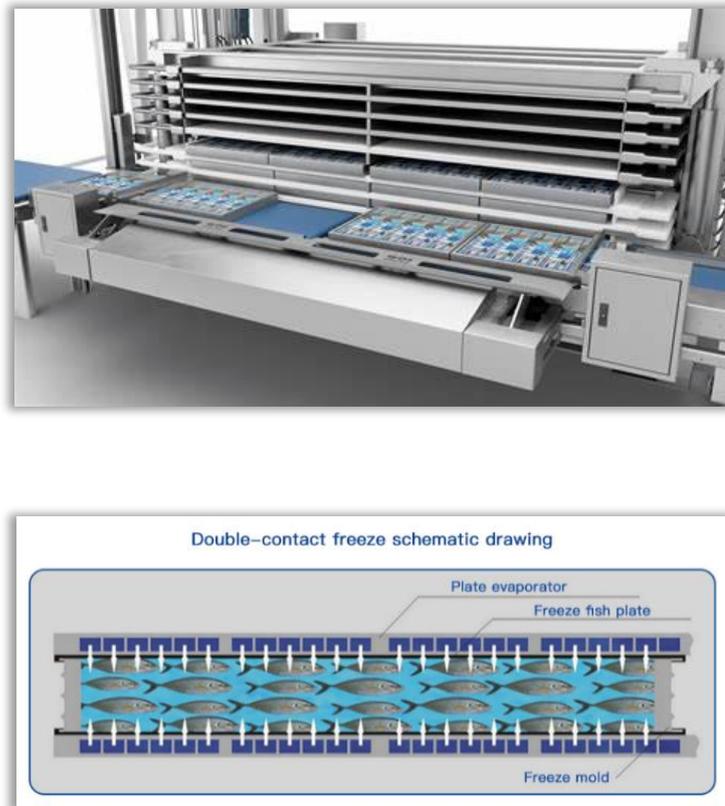


Fuente: <http://www.freezingsystemcn.com/1-3-2-mesh-belt-tunnel-freezer.html>

- * Equipos de congelación por superficie: constituye un sistema formado por varias placas en cuyo interior se encuentra fluido refrigerante (**figura 13**). El alimento se sitúa en medio de las placas, que presionan el alimento a través de un sistema hidráulico, reduciendo así la presencia de bolsas de aire entre la superficie y el paquete. Una vez finalizada la congelación, las placas se separan y se retira el producto. Las placas suelen estar fabricadas de aluminio resistente al agua de mar, ya que es frecuente utilizarlo para congelar pescado en buques. El producto a congelar debe disponerse en bloques lo más planos posibles para que contacten de manera uniforme con toda la superficie de las placas. Estos equipos suelen tener 12-16 placas separadas entre sí 5-9,5 cm, siendo la superficie de éstas 1,2 m de largo y 0,6 m de

ancho. La capacidad de congelación varía entre 6-13 t/ 24 h (Gómez-Sánchez et al., 2007; Singh y Heldman, 2001).

Figura 13. Ejemplo de equipo de congelación por superficie



Fuente: <https://www.ytoceanblue.com/contact-plate-freezer/#ad-image-0>

- * Congelación por líquidos criogénicos: el alimento es sumergido o pulverizado con líquidos como el nitrógeno (**figura 14**), dióxido de carbono y salmueras frías, entre otros. Su congelación es muy rápida, ya que el fluido refrigerante que entra en contacto directo con el alimento se encuentra a una temperatura muy baja. Al contactar con el producto, el líquido se evapora y extrae el calor latente del entorno, de manera que el producto se congela rápidamente. Esta evaporación produce un gas frío de alta densidad que se distribuye hacia la entrada y salida del producto, generando un intercambio de calor. Un sistema empleado en la industria alimentaria es el congelador de banda transportadora recta con 3 secciones consecutivas: enfriamiento previo, inyección de nitrógeno y estabilización. El enfriamiento previo disminuye el gradiente de temperatura entre el producto y el líquido criogénico para

facilitar la congelación. Una vez que el producto atraviesa la ducha de nitrógeno líquido a $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, su superficie está mucho más fría que el interior, siendo necesario estabilizar el producto por conducción para homogenizar su temperatura. Las dimensiones de estos equipos varían entre 9-12 m de largo y 3-6 m de ancho. Su capacidad depende una vez más de la morfología y dimensiones del producto y de la instalación, pudiendo oscilar entre 200-900 kg/ h.

Figura 14. Ejemplo de equipo de congelación con nitrógeno



Fuente: <https://www.poscosecha.com/carbuos-metalicos/tunel-de-congelacion-freshline-iqf-para-una-maxima-eficiencia-en-la-congelacion>

A continuación, (**tabla 3**) se presentan las principales ventajas e inconvenientes de los sistemas de congelación descritos anteriormente:

Tabla 3. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de congelación convencionales

Sistema de congelación	Ventajas	Inconvenientes
Túneles de congelación	Buena presentación del producto final Fácil manejo Versatilidad	Quemaduras por frío si el tiempo de exposición es excesivo Es necesario el desescarchado tras finalizar cada ciclo Pérdida de peso del producto (2-3 %)
Lecho fluidizado	Gran capacidad Reducida pérdida de peso del producto Pequeñas dimensiones	Alto gasto energético Uso no universal Requiere homogeneidad de tamaño
Congelación de banda transportadora	Versatilidad Congelación de productos envasados o no	Alto gasto energético Elevada inversión inicial Requiere homogeneidad de tamaño
Congelación por superficie	Rápida congelación Ahorro de espacio Fácil manejo	Mala presentación del producto congelado por aplastamiento de las placas
Congelación por inmersión	Alta velocidad de congelación Baja pérdida de peso del producto Bajo capital inicial Fácil manejo Buena presentación del producto final	Alto consumo y costo de los líquidos criogénicos Instalaciones de almacenamiento del líquido sofisticadas Limitación del número de proveedores del líquido criogénico

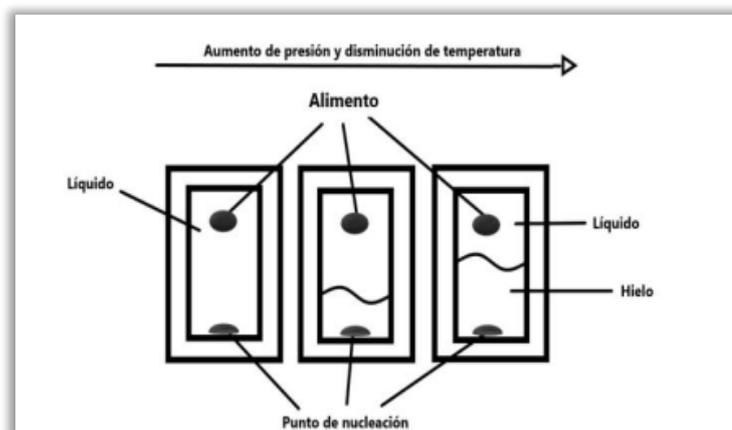
Fuente: Saravacos y Kostaropoulos (2002).

Además de los sistemas ya mencionados, existen otros métodos de congelación en fase de investigación que se mencionan a continuación:

- * Congelación isocórica: se basa en introducir el alimento a congelar en una solución isotónica dentro de una cámara cerrada a volumen constante. La solución se enfría gradualmente para

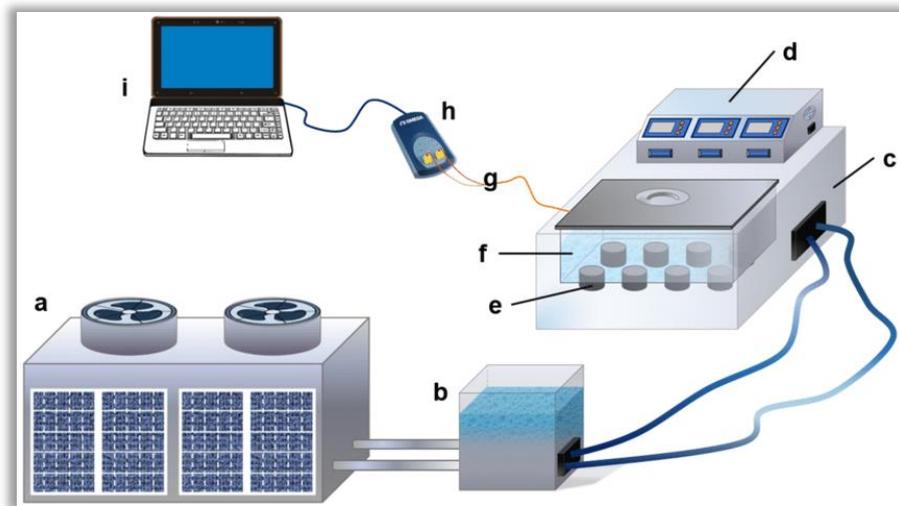
alcanzar el punto de congelación, generándose una presión hidrostática dentro de la cámara hasta alcanzar un equilibrio termodinámico a la temperatura establecida. Se forma así, una fracción sólida congelada y otra líquida sin congelar, permitiendo conservar el alimento sin que se formen cristales de hielo (**figura 15**). Aunque los estudios publicados sobre el uso de esta tecnología en pescado son muy limitados, se han descrito ciertas ventajas como, por ejemplo, la ausencia de deshidratación celular y el mantenimiento de la forma con respecto al músculo de pescado fresco (Năstase et al., 2017). La congelación por cambio de presión produce una menor degradación de los lípidos y mejora la textura en carne de cerdo y pescado (Chaves-Quesada y Acosta-Montoya, 2023; Choi et al., 2016).

Figura 15. Esquema de un sistema de congelación isocórica y variación según cambios en la temperatura y la presión



Fuente: Lyu et al. (2017).

- * Congelación asistida por ultrasonidos: consiste en aplicar ultrasonidos a un líquido refrigerante secundario a baja temperatura para favorecer el flujo térmico y mecánico (Yu et al., 2022). La aplicación de ultrasonidos favorece la transferencia de calor, aumenta la velocidad de congelación y disminuye la pérdida de agua durante la congelación (Tu et al., 2015). Esta tecnología genera cristales de hielo más pequeños y uniformes, ayudando a preservar la integridad del tejido muscular y reduciendo las pérdidas por descongelación y cocción en el pescado (Sun et al., 2019). La **figura 16** muestra un ejemplo de esta tecnología.

Figura 16. Esquema de congelación asistida por ultrasonidos

Fuente: Tian et al. (2020).

- * Congelación magnética: se basa en acoplar un generador de campos magnéticos a un equipo de congelación de aire forzado en el que la intensidad del campo es unidireccional. Los campos magnéticos provocan la vibración de las moléculas de agua, evitando su agrupación y la formación temprana de cristales de hielo (Pérez-Mateos, 2023). Gracias a la posibilidad de poder controlar la cristalización mediante el campo magnético, la congelación se produce de manera rápida y uniforme en todo el alimento, mejorando la calidad de los alimentos congelados (Tang et al., 2020). Zhou et al. (2023) demostraron que la aplicación de campos magnéticos en muestras de pámpano dorado redujo el daño en el tejido muscular debido a la formación de pequeños cristales de hielo. Sin embargo, otros autores como James et al. (2015) u Okuda et al. (2020) no evidenciaron diferencias en la cinética de congelación mediante la congelación magnética, por lo que se debe analizar los mecanismos detrás de esta tecnología (Otero et al., 2023). La **figura 17** muestra un túnel congelador magnético estático para alimentos.

Figura 17. Túnel congelador magnético estático

Fuente: <https://proton-europe.com/equipos-proton-ingles/magenitic-freezer/>

Algunos de los métodos anteriormente descritos apenas están implementados en la industria alimentaria debido al elevado coste de inversión y a la falta de conocimiento por parte de las industrias. Los cambios en los hábitos de consumo favorecen cada vez más la producción de alimentos congelados, tal como sucede con el calamar, por lo que será necesario buscar nuevas tecnologías que aporten productos más parecidos a las de los productos frescos.

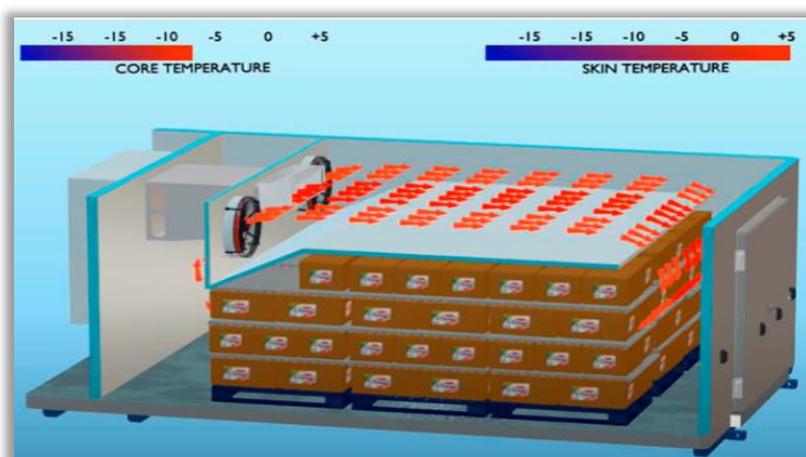
3.2.4 Técnicas de descongelación

La descongelación es un tratamiento para recuperar las características del alimento previas al proceso de congelación. Normalmente, estas características no se revierten por completo debido que a los cambios sufridos durante la congelación son irreversibles y afectan a la calidad del producto, quedando reflejadas tras la descongelación (Otero et al., 2013). La descongelación suele llevarse a cabo a través de diferentes métodos:

- * Descongelación por aire: es el sistema más extendido y se basa en transferir calor por convección de aire natural y forzada. La convección natural produce un menor intercambio de calor con los bloques congelados, mientras que la convección forzada genera un mayor flujo de aire que circula alrededor del producto (**figura 18**). Estos equipos regulan la

temperatura del aire durante todo el proceso. A pesar de su sencillez, parten con la desventaja de que requiere de un gran espacio, un sistema de drenaje y se necesita humidificar el aire para evitar una excesiva deshidratación del producto (Backi, 2018).

Figura 18. Sistema de descongelación por convección forzada



Fuente: <https://dawsongroup.es/descongelacion-y-atemperamiento/camaras-de-descongelacion/>

- * Descongelación por inmersión en agua: es otra técnica muy extendida donde los bloques congelados se introducen en tanques con agua que se puede remover y/ o renovar ya que, al encontrarse el producto a temperaturas tan bajas, el agua se enfría rápidamente. Estos sistemas requieren una baja inversión inicial, pero cuenta, como principal inconveniente, la gran cantidad de agua utilizada (Xargayó et al., 2020), así como la fuga de componentes solubles hacia el líquido refrigerante si no existe un envase que lo proteja.
- * Descongelación por placas: este sistema trabaja a la inversa que los armarios congeladores de placas descritos anteriormente. Son intercambiadores de calor donde el interior de las placas se encuentra ocupado por un fluido calefactor (agua o mezclas de glicol y agua). Parte con la ventaja de que los bloques de producto congelado no entran en contacto directo con el medio de descongelación. Sin embargo, el procesado tras la descongelación suele ser laborioso a la hora de desembalar y cargar el descongelador de placas (Backi, 2018).
- * Descongelación por hornos microondas o de radiofrecuencias: ambos equipos de calentamiento dieléctrico se basan en un dispositivo (electroimán o transistor) que cambia

de polaridad rápidamente y genera un campo electromagnético alterno que provoca la vibración de las moléculas dieléctricas con cargas asimétricas, como el agua, así como el desplazamiento de componentes iónicos en disolución. Ambos fenómenos generan energía calorífica por fricción que puede utilizarse para descongelar. La descongelación por hornos microondas es un método poco empleado en la industria alimentaria debido a sus limitaciones, ya que las ondas actúan en mayor medida sobre la superficie descongelada y el alimento puede sobrecalentarse en su superficie sin descongelarse en su interior (Xargayó et al., 2020). Se emplea principalmente para atemperar bloques de alimentos congelados o como complemento de otras tecnologías (Xargayó et al., 2020). Sin embargo, la aplicación de radiofrecuencias a longitudes de onda más largas permite penetrar más profundamente en productos densos y grandes, proporcionando un calentamiento más uniforme. Se puede utilizar en un amplio rango de alimentos y formatos congelados, bien en productos IQF (congelación rápida individual), empaquetados o en bloque como muestra la **figura 19**. Llave et al. (2016) reportaron que la descongelación de filetes de pescado por radiofrecuencias mejoró la pérdida de líquido por goteo y el color respecto a la descongelación por aire.

Figura 19. Equipo para la descongelación por radiofrecuencias



Fuente: <https://www.rfsystems.it/wp-content/uploads/2022/08/RF-SYSTEMS-Catalog-food-2022-low-res.pdf>

- * Descongelación asistida por ultrasonidos: las ondas ultrasónicas (con frecuencia mayor a 20.000 Hz) también se transmiten a través del producto congelado, la energía se disipa en forma de calor, aumenta la temperatura y se produce la descongelación. Esta tecnología presenta algunas desventajas, como una penetración deficiente, requiere de una alta

potencia y puede producir un sobrecalentamiento superficial (Cai et al., 2019), por lo que es necesario seguir investigando sobre las frecuencias y potencia acústica a emplear.

- * Descongelación al vacío: se basa en el principio de que, a medida que la presión disminuye, la temperatura de ebullición del agua también lo hace, generándose vapor a baja temperatura que transfiere energía térmica al alimento. La utilización de presiones muy bajas permite que el vapor de agua penetre en las pequeñas cavidades del bloque de pescado (Backi, 2018). Para optimizar este método, se han diseñado equipos (**figura 20**) que inyectan adicionalmente vapor cuando la temperatura del producto es negativa y todavía no ha alcanzado el punto de fusión. Se generan así, bajas temperaturas que evitan la coagulación de las proteínas del músculo y la sobrecocción superficial (Xargayó et al., 2020).

Figura 20. Reactor de descongelación con expansor de vapor



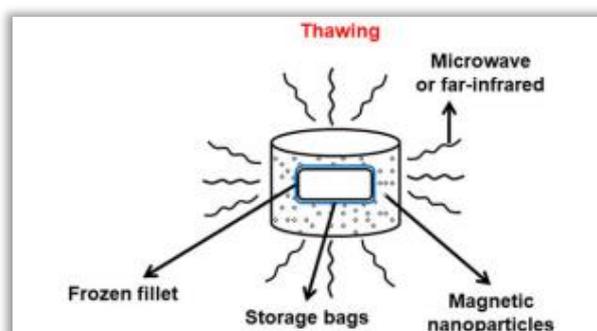
Fuente: <https://www.gea.com/es/products/marination/defrosting-tumbling/coldsteam-t-industrial-defrosting.jsp>

Actualmente se investiga en nuevos métodos de descongelación más efectivos que minimicen la pérdida de jugo, los cambios en la textura o la oxidación de lípidos. Recientemente, se ha desarrollado un método de descongelación mediante vapor seco con un contenido bajo en humedad (4 %). Cuando se produce la presurización del vapor y aumenta la temperatura, las moléculas de agua se descongelan, manteniendo el 100 % de la humedad y evitando la deshidratación del producto descongelado. Otros estudios se centran en combinar tecnologías emergentes de descongelación con

métodos ya conocidos para intentar conseguir un producto con características similares a las que tenía antes de la congelación. Zhang et al. (2021) reportaron que la capacidad de retención de agua y la estructura de las proteínas mejoró al combinar la descongelación por convección de aire y el empleo de microondas obteniendo tiempos de descongelación inferiores. Cai et al. (2019) obtuvieron resultados similares al utilizar ultrasonidos combinados con microondas o infrarrojo lejano en filetes de pescado. La descongelación por ultrasonidos combinada con la aplicación de vacío mejoró la estabilidad de las proteínas musculares, redujo la pérdida de agua y disminuyó el sobrecalentamiento en filetes de dorada al emplear bajas temperaturas (Cao et al., 2018).

También se ha planteado el uso de nanopartículas magnéticas (con componentes de hierro y otros metales) combinadas con microondas y ultrasonidos para mejorar los resultados de la descongelación (**figura 21**). Este proceso de descongelación podría ser más efectivo, puesto que las nanopartículas tienen una función dual de agentes magnéticos y sonosensibilizadores, produciendo un efecto sinérgico (Kaczmarek et al., 2019; Zhu et al., 2023). Además, pueden reducir el daño causado por los cristales de hielo durante la congelación, mejorando la capacidad de retención de agua en el músculo y consiguiendo una descongelación rápida y uniforme (Zhu et al., 2020). Zhu et al. (2023) mostraron que la combinación de nanopartículas magnéticas de Fe_3O_4 con ultrasonidos y microondas ralentiza los procesos de oxidación y desnaturalización de las proteínas del calamar, proporcionando una estructura proteica ordenada, con las fibras musculares distribuidas más uniformemente. Resultados similares fueron reportados por Zhang et al. (2022), donde la aplicación combinada de estos métodos mejoró la capacidad de retención de agua del músculo y mantuvo estable la estructura de las proteínas en bacalao.

Figura 21. Esquema simple de descongelación con nanopartículas combinado con microondas o infrarrojo lejano



Fuente: Cai et al. (2019).

3.2.5 Métodos de maceración con sales sódicas

El marinado o maceración con medios que incluyen azúcar, especias, aceites o ácidos orgánicos, entre otros componentes, se utiliza desde la antigüedad para mejorar el sabor, el aroma y la textura de los alimentos (Cadun et al., 2008; Guldás y Hecer, 2012). Junto con el marinado, la salazón es otro método ancestral de conservación ampliamente empleado en la industria de productos de la pesca gracias a su bajo costo y su facilidad de su uso (Martínez-Álvarez y Gómez-Guillén, 2013; Olatunde y Benjakul, 2018). La adición de sal, dependiendo de la concentración empleada, tiene diferentes funciones tecnológicas. La sal actúa como agente inhibidor contra bacterias y hongos que no son capaces de sobrevivir en medios con una alta salinidad, debido a la presión osmótica (Sampels, 2015). Además, también mejora el sabor y la capacidad de retención de agua en el pescado (Åsli y Mørkøre, 2012). La concentración de sal influye en la estabilidad de las proteínas musculares, que pueden desnaturalizarse y provocar la contracción del músculo del pescado y la deshidratación (Thorarinsdottir et al., 2002), por lo que Konno et al. (2003) sugirieron que el calamar debe almacenarse sin NaCl para disminuir la actividad autolítica. Sin embargo, la sal, a bajas concentraciones, permite mejorar la textura del músculo porque aumenta la retención de líquidos, proporcionando mayor firmeza y jugosidad a la carne (Manimaran et al., 2016). A pesar de los beneficios, un exceso de sal en los alimentos puede conducir a alterar el sabor de manera indeseable (Ormanci y Colakoglu, 2015) y afectar negativamente a la salud del consumidor. Un consumo excesivo de sodio está relacionado con un aumento de la presión arterial y enfermedades cardiovasculares (Grillo et al., 2019). Se ha estudiado el uso del cloruro potásico (KCl) como sustituto del NaCl con el objetivo de reducir el contenido en sodio en los medios de conservación (Grummer et al., 2013). El cloruro de potasio puede presentar un papel tecnológico similar a la de la sal común, aunque posee un sabor amargo que limita su empleo en alimentos. Sin embargo, la sustitución de un 20% de cloruro de sodio por cloruro potásico (10%) y lactato potásico (10%) en soluciones de maceración para el salado y ahumado de arenques mejora la inhibición de bacterias halófilas, psicotróficas y mohos y levaduras. Este hecho podría explicarse debido a que el lactato potásico posee acción bacteriostática, reduce la actividad de agua y acidifica el medio (Gomes et al., 2021).

Otra alternativa para reducir el contenido en sodio es la tecnología SODA-LO, que consiste en usar microesferas de sal formadas por cristales de NaCl recristalizados en bolas huecas microscópicas, lo que aumenta la superficie de contacto y potencia la percepción del sabor salado. Encapsuladas en dextrina, estas microesferas permiten reducir el sodio en los alimentos en un 25-50% sin alterar el sabor. Podría aplicarse en la maceración de cefalópodos, ya que su estructura permite una distribución

uniforme en el tejido. Al utilizar menos sal, se evita el riesgo de la carne se endurezca y adquiera una textura gomosa, preservando la textura y la jugosidad. Además, esta tecnología es compatible con otros aditivos como ácidos orgánicos o enzimas (Gomes et al., 2021).

Los ácidos orgánicos como el cítrico, el ascórbico y sus sales se emplean para prevenir la oxidación en el pescado y también actúan como inhibidores del crecimiento bacteriano debido a que acidifican los sistemas biológicos (Dogruyol et al., 2020; Howes et al., 2019). Las propiedades antimicrobianas de los ácidos orgánicos en los alimentos han sido ampliamente estudiadas y se clasifican como sustancias generalmente consideradas como seguras (GRAS) (Mei et al., 2019; Vázquez et al., 2005). Los ácidos orgánicos de bajo peso molecular han demostrado mejorar las propiedades sensoriales y alargar la vida útil del pescado (Mei et al., 2019). Por ejemplo, el ácido ascórbico y el ascorbato sódico se utilizan a menudo para ralentizar la oxidación en productos alimenticios (Howes et al., 2019). Además, el uso de ácido cítrico y citrato de sodio también puede inhibir la autólisis del músculo del calamar inducida por la metaloproteasa, ya que el ácido cítrico actúa como quelante formando un complejo estable con cationes divalentes (Agrafioti y Katsanidis, 2012; Leerahawong et al., 2011).

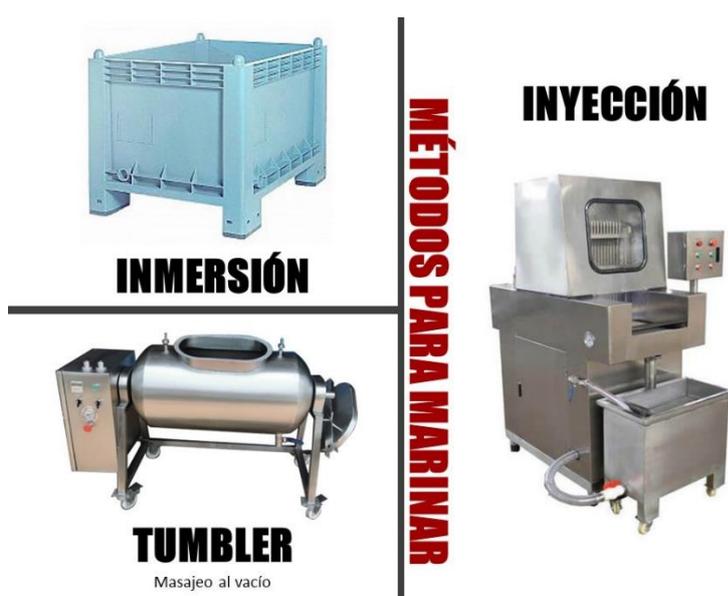
Los ácidos acético y láctico también se emplean para mejorar las características sensoriales, controlar la proliferación bacteriana y ampliar la vida útil del pescado (Boskou y Debevere, 2000; Ibrahim, 2007). Un estudio publicado por Aubourg et al. (2004) demostró que el ácido cítrico establece una sinergia con los antioxidantes primarios en la elaboración de pescado picado, minimizando la oxidación. Este coincide con los resultados publicados por Lad y Khan (2018), donde se observaron niveles más bajos de pH, índice de acidez, índice de peróxidos y ácidos grasos libres en jurel tratado con ácido cítrico, concluyendo que, en general, el ácido cítrico estabiliza el pH, controla la rancidez y se forman menos ácidos grasos libres. Existen numerosos estudios relacionados con el marinado y el uso de aditivos en pescado, pero las investigaciones sobre su uso en calamares son más limitadas.

La maceración de cefalópodos suele realizarse mediante inmersión en la industria alimentaria. Los cefalópodos normalmente se introducen en tinas con agua fría y diferentes aditivos en función del uso final esperado (**figura 22**). El líquido de maceración suele contener cloruro sódico, ácidos como el cítrico o ascórbico, así como fosfatos disueltos en agua. Además, suele añadirse peróxido de hidrógeno cuya función es controlar la carga microbiana y corregir ciertos defectos en el color de la piel de los cefalópodos. Una vez que el medio se encuentra preparado con los cefalópodos, se introducen en cámaras de refrigeración donde permanecen un tiempo variable (24-72 h), en función del tamaño, especie y uso esperado. Durante el almacenamiento en refrigeración, los cefalópodos se voltean

manual o automáticamente para garantizar que se encuentren expuestos de manera uniforme a la solución de maceración en todos lados. Esto asegura una absorción más completa de los líquidos, lo que puede ayudar a retener una mayor cantidad de agua en el tejido muscular. El volteo periódico permite que la solución de maceración penetre más profundamente en la carne de los cefalópodos, ayudando a las proteínas musculares a retener más agua durante el proceso, lo que contribuye a una mayor retención de agua en el producto final (Gokoglu et al., 2017).

La maceración por inmersión es un método válido para tratar los cefalópodos, sin embargo, la industria alimentaria necesita optimizar procesos y llevar a cabo grandes producciones en poco tiempo, por lo que se han diseñado otros sistemas de maceración por inyección, donde los cefalópodos eviscerados pasan por inyectoras con múltiples agujas (**figura 22**) que introducen el medio de maceración en su interior. Se utilizan en cefalópodos como el pulpo o el potón del Pacífico para ablandar la textura. Para ello, una vez sometidos al proceso de inyección, se dejan reposar en tinas durante un corto periodo de tiempo (1-2 h) para que el aditivo se homogenice y actúe sobre las fibras musculares. Los medios de maceración a base de sales y ácidos orgánicos son similares a los que se utilizan en la maceración por inmersión. El empleo de enzimas proteásicas como la papaína y la bromelina han demostrado su eficacia para ablandar el potón, ya que degradan las proteínas miofibrilares del músculo, reduciendo la dureza y la fuerza de corte (Bekhit et al., 2014; Jun-Hui et al., 2020).

Figura 22. Métodos de maceración empleados en la industria alimentaria



Fuente: <https://es.linkedin.com/pulse/m%C3%A9todos-para-marinar-carne-andrey-sandoval-k5kqc>

3.2.6 Métodos de cocinado y preparados culinarios

Actualmente muchos productos transformados de calamar se comercializan precocinados o cocinados, listos para comer, aunque también existen productos crudos debido a la influencia de la cocina asiática. El cocinado transforma las proteínas y lípidos musculares y favorece la pérdida de ciertas vitaminas, minerales y componentes hidrosolubles (Campo et al., 2013; Lopes et al., 2015; Xiao et al., 2021). El efecto del calor sobre el músculo depende de la temperatura alcanzada, la duración de tratamiento, la forma de transmisión del calor y la presencia o no de agua. En general, a mayor temperatura, duración y falta de agua (calor seco) en el medio, mayores cambios, que conllevan cierta retracción y pérdida de jugos. El calor coagula las proteínas miofibrilares y el músculo deja de ser traslúcido. Se produce una gelatinización del colágeno que produce un ablandamiento y mejora de la masticabilidad. La aplicación de altas temperaturas y calor seco provoca la formación de melanoidinas y otros pigmentos pardos. El calor genera en la carne cocinada olores y sabores característicos de lípidos oxidados (aldehídos, cetonas, etc.), lactonas, alcoholes, derivados furánicos y compuestos sulfurados, entre otros. Además, el empleo de altas temperaturas puede dar lugar a reacciones de Maillard entre los aminoácidos y los azúcares presentes en el calamar, generando sabores a tostado. Para lograr un resultado culinario óptimo, es esencial ajustar el tiempo y la temperatura de cocción de acuerdo con la preparación específica y el tipo de calamar.

Los calamares son alimentos muy apreciados desde el punto de vista gastronómico, ya que poseen un sabor y textura muy agradables y su preparación es relativamente sencilla. Han sido utilizados como alimentos desde hace miles de años, aprovechando el manto, las extremidades y la tinta (Mouritsen y Stybaek, 2018). Los cefalópodos poseen sabores diferentes según la especie y el hábitat en el que han vivido, aunque todos ellos comparten el sabor umami debido a la presencia de aminoácidos libres (glutamato y aspartato) y de nucleótidos libres (Mouritsen y Stybaek, 2014; Schmidt y Mouritsen, 2022a; Schmidt y Mouritsen, 2022b). Son numerosos los platos que encontramos a base de calamares y que forman parte de nuestra cultura. En España, es muy común preparar los calamares “a la romana” o “a la andaluza”, que consiste en un enharinado y una fritura posterior del calamar limpio cortado en anillas. También es muy común la presentación de calamares en su tinta, calamares a la plancha, a la brasa o bien su utilización en diferentes guisos, arroces o fideuás. No podemos olvidar los calamares rellenos, para los que se trocean las extremidades y además se pueden añadir otros pescados y mariscos para rellenar el interior de la vaina. En otros países de Europa como en Portugal, Italia o Grecia el calamar y otros cefalópodos fritos son muy consumidos. En cambio, en países del norte de Europa, el consumo de calamar se introdujo a partir de la década de 1960, como

consecuencia del turismo a países mediterráneos. El consumo de calamar se exportó en forma de fritura y solía venderse como comida rápida, percibiéndose como un producto grasoso y gomoso, pudiendo ser unas de las causas por la que estos productos no han tenido éxito en la gastronomía de los países nórdicos. En los últimos años se han llevado a cabo investigaciones para introducir los calamares en la dieta de los países del norte de Europa (Schmidt et al., 2021). En el continente asiático, el uso de calamares en la gastronomía es muy común en forma de calamar desecado, fermentado, sazonado o a la parrilla. En países como Japón prefieren un sabor suave, siendo muy popular un plato conocido como Ikayaki, que básicamente consiste en calamar al horno o a la parrilla cubierto con salsa de soja. Otros países como Vietnam, Tailandia o China prefieren alimentos más picantes y con un sabor más intenso para lo que emplean diferentes sazonadores (Mouritsen y Styrbaek, 2018). En países de Latinoamérica es frecuente encontrar ceviches a partir de partes comestibles del calamar, así como el calamar rebozado o frito.

La industria alimentaria ha implementado técnicas de cocción de cefalópodos a gran escala basándose en métodos tradicionales y emergentes. Es muy común cocinar por inmersión en marmitas de cocción o cocedores en continuo provistos de cestas contenedoras (**figura 23**). Para calentar el agua, se pueden utilizar calderas de vapor o quemadores de gas, según la instalación. Otra técnica muy utilizada es la cocción al vapor, conocida por preservar mejor los nutrientes en comparación con otros métodos de cocinado, como hervir o freír. Esto se debe a que los alimentos no están en contacto directo con el agua líquida, lo que reduce la pérdida de nutrientes solubles en agua (Huazano, 2019). Se utilizan equipos como autoclaves, generadores de vapor y cámaras de vapor que incluyen sistemas de control de la temperatura, crucial para garantizar la seguridad alimentaria y la calidad del producto final.

La preservación de las características sensoriales de los cefalópodos procesados es uno de los objetivos de la industria. Para ello, se han adaptado técnicas ya empleadas en productos cárnicos, como la cocción al vacío o *sous vide*. Se trata de un método de cocción que implica colocar los alimentos en bolsas de plástico selladas al vacío y cocinarlos a menor temperatura durante más tiempo. Con esta técnica se pretende mejorar la textura, ya que se obtienen productos más jugosos que retienen los sabores y olores originales debido a que se cuecen en su propio jugo (Xargalló et al., 2019). La cocción al vacío permite emplear temperaturas bajas para el cocinado de cefalópodos, reduciendo la precipitación de las proteínas y cambios no deseados en el color que se producen durante la cocción a altas temperaturas (Cui et al., 2022). Además, presenta la ventaja de ser una

técnica higiénica, que evita la contaminación del producto una vez cocinado y se evita la deshidratación del producto al permanecer en el envase hasta su uso.

La cocción al vacío de calamares en la industria se inicia introduciendo los calamares crudos en termoformadoras que normalmente cuentan con bobinas de polipropileno, apto para la cocción, que se calienta por aire para moldear el envase final. El envasado al vacío suele realizarse en termoformadoras automáticas que aplican presiones de 10-15 mbar. Los materiales utilizados para envasar al vacío deben ser termorresistentes y flexibles, capaces de soportar tensiones durante el envasado y en el transporte. Es crucial que también sean seguros, evitando cualquier tipo de contaminación o migración de componentes, e impermeables, tanto a líquidos, como a gases, para mantener las características del alimento envasado (Nagarajarao, 2016). Los materiales empleados deben cumplir con el Reglamento (UE) nº 10/2011 relativo a los materiales plásticos destinados a entrar en contacto con los alimentos. Suelen estar compuestos de polietileno de baja densidad (LDPE) por sus buenas características como material de termosellado y bajo costo. Se lamina junto con otros materiales como el nylon que aporta resistencia a las bajas temperaturas, al impacto y a la tensión (Castro-Requena et al., 2021). La utilización de poliamida ofrece buena resistencia química, térmica y de extensión, aporta permeabilidad media-alta a los gases, absorbe la humedad y presenta buenas propiedades ópticas (Díaz, 2009). A continuación, se extrae el aire presente en el interior del envase a través de una bomba de vacío. Una vez que el producto está preparado, se emplean temperaturas de formado entre 60-100 °C y entre 130-160 °C para la soldadura, y se cuece en cocedores continuos o en marmitas. La temperatura de cocción al vacío es de alrededor de 60 °C, durante un tiempo que depende de las dimensiones del producto envasado. Por ejemplo, una bolsa de tres calamares medianos precisa de unos 90 min. El cocinado en bolsa al vacío también presenta algunos inconvenientes, ya que no se consigue el marcado o tostado deseable para algunos productos y puede haber transferencia de componentes del plástico al producto a pesar de emplear bajas temperaturas y plásticos resistentes al calor.

Figura 23. Cocedor de agua en continuo para cefalópodos

Fuente: <http://tallerdios.com/portfolio-item/maquinaria-para-el-procesado-de-cefalopodos-2/>

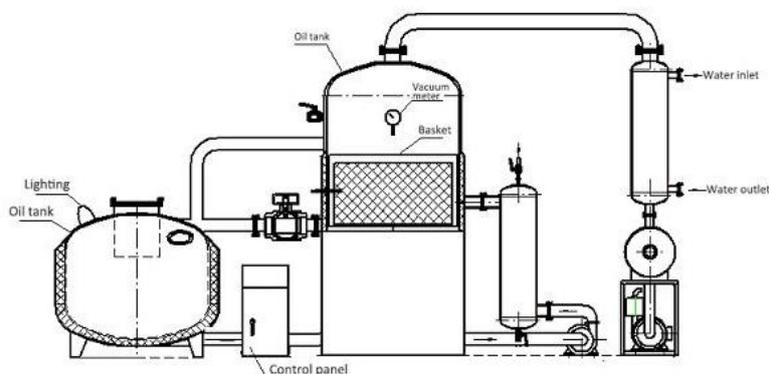
Cocinar el calamar al vacío presenta algunas ventajas, ya que la evaporación de agua se alcanza a menor temperatura, se evita la contaminación microbiológica gracias al envase y la ausencia de aire, y los jugos se retienen en la bolsa (Palamae et al., 2023). Además, modera la oxidación de los compuestos volátiles y reduce las pérdidas de nutrientes (Djekic et al., 2020; Onyeaka et al., 2022). El control del tiempo y la temperatura durante este proceso ayuda a minimizar las deficiencias generadas mediante los métodos tradicionales como una textura deficiente y sabores alterados (Cui et al., 2019). Gracias a las mejoras en la calidad de los alimentos en términos de sabor, textura y retención de nutrientes, está ganando popularidad en comparación con los métodos de cocción tradicionales (Zakrzewski et al., 2023). Cabe destacar que es un método sencillo con un coste medio y que atribuye un valor añadido al alimento (Zavadlvav et al., 2020).

La cocción al vacío puede utilizarse mediante dos métodos diferentes en función del uso previsto. Por un lado, encontramos el método cook-serve, muy utilizado en restaurantes y servicios de catering, que consiste en cocinar al vacío y mantener el producto a temperaturas de servicio durante un corto periodo de tiempo. Por otro lado, encontramos los métodos cook-chill or cook-freeze que consisten en enfriar o congelar el alimento una vez cocinado al vacío (Baldwin, 2012). Suelen utilizarse en la industria alimentaria, donde los alimentos cocinados al vacío se enfrían rápidamente en tanques de agua fría o en abatidores de temperatura por aire forzado y a continuación se congelan a temperaturas inferiores a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante un tiempo variable en función del tamaño del producto.

El creciente interés por obtener productos listos para el consumo más saludables y apetecibles ha llevado a estudiar otras técnicas de cocinado más factibles desde el punto de vista comercial. Una de ellas es la fritura de cefalópodos al vacío, que combina la fritura tradicional con el uso de un entorno

de vacío para obtener un producto más interesante nutricionalmente. Al utilizar bajas presiones, permite freír a temperaturas inferiores (Pei et al., 2021; Piyalungka et al., 2019), lo que previene la formación de compuestos cancerosos como la acrilamida, y permiten conservar el color, aroma y otros nutrientes. Además, presenta otras ventajas como la reducción del contenido en grasa y el aumento del tiempo de conservación debido a que se ralentiza la oxidación de lípidos (Yamsaengsung et al., 2017). La aplicación de esta tecnología en calamares es poco conocida, aunque algunos estudios sugieren que se trata de un método eficaz y que podría ser una alternativa a la fritura tradicional. Según Pei et al. (2021), el calamar frito al vacío (110-111 °C; 20-23 min) tiene una mejor apariencia, una textura más crujiente y un menor contenido en grasa que el calamar frito a presión atmosférica (180 °C; 5 min). Además, la oxidación de los lípidos es menor y la estructura de las proteínas se conserva mejor. Chen et al. (2014) emplearon la fritura a vacío a 100-110 °C y 0,08 MPa durante 15 min en filetes de carpa, consiguiendo también un menor contenido en humedad y aceite, y una textura más crujiente. A pesar de que esta tecnología no se encuentra muy extendida en Europa, en países asiáticos como China se han patentado equipos que permiten freír productos de la pesca mediante un sistema integrado que consta de diferentes módulos para almacenar el aceite, desaceitado y filtración del mismo (**figura 24**). Además, permite trabajar empleando temperaturas entre 80-120 °C y bajos niveles de aceite.

En general, la fritura proporciona un sabor y una textura con una gran aceptación, pese a que el consumo de alimentos fritos puede inducir a la obesidad, enfermedades cardiovasculares y diabetes. Además, las reacciones de Maillard producidas al freír alimentos proteicos a temperaturas superiores a 150 °C, producen compuestos nocivos como las aminas aromáticas policíclicas (Gibis, 2016; Luo et al., 2022; Shabbir et al., 2014). Es por ello que cocineros de todo el mundo, en sintonía con investigadores, se encuentran desarrollando nuevos métodos de cocinado de cefalópodos que incluyen nuevas preparaciones y aprovechamiento de partes que no se habían tenido en cuenta en la cocina tradicional (Mouritsen y Styrbaek, 2018).

Figura 24. Esquema de equipo de fritura al vacío

Fuente: <https://www.vacuum-fryingmachine.com/>

Los preparados culinarios disponibles para productos de calamar tratados por el calor son muy variados y pueden contener diversos ingredientes, incluyendo sal, especias y potenciadores del sabor (**figura 25**). Se introducen en el caldo de cocción para realzar el sabor de los calamares. Otros ingredientes son empleados en el calamar rebozado, incluyendo harinas, correctores de la acidez, sal, azúcares, aromas (**figura 26**), aunque también existen preparados donde se adicionan especias, espesantes y colorantes, entre otros.

Figura 25. Ejemplo de ficha técnica de preparado para el agua de cocción de calamar

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	MEZCLA DE SAL, AZÚCARES, ESPECIAS Y ADITIVOS
PARA LA FABRICACIÓN DE	Pescados y cefalópodos
INGREDIENTES	Sal, Azúcares, Emulgente (E-451i) (<10000 ppm). *Los aromas están compuestos de sustancias aromatizantes y preparaciones aromatizantes, aunque en el etiquetado se pueden declarar como "aromas". Coaduvante tecnológico sin etiquetado en producto final (Antiapelmazante E-551)
DOSIFICACIÓN	Del 2 al 5% por litro de agua de cocción
CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS	Olor: Típico de los ingredientes que aporta; Sabor: Propio de los ingredientes que aporta; Color: Típico de los productos que lo integran Textura: Pulvurulenta.
ENVASADO-ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	Envase: Saco de papel 4 capas y bolsa interior de polietileno de 25 Kg. o bolsas de 5 Kg. de film multicapa de materiales plásticos para uso alimentario en cumplimiento con el RD 866/2008. EMBALAJE: Caja de 4 bolsas de 5 Kg. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE: Lugar fresco y seco, en ausencia de luz y humedades. En vehículo a temperatura ambiente.- Fresco y seco.
CARACTERÍSTICAS NOMINALES	Peso neto: 5 Kg. o 25 Kg. Fecha de fabricación: Referenciada en envase, en etiqueta N°lote fabricación: Referenciada en envase, en etiqueta fecha de consumo preferente:18 meses desde su fabricación.- Referenciada en envase, en etiqueta.
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	Humedad (máx): 14% Cenizas Ins. CIH (Máx): 3%.
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS Y TOXICOLÓGICAS	<i>Escherichia coli</i> : <10 UFC/g. <i>Salmonella</i> : Ausencia/25g. Clost. Sulfitorreductores: <1000 UFC/g. <i>Listeria monocytogenes</i> : Ausencia/25 g. Parásitos o restos: Ausencia. Mercurio:<0,02 ppm.
COMPONENTES ALÉRGICOS	Gluten: Ausencia; Sulfitos>10mg/Kg: Ausencia; Resto alérgenos: Ausencia NO GMO: El producto suministrado entra en el ámbito de aplicación de las normativas de la Unión Europea, No. 1829/2003 y No. 1830/2003 sobre etiquetado y trazabilidad de los GMOs (organismos modificados genéticamente) y en base a este texto, puede declararse en consecuencia como PRODUCTO LIBRE DE GMO. Este producto Cumple con el Reglamento 396/2005 y modificaciones posteriores sobre límites máximos de residuos de plaguicidas y pesticidas. Cumple con el Reglamento 1933/2015 y modificaciones posteriores sobre contenido máximo de hidrocarburos aromáticos policíclicos. Producto no Irradiado.
PIE DE PRODUCTO	*El color y la granulometría de la mezcla pueden evolucionar en el tiempo sin que se disminuya con ello la funcionalidad del producto.
USO PREVISTO/USO NO PREVISTO	Para uso alimentario en general (ver otros apartados específicos en Ficha Técnica). En caso de uso distinto al previsto, es responsabilidad del cliente, la comprobación del cumplimiento de la legislación respecto al producto a elaborar. Revisar especialmente el apartado de sustancias alérgicas que pueden estar presente.

Fuente: Empresa colaboradora.

Figura 26. Ejemplo de ficha técnica de preparado para rebozar el calamar

DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO	MEZCLA DE HARINA, SAL, ADITIVOS, AROMAS Y AZÚCARES
PARA LA FABRICACIÓN DE	Productos de la pesca rebozados y/o enharinados
INGREDIENTES	Harina de trigo (gluten), sal, azúcares, emulgente (E-451i: difosfato disódico (<5000 ppm), potenciador del sabor (E-621: glutamato monosódico (10000 ppm)) y aromas* *Mezcla de preparaciones y sustancias aromatizantes.
DOSIFICACIÓN	BPF.
CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS	Olor: Típico de los ingredientes que aporta; Sabor: Propio de los ingredientes que aporta; Color: Típico de los productos que lo integran Textura: Pulvurulenta.
ENVASADO, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	Envase: saco de papel 4 capas y bolsa interior de polietileno de 25 Kg o bolsas de 5 Kg. De film multicapa de materiales plásticos para uso alimentario en cumplimiento con el RD 866/2008. Embalaje: Caja de 4 bolsas de 5 Kg. Almacenamiento y transporte: lugar fresco y seco, en ausencia de luz y humedades. En vehículo a temperatura ambiente. Fresco y seco.
CARACTERÍSTICAS NOMINALES	Peso neto: 5 Kg o 25 Kg Fecha de fabricación: referenciada en envase, en etiqueta. Nº Lote fabricación: referenciada en envase, en etiqueta. Fecha de consumo preferente: 18 meses desde su fabricación. Referenciada en envase, en etiqueta.
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	Humedad (máx): 14%. Cenizas Ins. CIH (máx): 3%.
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS Y TOXICOLÓGICAS	<i>Escherichia coli</i> : <10 UFC/ g. <i>Salmonella</i> : ausencia/ 25 g. Clostridios sulfitorreductores: <1000 UFC/ g <i>Listeria monocytogenes</i> : ausencia/ 25 g Parásitos o restos: ausencia Arsénico: < 3 ppm Plomo < 10 ppm
COMPONENTES ALÉRGICOS	Gluten: Presencia; Sulfitos >10 mg/Kg: Ausencia; Resto alérgenos: Ausencia no GMO: EL producto suministrado entra en el ámbito de aplicación de las normativas de la Unión Europea, No. 1829/2003 y No. 1830/2003 sobre el etiquetado y trazabilidad de los GMOs (organismos modificados genéticamente) y en base a este texto, puede declararse en consecuencia como PRODUCTO LIBRE DE GMO. Producto no irradiado.

Fuente: Empresa colaboradora.

3.2.7 Métodos y materiales de envasado

El envase juega un papel muy importante, tanto para el consumidor, como para la industria alimentaria, ya que protege al alimento y previene su deterioro microbiológico, físico y químico, contribuyendo a la calidad y la seguridad (Nagarajarao, 2016). Se define como un envoltorio, recipiente o cualquier forma de material, desprendible o no, destinados a cubrir, envasar, embotellar, proteger o mantener, específicamente o no, materias primas, productos semiacabados o productos terminados (Alves-Costa et al., 2019). El envase ayuda a controlar la humedad interna, la temperatura, la luz, los microorganismos y otros agentes externos que pueden influir en la calidad del producto terminado, actuando como barrera entre el alimento y el medio ambiente (Polkinghorne et al., 2018). Los envases que contienen los alimentos deben presentar ciertas características de cara al consumidor como, por ejemplo, una forma y tamaño adecuados, fácil apertura y cierre, fácil transporte, entre otras (Patil et al., 2020). Los envases pueden combinarse con otras tecnologías de conservación para mejorar la calidad y alargar la vida útil, afectando mínimamente a las características sensoriales del producto final (Gámez-Villazana et al., 2021).

Los productos de la pesca pueden envasarse en diferentes formatos. Lo más común es envasar en bandejas de diferentes materiales envueltos por un film plástico. Este formato es muy popular en lineales de supermercados donde se exponen productos de la pesca refrigerados. Los productos congelados se envasan principalmente en bolsas de plástico combinadas o no con cajas de cartón y otros materiales. Sin embargo, hoy día la tecnología intenta ir más allá, proponiendo nuevos métodos de envasado que aseguren una mejor conservación de los productos frescos y congelados, con una mejor apariencia y que resulten más atractivos para el consumidor, además de poder ofrecer a la venta nuevas especies o inducir al consumo de pescado a todos los segmentos de la población (Langreo-Navarro, 2001; Groot y Albisu, 2014).

Entre otros, podemos citar los siguientes métodos de envasado:

- * Envasado al vacío: consiste en eliminar el aire contenido en el interior del envase sin ser reemplazado por otro gas. Para llevar a cabo el proceso, el alimento se introduce en bolsas plásticas y, a continuación, se coloca en una campana de vacío, donde se aplica la presión suficiente para producir el vacío sin deformar el producto. En la industria alimentaria existen máquinas termoformadoras que trabajan con dos bobinas de film plástico que forma el envase por medio de calor. El vacío se realiza a través de una bomba que se encuentra en el

exterior de la máquina, aplicando presiones (en el caso del calamar) de 10-13 Mbar. El vacío no cambia el color del calamar, como sucede con el pescado rojo. Se trata de un medio eficaz para inhibir las reacciones oxidativas a largo plazo en los productos de la pesca, limitando el enranciamiento (Rodríguez et al., 2005). En productos refrigerados o descongelados, al encontrarse en ausencia de oxígeno o niveles por debajo del 1 %, el vacío proporciona una atmósfera anaeróbica que impide el crecimiento de bacterias responsables del deterioro como *Pseudomonas spp* (Chan et al., 2021). Varios estudios han demostrado que el envasado al vacío puede aumentar la vida útil del alimento de 3 a 5 veces más que con el envasado convencional, sin alterar sus propiedades químicas o sensoriales (Conejo, 2019). Es un método sencillo con un coste relativamente bajo para la industria alimentaria, y se puede combinar con otras tecnologías de conservación, ya que el alimento puede ser refrigerado, congelado o cocinado en materiales de envasado al vacío adecuados. Una variante de este método es el envasado al vacío "skin", donde el alimento se presenta en una bandeja firme y el film que lo recubre es prácticamente transparente. El envasado de alimentos mediante esta tecnología proporciona un valor añadido al producto, presentando productos con una apariencia muy atractiva (Patil et al., 2020). Por ejemplo, esta tecnología permite extender la vida útil en filetes de palometa refrigerados (Pérez-Alonso et al., 2004). Sin embargo, la compresión del producto puede producir una pérdida de jugo en alimentos con elevada humedad (Chan et al., 2021).

- * Envasado en atmósferas modificadas: se basa en sustituir el aire por otros gases que pueden contener oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono. El pescado se introduce en el envase, se elimina el aire y seguidamente se añade el gas seleccionado (Conejo, 2019). La concentración de gases empleada depende del tipo de alimento y se usan sobre todo en producto fileteados refrigerados. Emplear oxígeno para potenciar la formación de oximioglobina no tiene sentido en el caso del calamar, teniendo en cuenta que favorece la oxidación de los lípidos. El dióxido de carbono es un gas soluble en agua con actividad bacteriostática y antifúngica debido a que baja el pH (Conejo, 2019). El nitrógeno es un gas inerte con una baja solubilidad en agua y en la grasa que se utiliza para sustituir al oxígeno (Pirola et al., 2010). La temperatura un factor muy importante para que esta tecnología se lleve a cabo de manera correcta. El dióxido de carbono necesita bajas temperaturas para ser soluble en agua, siendo importante refrigerar el alimento (Soccol y Oetter, 2003). Este método de envasado es útil para conservar pescado congelado, manteniendo sus características por más tiempo (Chan et al., 2021). Por ejemplo, el envasado de camarones en atmósferas modificadas (95 % CO₂ y 5 % O₂), en combinación

de aceite esencial de tomillo, aumenta en 9 días su periodo de almacenamiento (Groot y Albisu, 2014; Mastromatteo et al., 2010).

- * Recubrimientos y películas comestibles impregnadas con componentes activos: poseen componentes que retrasan el crecimiento de bacterias y/ o previenen la oxidación de lípidos y pigmentos, alargando la vida útil de los alimentos. Suelen emplearse en combinación con la tecnología de envasado en atmósferas modificadas para mejorar las características sensoriales. Se pueden utilizar aceites esenciales de plantas como el orégano, tomillo, laurel o ajo (Mahmoud et al., 2004; Sanjuás, 2012) para mejorar la funcionalidad de la película en el envase activo (Rathod et al., 2022). Las películas a base de quitosano y gelatina permiten prolongar la conservación de los mariscos refrigerados (Farajzadeh et al., 2016). Sáez et al. (2020) usaron películas a base de alginato enriquecidas con taninos para retrasar la oxidación en filetes refrigerados de trucha arcoíris. Giro et al. (2020), testaron con éxito biopolímeros a base de goma xantana para reducir la contaminación microbiana y mejorar la conservación de filetes de carpa refrigerados. En otro estudio, el uso de nicina (sintetizada por *Lactococcus lactis*) inhibió el desarrollo de *Listeria monocytogenes* en filetes de salmón crudo ahumado, que fue envasado en atmósfera rica en dióxido de carbono (Martínez, 2022; Molloy et al., 2011). Tras lo citado anteriormente, podemos considerar que el uso de películas comestibles podría tener un futuro prometedor para conservar productos de la pesca envasados (Umaraw et al., 2020).

- * Envases activos: incorporan sustancias absorbentes o liberadoras de compuestos captadores de oxígeno, adsorbentes de humedad o agentes antibacterianos, que interactúan con el alimento y aumentan su vida útil. Los captadores de oxígeno suelen utilizarse en combinación con el envasado en atmósferas modificadas, reduciendo la presencia de oxígeno hasta diez veces más que en el envasado al vacío (Realini y Marcos, 2014). Es común usar ácido ascórbico o sales ferrosas que forman óxido férrico en la atmósfera, aunque para evitar la transmisión de olores y sabores indeseables, se utilizan en la estructura del envase o como adhesivos (Llinares, 2017). El uso de antioxidantes como el ácido cítrico y el ácido ascórbico se utilizan para reducir y prevenir el olor que desprende el pescado por la oxidación de los lípidos o por la formación de aminas volátiles. Su uso está prohibido para enmascarar el deterioro del pescado (Engelmo, 2021; González, 2017). Los envases activos antimicrobianos que contienen biopolímeros pueden degradarse por la acción de bacterias, levaduras y hongos, por lo que resulta muy interesante desarrollar envases que sean respetuosos con el medio ambiente (Ju

et al., 2023; Vianna et al., 2021). Los envases activos emisores incluyen componentes como dióxido de carbono, agua, antioxidantes o conservantes, que se agregan a los alimentos empacados según las necesidades del producto. Por ejemplo, los emisores de dióxido de carbono son útiles para inhibir el crecimiento microbiano al mantener una presión parcial de gas adecuada. A menudo, estos envases se combinan con atmósferas modificadas para equilibrar la pérdida de dióxido de carbono por disolución o las pérdidas por permeabilidad a través del material de empaque (Cárdenas, 2020; Coma, 2008).

- * **Envases inteligentes:** son sistemas que constan de etiquetas, rótulos o películas que permiten controlar las propiedades de los alimentos durante el transporte y el almacenamiento, informando al fabricante y al consumidor de los posibles cambios que haya sufrido el alimento (Nagarajarao, 2016). Se utilizan etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID), indicadores de temperatura, e indicadores de gases y patógenos, entre otros. Las etiquetas RFID proporcionan información acerca de la trazabilidad con el fin de evitar el fraude y las pérdidas durante el transporte, optimizando así las condiciones de la distribución (Realini y Marcos, 2014). Esta tecnología, aunque resulta muy útil, tiene un coste elevado. Los indicadores de tiempo y temperatura son dispositivos sencillos fabricados con materiales termosensibles que imitan la pérdida de alguna característica de calidad (cambio temperatura, pH o humedad) y producen un color de contraste con una escala de referencia (Alves-Costa et al., 2019). En el envasado en atmósferas protectoras, la concentración de los gases varía con el tiempo y se utilizan indicadores para alertar sobre estos cambios o para detectar fugas tras el envasado (Fang et al., 2017). Son pequeños dispositivos o etiquetas que se encuentran adheridos o impresos en el envase, reaccionando a un cambio de color cuando se producen cambios indeseados. También podemos citar los biosensores, relacionados con la detección de toxinas y microorganismos patógenos. Se utilizan agentes biológicos como ácidos nucleicos, enzimas o colorantes de pH (Poças y Delgado, 2008). Sin embargo, aunque resulta ser un método muy interesante, todavía falta afinar ciertos aspectos como la sensibilidad, selectividad y el tiempo de respuesta (Alves-Costa et al., 2019).

- * **Envases biodegradables:** el impacto ambiental del plástico ha llevado búsqueda de envases más respetuosos con el medio ambiente. Para ello, se han desarrollado materiales de envasado a partir de polímeros biodegradables que se descomponen al final de su vida útil. Entre ellos, están los biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA), polihidroxialcanoato (PHA) o alcohol polivinílico (PVA), fabricados mediante biotecnología (Cárdenas, 2020). También

encontramos los agropolímeros, como los almidones o la celulosa, que se utilizan principalmente para mejorar la estabilidad del envase (Conejo, 2019). La función de los envases biodegradables no es únicamente preservar el alimento de los daños físicos, sino que también pueden utilizarse en films para extender la vida útil de carnes y pescados. Por ejemplo, se ha demostrado que el uso de films de PVA, gelatina y extracto de amaranto son eficaces para inhibir el crecimiento de bacterias patógenas y ralentizar la oxidación en filetes de pescado y pollo refrigerados y envasados (Kanatt, 2020).

3.2.8 Tecnologías de conservación alternativas a los tratamientos frigoríficos y/o térmicos

La necesidad de aumentar la vida útil de los alimentos termosensibles manteniendo su calidad ha llevado a la industria a implementar nuevas tecnologías de conservación. Entre ellas, se encuentran las siguientes:

- * **Altas presiones hidrostáticas:** es una tecnología cuyo interés va en aumento debido a su capacidad para inhibir eficazmente las bacterias patógenas con pocos efectos negativos sobre la calidad nutricional y las propiedades sensoriales (Yang et al., 2024). El carácter no térmico de esta tecnología se ha presentado como una alternativa a la pasteurización en alimentos frescos (Truong et al., 2015). El proceso consiste en someter a los alimentos envasados herméticamente a presiones hidrostáticas que van desde 100 a 700 MPa, durante un tiempo determinado que dependerá de las características del alimento y del equipo (Bonfim et al., 2019). Los alimentos envasados se introducen en una cámara hermética que se llena con fluido transmisor de presión, generalmente agua, y se mantiene durante el tiempo estipulado. Se ha estudiado el uso de altas presiones hidrostáticas en calamares y otros productos del mar. Un estudio publicado por Gou et al. (2010) mostró que la aplicación de presiones de 300 MPa durante 20 min inhibe la actividad de trimetilamina-N-óxido dimetilasa y el crecimiento microbiano de microorganismos aerobios (7,28 Log UFC/g a 2,70 Log UFC/g) tras 12 días de almacenamiento en refrigeración en especies de *Todarodes pacificus*. Además, tras aplicar altas presiones, el número de microorganismos aerobios totales no sufrió cambios significativos tras los 12 días de almacenamiento en refrigeración, lo que confirma que con las altas presiones se reduce el volumen celular de las bacterias y se induce una transferencia de masa irreversible. La combinación de esta tecnología junto con otros métodos de conservación tradicionales resulta interesante para extender la vida útil de camarones y

calamares (Zhang et al., 2016). Tsai et al. (2022) mostraron que la combinación de la salazón en salmuera con las altas presiones proporciona un filete de pescado más blanquecino, mejorando su aspecto. También se emplea para ablandar el pulpo (Pizarro-Oteiza et al., 2020; Zamuz et al., 2023). Ello se debe a que las altas presiones pueden provocar cambios en la estructura de las proteínas (Meng et al., 2017), mejorando las características de la gelatina (Ma et al., 2013; Sezer et al., 2020). En moluscos bivalvos se utiliza para el descascarado, ya que provoca la desnaturalización de las proteínas y del tejido conectivo, liberándose el músculo aductor (Rong et al., 2018). Sin embargo, su aplicación en pescados como el bacalao, la lubina y el salmón provoca cambios desagradables como la aceleración de la oxidación de los lípidos (Rathod et al., 2022). Esta tecnología presenta algunas ventajas con respecto a los métodos convencionales, como la posibilidad de realizarse en productos envasados y morfológicamente diferentes. A pesar de las ventajas mencionadas, la adquisición de equipos industriales todavía supone de una gran inversión.

- * Campo eléctrico pulsado: consiste en utilizar pulsos eléctricos de alto voltaje en el alimento que se encuentra entre dos electrodos. Se lleva a cabo a temperatura ambiente y el proceso dura milésimas de segundo. Si el voltaje empleado es suficientemente fuerte, puede inducir un proceso llamado electroporación, que aumenta la permeabilidad de las células, lo que facilita la liberación de compuestos intracelulares, como los antioxidantes y otras sustancias. Además, la electroporación puede ayudar a conservar mejor los alimentos al permitir una mayor penetración de conservantes o agentes antimicrobianos, prolongando así la vida útil. Se considera una alternativa al tratamiento térmico convencional, ya que destruye microorganismos sin alterar el sabor, el color y la textura (Fernández-Molina et al., 2001). Se puede utilizar para aumentar la capacidad de retención de agua en productos del mar, tanto secos como frescos (Gámez-Villazana et al., 2021; Gómez et al., 2019). Recientemente, la Universidad de Zaragoza, en colaboración con empresas, han utilizado campos eléctricos de alto voltaje para inactivar anisakis en soluciones salinas y en músculos de pescado, inactivando el 100 % de las larvas. Actualmente no existen equipos industriales aplicados a los productos de la pesca. Sin embargo, se utilizan en la fabricación de snacks de patata, batata o plátano (**Figura 27**).

Figura 27. Equipo de campo eléctrico pulsado

Fuente: <https://www.potatopro.com/es/news/2022/inka-crops-aplica-campo-el%C3%A9ctrico-pulsado-pef-en-la-producci%C3%B3n-de-una-gama-de-snacks>

- * Plasma frío: se basa en generar especies químicas reactivas de diferentes gases (O_2 , N_2 , CO_2 y Ar) que inactivan enzimas y microorganismos y provocan cambios en las estructuras del músculo. El alimento se sitúa entre dos electrodos dispuestos concéntricamente por los que pasa el gas y sufre una descarga. La exposición puede ser directa, rociando el producto con el plasma frío, o indirecta, colocándolo en una cámara donde se genera el plasma. La duración e intensidad de la exposición dependen del tipo de alimento y de los microorganismos a tratar. Este método es compatible con otras técnicas de envasado, generando gran interés debido a su bajo costo, la ausencia de residuos y a la ausencia de toxicidad (Rathod et al., 2022; Sakudo et al., 2020). Actualmente no existen equipos de plasma frío en la industria alimentaria. Se utiliza principalmente para la desinfección de superficies o para el tratamiento de éstas para favorecer la adhesión de pigmentos, adhesivos o barnices.

- * Luz ultravioleta: se utiliza para desinfectar la superficie de los alimentos y prolongar su vida útil. La radiación ultravioleta tiene propiedades germicidas y puede reducir la carga microbiana en la superficie de los alimentos sin alterar sus propiedades sensoriales o nutricionales (Souza y Koutchma., 2020). El alimento se expone a la radiación ultravioleta en una cámara de tratamiento, la luz incide en la superficie y afecta a los microorganismos

presentes, dañando su ADN y provocando su muerte o inactivación. Se trata de una técnica que, combinada con otras, como los ultrasonidos, altas presiones hidrostáticas o pulsos de luz, promete ser una alternativa al tratamiento térmico para la reducción de microorganismos patógenos en productos de la pesca (Izquierdo-Domínguez, 2020). A pesar de que no es una tecnología que se encuentre muy desarrollada en productos de la pesca, existen equipos para la desinfección y esterilización superficial de alimentos (**figura 28**). También se utilizan para tratar envases como botellas antes de ser llenadas.

Figura 28. Equipo de luz ultravioleta para la desinfección de alimentos



Fuente: <https://www.vigoe.es/tendencias/gastronomia/el-tunel-de-alimentos-vigues-que-conserva-sin-quimicos-ni-aditivos/>

3.2.9 Tratamiento de subproductos

La creciente elaboración de productos transformados de la pesca genera cada vez más subproductos que es conveniente aprovechar, especialmente para el consumo humano. Normalmente, los subproductos a base de pescado comprenden la cabeza, las vísceras, la piel, las espinas y las escamas. Su utilización como ingredientes para nuevos productos derivados supone una alternativa interesante para aumentar el valor añadido, evitar pérdidas económicas o reducir el impacto ambiental generado

debido a su carga microbiana, rápida degradación y a las dificultades para su gestión o eliminación. La industria alimentaria, en constante renovación, persigue mejorar su sostenibilidad, aprovechando los desechos como una oportunidad económica y como medio para reducir el desperdicio de los productos de la pesca (FAO, 2022). Los subproductos de la pesca son ricos en proteínas, ácidos grasos poliinsaturados omega 3, pigmentos, minerales y enzimas (Arvanitoyannis y Kassaveti, 2008), por lo que se pueden aprovechar en productos para la acuicultura, agricultura e industria (Shahidi, 2006). Pueden emplearse para múltiples fines como, por ejemplo, la mucosa epidérmica y las vísceras de algunos peces, poseen propiedades antifúngicas y antibacterianas si son fermentadas con bacterias ácido-lácticas (García, 2020; Song et al., 2017). Los desechos procedentes del caparazón de los crustáceos contienen quitina, un polisacárido que ha demostrado ser una fuente potencial antimicrobiana. También el quitosano posee actividad antimicrobiana y se utiliza como ingrediente alimentario y para fines médicos. Otros subproductos procedentes de mariscos son utilizados como pigmentos, como la astaxantina y sus ésteres (Aubourg et al., 2021b). La industria busca revalorizar sus subproductos para fines alimentarios. Empleando las tecnologías adecuadas, sería posible desarrollar nuevos productos a base de éstos como patés, snacks, salsas de pescado u otros productos. Es importante mencionar la utilización del colágeno a partir de subproductos de pescado con fines farmacéuticos y médicos, ya que cada vez cobra mayor interés y es considerado una alternativa al colágeno procedente de los animales terrestres (Wijaya y Junianto, 2021).

En la industria del pescado, al igual que en otras industrias alimentarias, es importante gestionar eficientemente los subproductos para minimizar el desperdicio, reduciendo así el impacto ambiental. En función del uso previsto de los subproductos se pueden gestionar de una manera u otra. Si los subproductos van a ser empleados como un nuevo producto alimentario, normalmente se congelan o se refrigeran hasta su procesado en la planta. Por otro lado, si van a ser destinados a su uso como ingrediente de harinas de pescado o fertilizantes, suelen almacenarse en cámaras específicas que se encuentran a temperaturas de refrigeración hasta la recogida por el gestor. Si su uso final es la destrucción, igualmente se almacenan en cámaras de refrigeración hasta su retirada. Los subproductos procedentes de los productos de la pesca, suelen tener un alto contenido en agua, por lo que normalmente se intenta eliminar el exceso para reducir el volumen. Una gestión eficiente contribuye a la sostenibilidad general de la industria pesquera.

El procesado del calamar genera diversos subproductos y efluentes, incluyendo vísceras, plumas, restos de piel y subproductos comestibles. Entre éstos, los más valiosos son los recortes de manto del calamar y de las partes comestibles de la cabeza y los tentáculos, que se descartan durante el proceso de elaboración.

3.2.10 Controles de calidad aplicados en la industria

El calamar requiere de un minucioso control de calidad para asegurar que cumple con las características microbiológicas, sensoriales y fisicoquímicas deseadas. Para ello, la industria ha desarrollado diferentes métodos durante el procesado que garantizan el cumplimiento de las especificaciones internas y externas para el producto final, siempre basándose en el sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC). Estos métodos se aplican de modo ordinario en la planta de elaboración, quedando registrados en el sistema informático que proporciona información accesible en caso de registrarse alguna incidencia.

3.2.10.1 Control de congelación: se utilizan termómetros con sonda para asegurar que el calamar ha alcanzado la temperatura en el interior del producto. Para ello, tras finalizar el tiempo de congelación y antes del envasado, se mide la temperatura del producto introduciendo una sonda en la parte media del manto. La temperatura debe ser ≤ -18 °C.

3.2.10.2 Control de glaseado: en el caso del calamar congelado individualmente y envasado a granel, se lleva a cabo un proceso de glaseado antes del envasado para proteger al calamar de los daños producidos durante el almacenamiento en congelación. El calamar se pesa antes y después del glaseado para comprobar que el porcentaje de agua que lo recubre se encuentra dentro de los límites establecidos. Normalmente se aplica un glaseo de protección que suele ser del 3 %.

3.2.10.3 Control visual: los calamares se observan detenidamente durante el procesado para evitar que los daños sufridos durante este lleguen al consumidor final. Se encuentran deficiencias en el aspecto, como la rotura de las patas debido al recorrido de la congelación o rotura de glaseado, presentando un aspecto desagradable.

3.2.10.4 Control del sellado a vacío: para asegurar que el calamar se encuentra bien sellado y no va a presentar defectos posteriormente, se controla que el vacío se ha realizado correctamente. Para ello, el calamar envasado individualmente se sumerge en un baño de agua, el cual nos indicará mediante la aparición de burbujas de aire si hay alguna fisura en el envase o el sellado no se ha realizado correctamente.

3.2.10.5 Control de envasado: el calamar se clasifica por tallas y su envasado depende de las especificaciones del producto final. Suele realizarse manualmente por operarios y por ello, es necesario un control más exhaustivo para detectar errores en la talla o el peso de las cajas continentales del producto final.

3.2.10.6 Control de sustancias de carácter metálico: tras el envasado y antes de su almacenamiento, las cajas atraviesan un detector de metales que asegura la ausencia de hierro, acero inoxidable y otras sustancias no férricas. Son calibrados al inicio y al final de la jornada, además de verificarse cada hora o cambio de lote.

3.2.10.7 Control de etiquetado: el producto final envasado debe ir correctamente etiquetado de acuerdo a la legislación vigente. Para ello, se realizan controles por medio de una lista de chequeo para comprobar que la etiqueta contiene toda la información obligatoria y necesaria para el consumidor.

3.2.10.8 Control de cocción: este proceso normalmente se encuentra monitorizado de manera que pueda consultarse a tiempo real la temperatura y el tiempo que dura el proceso. Además, se debe garantizar antes de la finalización que el calamar ha alcanzado la temperatura deseada en el interior del producto, para lo que se emplean termómetros con sonda.

3.2.10.9 Control sensorial: el aspecto visual es un factor esencial en el producto final. Es por ello que se hace una evaluación del color, aspecto y forma del calamar congelado. También se realizan catas de producto para asegurar que el sabor y olor cumple con las especificaciones establecidas.

3.2.10.10 Control microbiológico: es común que las medianas o pequeñas empresas lleven a cabo la realización de análisis microbiológicos en laboratorios externos acreditados. Normalmente se analizan microorganismos aerobios mesófilos totales (ISO 4833-1:2014), enterobacterias (ISO 21528-2:2018), *Escherichia coli* (ISO 16649-2:2001), Estafilococos coagulasa positivo (ISO 6888-1:2021), *Salmonella spp* (MET-Mi-Salmonella-ELFA-AI) y *Listeria monocytogenes* (MET-Mi- *L. monocytogenes*-AI), asegurando que se cumplen con los límites establecidos en la legislación.

3.2.10.11 Control de metales pesados: debido a la naturaleza de los calamares, se realizan controles periódicos de metales pesados (Hg, Pb y Cd) para garantizar que los niveles se encuentran dentro de los límites permitidos por la legislación. Suelen realizarse también en laboratorios externos acreditados y normalmente se analiza la concentración de cadmio, plomo y mercurio.

Otros métodos empleados para evaluar la calidad del calamar y sus derivados incluyen parámetros de composición, como la humedad (deseccación), nitrógeno total y nitrógeno básico volátil total, (digestión-destilación Kjeldahl y potenciometría), lípidos (extracción Soxlet), o cenizas (incineración), junto con medidas instrumentales como el pH (potenciometría), el color objetivo (reflectancia), la textura (texturometría), la capacidad de retención de agua o las pérdidas por cocinado (rendimiento), entre otras. También se realizan análisis sensoriales de apariencia, olor, sabor y textura con panelistas expertos y pruebas de preferencia-aceptación con consumidores. La determinación de estos parámetros puede resultar útil para conocer los efectos de las materias primas y los métodos de procesado sobre la calidad y vida útil de los productos transformados de calamar.

3.3 LEGISLACIÓN APLICABLE (no incluida en referencias)

Orden de 20 de abril de 1967 sobre fijación del derecho regulador para la importación de cefalópodos congelados.

Decisión de la Comisión nº 95/149/CE, del **8 de marzo de 1995** por la que se establecen los valores límite de nitrógeno básico volátil total NBVT de determinadas categorías de productos pesqueros y los métodos de análisis que deben utilizarse.

Reglamento (CE) nº 2406/96 del Consejo de 26 de noviembre de 1996 por el que se establecen normas comunes de comercialización para determinados productos pesqueros.

Real Decreto 1334/1999, de 31 de julio de 1999, por el que se aprueba la Norma General de Etiquetado, Presentación y Publicidad de los Productos Alimenticios.

Reglamento (CE) nº 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la

Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan procedimientos relativos a la seguridad alimentaria.

Real Decreto 709/2002, de 19 de julio, por el que se aprueba el Estatuto de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria.

Reglamento (CE) nº 796/2002 de la Comisión de 6 de mayo de 2002 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) nº 2419/2001 del Consejo en lo que se refiere a las medidas de control aplicables en virtud del sistema integrado de gestión y control de determinados regímenes de ayudas comunitarias establecidas en el marco de la política agrícola común.

Real Decreto 1801/2003, de 26 de diciembre, sobre seguridad general de los productos.

Reglamento (CE) nº 852/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios. Deroga la Directiva 93/43/CEE del Consejo, de 14 de junio de 1993, relativa a la higiene de los productos alimenticios.

Reglamento (CE) nº 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal

Reglamento (CE) nº 854/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, por el que se establecen las disposiciones para la organización de los controles oficiales de los productos de origen animal destinados al consumo humano.

Real Decreto 2180/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica la norma de etiquetado sobre propiedades nutritivas de los productos alimenticios, aprobada por el Real Decreto 930/1992, de 17 de julio.

Reglamento (CE) nº 1924/2006, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos.

Reglamento (CE) nº 1441/2007 de la Comisión, de 5 de diciembre de 2007, que modifica el Reglamento (CE) nº 2073/2005 relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios.

Real Decreto 1669/2009, de 6 de noviembre, por el que se modifica la norma de etiquetado sobre propiedades nutritivas de los productos alimenticios, aprobada por el Real Decreto 930/1992, de 17 de julio.

Reglamento (UE) nº 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor y por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº 1924/2006 y (CE) nº 1925/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, y por el que se derogan la Directiva 87/250/CEE de la Comisión, la Directiva 90/496/CEE del Consejo, la Directiva 1999/10/CE de la Comisión, la Directiva 2000/13/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 2002/67/CE, y 2008/5/CE de la Comisión, y el Reglamento (CE) nº 608/2004 de la Comisión.

Reglamento (UE) nº 10/2011 de la Comisión, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos.

Reglamento (UE) nº 142/2011 de la Comisión, de 25 de febrero de 2011, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) nº 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano, y la Directiva 97/78/CE del Consejo en cuanto a determinadas muestras y unidades exentas de los controles veterinarios en la frontera en virtud de la misma.

Reglamento (UE) nº 2015/647 de la Comisión, de 24 de abril de 2015, por el que se modifican y corrigen los anexos II y III del Reglamento (CE) nº 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a la utilización de determinados aditivos alimentarios.

Reglamento (UE) nº 2022/141 de la Comisión de 21 de enero de 2022 por el que se modifica el anexo II del Reglamento (CE) nº 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que concierne al uso de carbonatos de sodio (E 500) y carbonatos de potasio (E 501) en cefalópodos sin elaborar.

Reglamento (UE) nº 2023/915 de la Comisión de 25 de abril de 2023 relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 1881/2006.

3.4 RETOS TECNOLÓGICOS EN LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS TRANSFORMADOS DE CALAMAR

La tecnología industrial empleada para fabricar productos transformados de calamar ha avanzado en los últimos años, tanto en aditivos, como en equipamiento y procesos. Las empresas de formulados cárnicos han desarrollado nuevos productos específicos para pescado y marisco, incluyendo medios de maceración, agentes crioprotectores o preparados culinarios, entre otros. Los equipos también han mejorado para paliar los efectos negativos del ciclo de congelación-descongelación (p. e. la ultracongelación con nitrógeno líquido), para acortar la duración del proceso de elaboración (p. e. la maceración por inyección), o para extender la vida útil y mejorar la conveniencia de los productos listos para el consumo (p. e. envasado en atmósferas protectoras o cocinado al vacío). No obstante, todavía existen retos tecnológicos inherentes a la fabricación de estos productos, los cuales se exponen a continuación.

3.4.1 Estandarización de materias primas de diferente calibre y origen

Los cefalópodos presentan una amplia variedad morfológica y de tamaño debido a la edad y procedencia de los distintos ejemplares, desde zonas pelágicas hasta las cercanas al fondo marino (Guerra, 2006). Su transformación puede resultar en productos de calamar con diferentes calidades debido a que el tamaño puede influir en la composición de la carne (contenido en colágeno, composición proximal, estructura muscular, etc.). El tamaño de los especímenes también condiciona la duración de los tratamientos tecnológicos (maceración, enfriamiento, calentamiento, etc.) y a menudo es necesario clasificarlos por su calibre antes. Procesar calamares de mayor tamaño requiere emplear más tiempo para concluir con éxito el ciclo de congelación y descongelación, para homogeneizar la difusión de las sales de maceración o para conseguir una adecuada coagulación de las proteínas musculares por acción del calor. Como otros alimentos, los calamares no conducen bien el calor y se puede producir cierto desfase entre la temperatura superficial e interna deseadas (Rosas-Romero et al., 2010). Por tanto, el efecto térmico podría ser diferente entre las diferentes capas del producto, lo que afecta a la coagulación de proteínas y la retención de jugos.

El tamaño de los calamares también puede afectar a la distribución y concentración de melanina, el principal pigmento responsable del color. La melanina se encuentra en células especializadas llamadas

cromatóforos, cuya acumulación en la piel del calamar puede variar con el tamaño, siendo mayor en los ejemplares más grandes. A medida que los calamares crecen, es posible que experimenten cambios en la intensidad y tono de su coloración debido a la evolución natural del animal, cambios en su entorno o factores genéticos. La genética influye en la distribución y densidad de diferentes tipos de cromatóforos en la piel del calamar, pudiendo ser colores simples o formar colores más complejos para adaptarse al entorno. A lo largo del tiempo, la herencia de la coloración de los calamares ha estado sujeta a procesos evolutivos y adaptativos: calamares con coloraciones que les brindan ventajas en términos de camuflaje, reproducción o supervivencia pueden tener más probabilidades de transmitir genes de pigmentación a la siguiente generación (Messenger, 2001). La consecuencia es que el color del calamar puede variar afectando a los productos transformados.

Otro aspecto a tener en cuenta en la heterogeneidad de las materias primas es su alimentación. La alimentación de los calamares varía con el crecimiento, alimentándose de crustáceos planctónicos en la etapa juvenil y de crustáceos de mayor tamaño, peces y otros cefalópodos en la edad adulta (Bazzino y Quiñones, 2001; Rosas, 2007). El tipo de presas consumidas por los calamares puede influir en su composición nutricional, ya que es probable que la alimentación de presas más ricas en grasas derive en una acumulación más grasa en su cuerpo. Además, la estacionalidad y la disponibilidad de ciertos alimentos en el entorno marino puede afectar a la dieta del calamar, lo que puede tener consecuencias en el perfil nutricional y afectar directamente al sabor.

A la vista de este problema, la selección de materias diversas suele ser laboriosa y se realiza por operarios o maquinaria especializada. Así, la planificación de las condiciones de elaboración puede requerir de ajustes en función las materias primas que se van a procesar y de los productos finales que se pretenden obtener. La heterogeneidad de las materias primas no se puede evitar, particularmente en grandes factorías, por lo que resulta necesario disponer de protocolos de elaboración bien definidos.

3.4.2 Corrección de defectos de congelación en origen

El pescado, una vez capturado, sufre un rápido deterioro debido a diferentes procesos fisicoquímicos y microbiológicos. Dicho deterioro puede ser paralizado con la congelación. La congelación de los productos de la pesca tras la captura debe realizarse lo más rápido e higiénicamente posible para minimizar los daños sufridos en su estructura y los cambios de composición. El valor de pH es un

indicador de la calidad de los productos de la pesca, ya que su valor está relacionado con la estabilidad y las características sensoriales de éstos. A diferencia de los peces y los crustáceos, el pH disminuye en los moluscos en función del tiempo de almacenamiento como consecuencia de los procesos de degradación causados por la acción bacteriana y de las enzimas proteolíticas. Este descenso del pH está relacionado con la disminución de la capacidad de las proteínas para retener agua, puesto que se acerca al punto isoeléctrico de la miosina cuando el valor de pH desciende de 6,2 (Noguera et al., 2018). Diversos factores como la inanición, la sobrealimentación, la zona de captura o la especie pueden influir en el valor de pH muscular (Cabello et al., 2004). Existen pocos estudios que hayan evaluado los valores de pH en músculo de calamar fresco. Raman y Mathew (2015) publicaron que el pH del calamar presentaba variaciones entre 5,90 y 6,53, resultados que concuerdan con los publicados por Cabello et al. (2004).

Tras la captura se producen procesos enzimáticos proteolíticos que generan compuestos resultantes de la descarboxilación de los aminoácidos por la acción bacteriana, como la trimetilamina, dimetilamina, monatilamina y el amoníaco. Por tanto, el valor de las bases nitrogenadas volátiles (N-BVT) es un parámetro indicador de la frescura de los productos de la pesca, ya que niveles por encima de 25 mg/ 100 g se consideran inaceptables para determinadas especies (Reglamento CE nº 2074/2005). Sin embargo, aunque no existen límites legales para los cefalópodos, valores por encima de 45 mg/ 100 g se consideran inaceptables para los calamares (Cabello et al., 2004). Lapa-Guimarães et al. (2005), observaron que los valores de N-BVT del calamar (*Loligo plei*) se mantienen estables hasta séptimo día de almacenamiento en hielo, obteniéndose valores de 40 mg/ 100 g a partir del décimo día. Estos resultados concuerdan con los publicados por Xuan et al. (2017), quienes reportaron un incremento de N-BVT del 30 % en *Loligo vulgaris* tras tres días de almacenamiento en hielo, reportando valores por encima de 30 mg/ 100 g a partir del sexto día. Teniendo en cuenta que los niveles de N-BVT son cercanos a 10 mg/ 100 g en los cefalópodos recién capturados (Cabello et al., 2004; Lapa-Guimarães et al., 2005; Tomac, 2013; Xuan et al., 2017), aplicar una congelación lo más rápida posible puede ayudar a preservar su frescura.

Por su parte, los productos de la pesca también suelen presentar bajos niveles de microorganismos alterantes tras la captura. Si la congelación es tardía y se almacenan en hielo sin congelar, puede producirse un crecimiento bacteriano y cambios indeseables. Los cefalópodos son muy sensibles a la degradación las tras la captura, ya que se producen cambios autolíticos si no se mantiene una temperatura adecuada o la congelación es tardía. Pueden aparecer cambios en el color, adquiriendo tonalidades anormales debido a la oxidación de los pigmentos naturales. El brillo puede verse afectado

y tener una apariencia opaca. La acción de las enzimas autolíticas puede provocar una textura más blanda y menos firme en la carne del calamar, además de que pueden descomponer tejidos como la piel y las estructuras internas, lo que puede afectar a su apariencia visual. Durante la autólisis, se liberan compuestos volátiles que pueden contribuir a la formación de olores amoniacales como resultado de la acumulación de productos metabólicos, lo que puede afectar negativamente en el olor y sabor del calamar. Existe poca literatura científica relacionada con el contenido microbiológico de productos de la pesca recién capturados, debido a que el músculo del pescado posee de un sistema inmunológico que previene el crecimiento de bacterias patógenas (Tomac, 2013). La presencia de microorganismos patógenos en el calamar proviene de su posterior manipulación debido al crecimiento exponencial de bacterias psicrotróficas durante su almacenamiento en hielo, aumentando con los días y la temperatura (Lapa-Guimarães et al., 2005; Sungsi-in et al., 2011). Sin embargo, un almacenamiento inadecuado o demoras en la congelación pueden contribuir a la degradación de las proteínas en compuestos nitrogenados debido a las bacterias presentes en los tejidos.

3.4.3 Control de la contaminación microbiológica procedente de materias primas

Los calamares, como otros productos de la pesca, son alimentos susceptibles de ser contaminados por microorganismos y pueden sufrir una rápida degradación tras su captura. Como se ha comentado, la congelación a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ paraliza el crecimiento bacteriano, aunque no destruye las bacterias y éstas pueden proliferar en el producto una vez descongelado. Es necesario mencionar que muchos alimentos contaminados microbiológicamente pueden no presentar cambios aparentes en su aspecto, por lo que es necesario emplear tratamientos para controlar su carga microbiana. Para ello, se utilizan sustancias como el peróxido de hidrógeno, que actúa como agente bacteriostático y evita posibles degradaciones enzimáticas. Se añade durante la descongelación y tras la evisceración de cefalópodos, etapas donde se produce la liberación de microorganismos (AESAN, 2011). Otros aditivos, como el ácido cítrico, ascórbico y sus sales, utilizados para prevenir la oxidación de los productos de la pesca y para acidular el medio de maceración, también pueden inhibir el crecimiento microbiano (Howes et al., 2019). A la hora de procesar los productos de la pesca, es importante seguir un riguroso proceso higiénico basado en el plan de APPCC y en Buenas Prácticas de Higiene. Además, la industria es responsable de realizar los análisis microbiológicos pertinentes para asegurar que el producto sea seguro para el consumidor. Debido a la creciente preocupación por la seguridad alimentaria, se han desarrollado mecanismos de detección de microorganismos en tiempo real, como es el caso de los

biosensores que permiten monitorear la calidad microbiológica de un alimento, con tiempos de respuesta rápidos mediante señales eléctricas, ópticas o térmicas (Diezma y Correa, 2018). En el caso del calamar crudo, es obligatorio indicar en el etiquetado el modo de empleo (por ejemplo, cocinar antes de consumir) para asegurar que el consumidor conoce los pasos a seguir y así, evitar posibles intoxicaciones alimentarias.

3.4.4 Control de la contaminación por metales y metaloides procedentes de materias primas

Los calamares constituyen una fuente dietética de minerales esenciales, como Ca, Mg, Na, K, P, Zn, Cu, Fe, Mn, Cr y Ni, aunque ciertos estudios sugieren que pueden proceder de aguas cada vez más contaminadas y acumular altos niveles de metales pesados tóxicos como Cd, Hg y Pb (Storelli et al., 2012; Torrinha et al., 2014). La presencia de metales pesados y otros minerales contaminantes en productos de la pesca es un tema preocupante en materia de seguridad alimentaria. El Reglamento (UE) nº 2023/915 establece un límite de metales pesados como el mercurio (0,3 mg/ kg), cadmio (1 mg/ kg) y plomo (0,3 mg/ kg) para cefalópodos sin vísceras. La exposición prolongada a estos metales pesados, incluso a bajas concentraciones, puede provocar daños cerebrales, renales e incluso cáncer, entre otros (Jaishankar et al., 2014). Por otro lado, la contaminación por As, un tóxico metaloide para los humanos, también se considera un riesgo para la salud relacionado con el consumo de calamar, cuya exposición prolongada podría desencadenar lesiones cutáneas, problemas neurológicos, enfermedades pulmonares y cardiovasculares, entre otros (Devesa et al., 2001; Jiao et al., 2018).

La acumulación de minerales depende de las características de los animales (especie, variedad, tamaño corporal, edad, tejidos y órganos específicos) y de factores ambientales que afectan a la dieta animal, en particular, la contaminación del agua en la pesca (Duysak y Uğurlu, 2017). Los calamares tienen una capacidad metabólica débil (Torrinha et al., 2014) debido a su corto ciclo de vida y acumulan niveles más bajos de elementos tóxicos que algunos peces de consumo frecuente (Storelli, 2008). Los cefalópodos capturados en zonas marinas costeras pueden alcanzar niveles más altos de metales pesados que otros procedentes de la pesca oceánica (Duysak y Uğurlu, 2017; Jiao et al., 2018), pudiendo acumular más cantidades de metales pesados en las vísceras que en el músculo (Toyes-Vargas et al., 2016) debido a su capacidad de concentrar elementos tóxicos en los tejidos debido a su régimen carnívoro (Vieira et al., 2020).

La industria de transformados de calamar, con el fin de ofrecer productos seguros, ha desarrollado procedimientos de elaboración y control para reducir el contenido en metales pesados en este tipo de productos. Aunque no sea su objetivo, los tratamientos tecnológicos que se usan para procesar el calamar, tales como la descongelación, el lavado, evisceración, maceración o la cocción, pueden modular su contenido mineral, incluyendo a elementos potencialmente tóxicos. Sin embargo, apenas hay estudios científicos publicados al respecto. Un reciente estudio realizado en calamar gigante macerado, crudo y cocinado, ha confirmado que los macrominerales y microminerales presentes en el músculo pueden sufrir fenómenos de concentración o lixiviación a lo largo de las diferentes etapas del proceso de fabricación (Fernández et al., 2021).

3.4.5 Reducción de sodio en productos macerados listos para el consumo

La reducción de la ingesta de Na es una cuestión de salud pública. La evidencia médica ha demostrado una relación directa entre el alto consumo de sodio y enfermedades como la hipertensión arterial, los accidentes cerebrovasculares y la insuficiencia renal crónica (Botella-Romero et al., 2015; Vásquez, 2020). Las zonas de pesca del calamar son muy lejanas y, por tanto, la industria transformadora tiene que procesar necesariamente materias primas congeladas con la consiguiente pérdida de capacidad de retención de agua. Las sales de sodio empleadas en los medios de maceración permiten retener osmóticamente más agua, sin embargo, el músculo de calamar, que apenas contiene Na pese a proceder del medio marino, también toma Na desde el medio de maceración debido al gradiente electrolítico. Según esto, el Na aportado por los productos de calamar a la dieta procede, por un lado, de las sales de maceración, y, por otro, del formulado culinario (cloruro de sodio, glutamato de sodio, especias, etc.). En un estudio previo sobre carne macerada de potón o calamar gigante, se establecieron concentraciones de Na antes y después del cocinado del 0,13 % y 0,37 %, respectivamente, lo que supone un 16 % de la dieta diaria recomendada (2300 mg) para este mineral a través del consumo de 100 g de calamar cocinado (Fernández et al., 2021). Reducir la ingesta de Na asociada al consumo de productos de calamar es posible reduciendo la concentración de sales de sodio en los medios de maceración, aunque puede también reducir el rendimiento en peso, cuestión que habrá que dilucidar.

3.4.6 Mejora de los procedimientos de cocinado

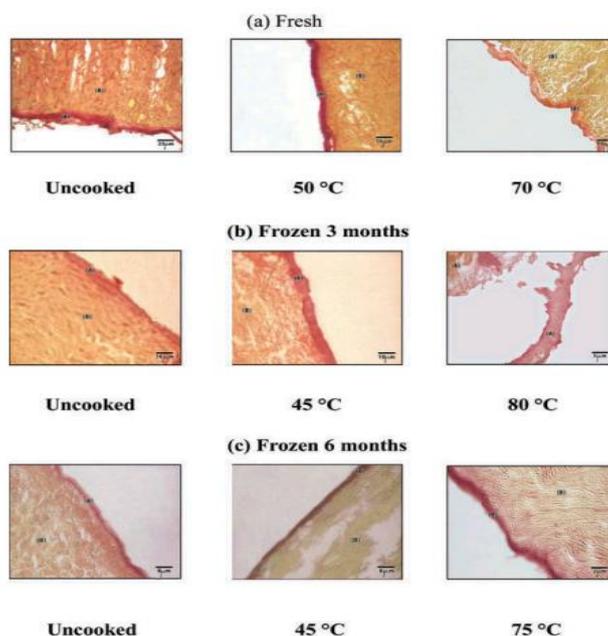
Los calamares se consumen habitualmente cocinados, fritos o asados. La industria aplica sobre todo procesos de cocinado con agua o vapor de agua, más favorables para la textura y la estabilidad oxidativa de los productos durante el almacenamiento en congelación. El cocinado es muy importante para la calidad de estos productos, ya que pueden aparecer defectos sensoriales cuando se aplican tiempos o temperaturas insuficientes o excesivos, o cuando se procesan piezas de diferente tamaño sin aplicar ajustes en la línea de cocción. A esto hay que añadir algunos problemas derivados del uso de preparados culinarios con especias y potenciadores del sabor. Actualmente, el mayor reto en las líneas de las grandes factorías es conseguir homogeneizar los efectos del tratamiento térmico, ya que los calamares, pese a ser clasificados por su calibre, pueden presentar cierta variación de tamaño y, por tanto, ciertas diferencias en cuanto al grado de gelificación y la textura.

La textura es clave para la calidad sensorial de los productos de calamar tratados por el calor, que son ricos en colágeno. La desnaturalización de las proteínas por calor comienza a temperaturas superiores a 40 °C. Si se sigue calentando, la carne del calamar se va ablandando debido a la ruptura de las fibras musculares (Agrafioti y Katsanidis, 2012). No obstante, un exceso de calor puede provocar una excesiva retracción y deshidratación, por tanto, moderar la temperatura de cocinado podría ser una buena estrategia para mejorar la textura. Se ha visto que cocinar el calamar a 55 °C durante un corto periodo de tiempo (30 min) proporciona una textura más tierna y jugosa (Faxholm et al., 2018). La cocción al vacío a temperatura suave suele ser suficiente para gelatinizar el colágeno y ablandar la carne (Christensen et al., 2013; Cui et al., 2020a; Cui et al., 2020b). Este ablandamiento es el resultado de la ruptura térmica de los enlaces intermoleculares de las fibrillas de colágeno, que se hidrolizan en gelatina y sus componentes peptídicos y aminoácidos, resultando en una textura más agradable (Schmidt et al., 2021). La textura del calamar también está relacionada con la retención de jugos durante el cocinado. Tras el tratamiento térmico, la carne se retrae debido a la contracción muscular y se produce una pérdida de agua y nutrientes por lixiviación al caldo de cocción (Cui et al., 2020b; Ersoy y Özeren, 2009; Gokoglu et al., 2004). Como se ha comentado, las principales estrategias para conseguir retener más jugos son macerar con sales sódicas y cocer en condiciones moderadas. La maceración incrementa la capacidad de retención de agua en el músculo de pescado (Åsli y Mørkøre, 2012), mientras que la cocción al vacío a baja temperatura preserva mejor las proteínas (Zavadlav et al., 2020), contribuyendo ambas a reducir las pérdidas de jugo por cocción. Se recomienda usar temperaturas de 60-80 °C durante 20-40 min para cocinar el calamar (González-Fandos et al., 2005). La cocción al vacío también puede mejorar el sabor y el aroma al evitar que los compuestos volátiles

se evaporen durante el cocinado, además de mejorar el aspecto visual (Zavadlav et al., 2020). Su principal limitación es que no permite obtener las pigmentaciones y los sabores a tostado típicos de los calamares asados o fritos. Se ha visto que la temperatura de cocinado influye en la textura del calamar congelado y descongelado. Raman y Mathew (2015) reportaron que la dureza era mayor en los calamares congelados previamente cocinados a 90 °C que a 80 °C; según estos autores, un calentamiento excesivo puede favorecer la fusión de las fibras (**figura 29**), originando una apariencia granulada debido a la proteína desnaturalizada y la desaparición del tejido conectivo; además, la cohesión y la elasticidad fueron mayores en muestras congeladas que en las no congeladas.

Otra función del cocinado es controlar las cargas microbiológicas. El crecimiento óptimo de los microorganismos patógenos se encuentra entre 30 y 50 °C, a partir de la cual se ralentiza su crecimiento y reproducción (Głuchowski et al., 2019). Temperaturas superiores resultan letales para la mayoría de los microorganismos, aunque son muchos los factores que afectan a su resistencia térmica. La temperatura interna del producto debe alcanzar 72 °C para destruir los microorganismos patógenos (Candogan y Kolsarici, 2003; Félix-Armenta et al., 2009). Sin embargo, con el fin de no dañar en exceso las estructuras musculares, se sugieren temperaturas superiores a 55 °C durante un tiempo prolongado para inactivar bacterias patógenas como *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* y cepas de *Escherichia coli* (Głuchowski et al., 2019). Muchos microorganismos frenan su crecimiento a temperaturas entre 50-55 °C, por lo que las nuevas tecnologías de cocinado podrían acercarse a estos valores Zavadlav et al. (2020). Los estudios científicos sobre inactivación de microorganismos en calamar cocinado son escasos, por lo que sería conveniente investigar combinaciones de tiempo-temperatura que permitan obtener productos de calamar seguros con características sensoriales mínimamente alteradas.

Figura 29. Sección histoquímica del tejido del manto del calamar mostrando variaciones en el almacenamiento congelado y cocinado



Fuente: Raman y Mathew (2015).

3.4.7 Uso de preparados “Clean Label” para productos transformados

Muchos consumidores perciben o asocian ciertos riesgos para la salud con el consumo de alimentos preparados con aditivos químicos convencionales. Cada vez más clientes demandan fabricar alimentos denominados “etiqueta limpia”, en inglés “clean label”, elaborados sin los aditivos químicos que tradicionalmente viene usando la industria. Ello supone un hándicap para los tecnólogos de alimentos, ya que implica utilizar nuevas estrategias de conservación para estabilizar los alimentos. Una idea muy extendida es emplear productos de plantas ricos en compuestos fenólicos y otros capaces de actuar como conservantes y antioxidantes naturales. Martínez et al. (2020) estudiaron el uso de extractos granada para la elaboración de hamburguesas a base de pescado con etiqueta limpia obteniendo un aumento de la vida útil, sin encontrar alteraciones en el olor y sabor por parte de los panelistas. A pesar de que el uso de aditivos naturales no se encuentra muy extendido en productos de la pesca, sí se han realizado investigaciones en productos cárnicos. Por ejemplo, se ha reportado que el uso de extracto de uva en pollo (Shirahigue et al., 2010), extracto de grosella y cereza negra en salchichas de

cerdo (Nowak et al., 2016) y kinnow y granada en polvo en hamburguesas de carne de cabra (Devatkal et al., 2010) redujo la oxidación de los lípidos (Nieto et al., 2024).

En el caso de los productos transformados a base de calamar, los principales aditivos empleados en la industria incluyen conservantes como el peróxido de hidrógeno, agentes de maceración como el ácido cítrico, el citrato sódico y los diferentes fosfatos sódicos, que a su vez son agentes quelantes y actúan como antioxidantes secundarios, antioxidantes primarios como el ascorbato sódico o el eritorbato sódico, potenciadores del sabor como el glutamato de sodio, o agentes crioprotectores como el glicerol. Realmente se trata de aditivos con un bajo riesgo toxicológico, el problema es que algunos de ellos, como por ejemplo, los fosfatos, se usan sistemáticamente para mejorar el rendimiento de estos productos y pueden ser percibidos como un fraude.

Sustituir los aditivos convencionales por productos naturales no es una tarea fácil por diversas razones. Las sustancias naturales de plantas no son puras, contienen compuestos activos y muchos otros cuyo papel tecnológico, toxicológico o sensorial puede ser desconocido. Por tanto, su uso implica asumir un riesgo tecnológico que a menudo no se quiere entender. Los conservantes naturales deben ser sustancias GRAS testadas por agencias como la EFSA o FDA. Se debe estar muy seguro de que sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y sensoriales son adecuadas para elaborar productos “clean label” a base de calamar.

3.4.8 Mejora de los procedimientos de congelación y envasado

Durante su transformación, el calamar se descongela, procesa y recongela para obtener productos crudos. La forma en que se produce la congelación del producto final también puede afectar a su calidad. El músculo de pescado tiende a sufrir los efectos acumulados de la congelación debido a la formación de cristales de hielo. Los cristales de hielo tienen más volumen que el agua líquida y, además, se producen daños por deshidratación debido al flujo osmótico de agua desde el interior de las fibras hacia los espacios extracelulares. Esta migración hace que la célula sufra un efecto plasmolítico que puede romper las membranas celulares e incrementar el riesgo de oxidación. La congelación ralentiza, aunque no paraliza, las reacciones de oxidación, de modo que las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno pueden oxidar a proteínas y lípidos (Cheng et al., 2022), al igual que los cambios de temperatura durante el almacenamiento en congelación, que favorecen la recristalización (Qi et al., 2022). Estos cambios influyen en la textura muscular tras la descongelación,

generando productos más duros y elásticos debido a la desnaturalización de las proteínas (Bao et al., 2021; Raman y Mathew, 2015). A medida que aumenta el tiempo de almacenamiento en congelación, se produce una pérdida gradual de peso del producto debido a la sublimación del hielo desde la superficie (Tan et al., 2019).

Además, la presencia de humedad puede conducir a la formación de escarcha en la superficie del producto. Las quemaduras por frío suceden en la parte superficial del pescado congelado, formándose manchas de color blanquecino y zonas de textura “blanda”, donde el pescado ha estado en contacto con el oxígeno. Un envase deficiente donde el producto no está bien protegido puede favorecer en estos daños. Para evitarlo, se utiliza el glaseado como técnica de conservación, ya que previene el deterioro causado por la deshidratación y la oxidación, prolongando la vida útil en congelación (Shi et al., 2018; Tan et al., 2019). El glaseado también reduce los cambios de color en los calamares congelados, que se tornan amarillentos tras 4 meses de almacenamiento debido a la degradación de los lípidos. Los calamares glaseados muestran un color más blanco que los calamares sin glasear (Shi et al., 2018; Tan et al., 2019). Se ha visto también que el crecimiento y recrystalización del hielo en los tejidos musculares pueden ocasionar defectos en el sabor, textura, jugosidad y valor nutricional del calamar gigante almacenado durante largo tiempo en congelación (Shui et al., 2021; Zhang et al., 2019). Sin embargo, se ha observado que las proteínas del manto permanecen bastante estables en especímenes de *Loligo vulgaris* durante el almacenamiento en congelación debido a que la paramiosina contribuye a disminuir la desnaturalización de las proteínas (Gómez-Guillén et al., 2003; Shui et al., 2021).

La industria aplica diferentes estrategias para minimizar los efectos negativos a largo plazo de la congelación. La adición de fosfatos es un método muy extendido que ayuda a prevenir la formación de grandes cristales de hielo durante la congelación, mejora la capacidad de retención de agua y previene la desnaturalización de las proteínas (Wang et al., 2023), mejorando la jugosidad y la textura de los productos congelados. Además, como agentes quelantes, los fosfatos se utilizan para prevenir la oxidación de lípidos y pigmentos que pueden producir tonos amarillentos y, en ocasiones, olores y sabores rancios, durante el almacenamiento en congelación (Thanonkaew et al., 2006). En cualquier caso, su uso es controvertido porque incrementa artificialmente la retención de agua y puede ser rechazado por algunos clientes. Detectar la adicción de fosfatos en origen requiere de un análisis rutinario de las materias primas y puede obligar a ajustar la composición de los medios de maceración, ya que deben ser declarados en la etiqueta y sus efectos pueden ser acumulativos. Por otra parte, a pesar de que los calamares poseen bajos niveles de lípidos (1-2 %), la oxidación ocurre principalmente

a nivel de la membrana celular, donde sus fosfolípidos ricos en ácidos grasos poliinsaturados son particularmente propensos a formar aldehídos y otros compuestos volátiles responsables de olores y sabores desagradables y de la formación de productos resultantes de pardeamiento no enzimático. Además, estos compuestos de la oxidación de los lípidos pueden reaccionar con las aminas de las proteínas provocando alteraciones en el color (Thanonkaew et al., 2006).

Las características sensoriales de los cefalópodos también pueden verse alteradas por una descongelación inadecuada. Durante la descongelación retornan los fenómenos de deterioro como la oxidación de los lípidos, la degradación de proteínas y el desarrollo de microorganismos, especialmente si ésta se realiza durante un tiempo prolongado y a alta temperatura ambiente (Elbarbary et al., 2023). La descongelación lenta puede acelerar el crecimiento superficial de bacterias, especialmente si la temperatura externa es mayor a 15 °C, ocasionando olores desagradables y también provocando efectos irreversibles en el músculo del pescado, debido a la desnaturalización de las proteínas (Ragnarsson y Viðarsson, 2017). Con independencia de la temperatura ambiente, la atmósfera de envasado también juega un papel conservante tras la descongelación; los calamares envasados en aerobiosis son más propensos al deterioro microbiológico por bacterias aerobias y a las reacciones de oxidación, mientras que el envasado al vacío, a pesar de ser más costoso para las industrias, proporciona una mayor estabilidad microbiológica y oxidativa al calamar cocinado (Fernández, 2023).

El uso de crioprotectores en productos de la pesca proporciona una barrera de protección para las alteraciones sufridas durante la congelación. La aplicación de crioprotectores como la sacarosa (Bertoglio y Peralta, 2023), el sorbitol y los polifosfatos (o combinaciones de éstos) permiten preservar la capacidad de retención de agua en productos de la pesca congelados como el surimi (Almache, 2007). Resultados similares fueron presentados por León (2018) que mostraron que el empleo de sorbitol contribuyó a la reducción de los daños sufridos durante la congelación en muestras de yamú, manteniendo la integridad de la estructura muscular. La utilización de crioprotectores en el glaseado de productos de la pesca proporciona una reducción de la pérdida de agua durante el almacenamiento en congelación. Fernández (2023), mostró que la utilización de un glaseante compuesto por una combinación de agua osmotizada, ácido cítrico, ácido ascórbico y glicerina ocasionó menos pérdidas de peso tras la congelación durante 6 meses de la rodaja de potón en comparación con el uso únicamente de agua osmotizada.

3.4.9 Introducción de nuevas tecnologías de conservación para productos refrigerados

La congelación se aplica de forma extendida en pescado y marisco porque es un método de conservación muy eficaz que permite retener la mayor parte de sus características de calidad durante largos periodos de tiempo. En el caso de los productos de calamar, el problema es que se aplica un doble ciclo de congelación/ descongelación, antes y después del cocinado, lo que puede ir en detrimento de su calidad sensorial, debido sobre todo a la pérdida de jugos. Evitar el segundo ciclo es un reto enorme y solo tiene sentido si se pretende ofertar productos refrigerados, crudos o cocinados, con menos vida útil, aunque con mejores propiedades sensoriales, una cuestión a afrontar por la industria que, a día de hoy, parece poco probable. Quizás en un futuro se desarrollen nuevos platos cocinados refrigerados a base de calamar para servicios de catering. Tanto si el producto es crudo o cocinado, la aplicación de tecnologías no térmicas ya mencionadas podría tener un buen futuro para estabilizar estos platos a base de calamar. Entre ellas, las altas presiones hidrostáticas parten con cierta ventaja debido a diversas razones. Esta tecnología ya ha superado la fase de prototipos, existen equipos industriales y se ha probado con éxito en productos de carne y pescado. Es particularmente adecuada para pasteurizar productos crudos y cocinados envasados en las bolsas tipo skin que se están usando en algunos productos de calamar, como piezas enteras, anillas, filetes e incluso embutidos, y apenas sobrecalienta el producto a las temperaturas y tiempo normales que se usan en alimentos.

3.4.10 Aprovechamiento de recortes y subproductos para elaborar productos derivados

Los subproductos procedentes de la elaboración del calamar suponen una preocupación ambiental y económica, y se persigue su aprovechamiento para nuevos productos con valor añadido. La tinta de calamar ya se usa para fabricar alimentos con impresoras 3D. Se trata de una tecnología experimental que podría proporcionar numerosas ventajas. Un estudio publicado por Jeon et al. (2024), describe el uso de mezcla de zanahoria en polvo, tinta de calamar e hidrocoloides para fabricar un alimento mediante impresora 3D con características nutricionales interesantes. Los subproductos del calamar también se usan como harina para elaborar alimentos enriquecidos en aminoácidos esenciales, tal y como señala Calvo-Carrillo et al. (2023), quienes elaboraron panes tipo “baguette” con harina de

calamar (10 %), obteniendo un producto con mayor contenido en proteínas y con una buena aceptación sensorial.

Además, el quitosano de la pluma de calamar posee propiedades antioxidantes, por lo que podría utilizarse para reducir la oxidación de productos cárnicos (Serrano y Bañón, 2012) y de frutas, como la chirimoya, en combinación con el ácido cítrico (Quispe y Villa, 2021). Cabrera-Barjas et al. (2021) realizaron una investigación sobre el uso de las nanopartículas de β -quitina extraídas de pluma del calamar en combinación con extracto de sauco para su aplicación como indicador de la frescura de productos de la pesca envasados. Una reciente investigación sugiere que los mantos de calamar, en combinación con poliacrilamidas, podrían ser sintetizados como hidrogeles y utilizarse como sustitutos del tejido conectivo, lo que sería de gran utilidad en el campo de la medicina gracias a la alta biocompatibilidad, alta resistencia a la fractura y gran elasticidad (Ohmura et al., 2023). Estos avances proporcionan una visión de futuro para el aprovechamiento de los subproductos generados.

A continuación, se muestra una tabla resumen (**tabla 4**) con los principales retos tecnológicos expuestos, las posibles estrategias de mejora y su probabilidad de ser implementadas en la industria en base a limitaciones técnicas (falta de equipos), económicas (sobrecostos de producción) o de mercado (viabilidad de nuevos productos).

Tabla 4. Resumen de los retos tecnológicos expuestos, las posibles estrategias de mejora y la probabilidad de implementación

Reto tecnológico	Posible estrategia de mejora	Probabilidad de implementación
Estandarización de materias primas	Clasificación/separación con tamices o balanzas automáticas	Alta
Corrección de defectos de congelación en origen	Medio de maceración con fosfatos y similares	Media
Reducción de contaminación microbiológica	Control microbiológico rutinario con sistemas rápidos	Alta
Reducción de contaminación por metales y metaloides	Control rutinario de minerales como As	Alta
Reducción de sodio	Medio de maceración hiposódico	Alta
Mejora de la maceración	Inyectoras multipunto específicas para calamar común	Baja
Mejora de cocinado	Cocinado al vacío	Media
Nuevos productos transformados Clean Label	Antimicrobianos y antioxidantes naturales	Media
Mejora de congelación y envasado	Congelación rápida por nitrógeno líquido Envasado al vacío tipo skin y/o materiales activos	Media
Nuevas tecnologías de conservación	Altas presiones hidrostáticas para productos envasados refrigerados	Baja
Aprovechamiento de recortes y subproductos	Productos escaldados y cocidos	Media

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general fue establecer procedimientos de mejora tecnológica y para el desarrollo de nuevos productos transformados de calamar común fabricados en la empresa colaboradora.

Para ello, se identificaron posibles retos tecnológicos y/o se diseñaron actividades de investigación industrial relacionadas con los siguientes aspectos:

1. Instalaciones, líneas de procesado y equipos.
2. Materias primas utilizadas (origen, tamaño, etc.).
3. Tecnología de fabricación (descongelación, maceración, cocinado, envasado, etc.).
4. Control y análisis.
5. Desarrollo de nuevos productos transformados.
6. Aprovechamiento de subproductos.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

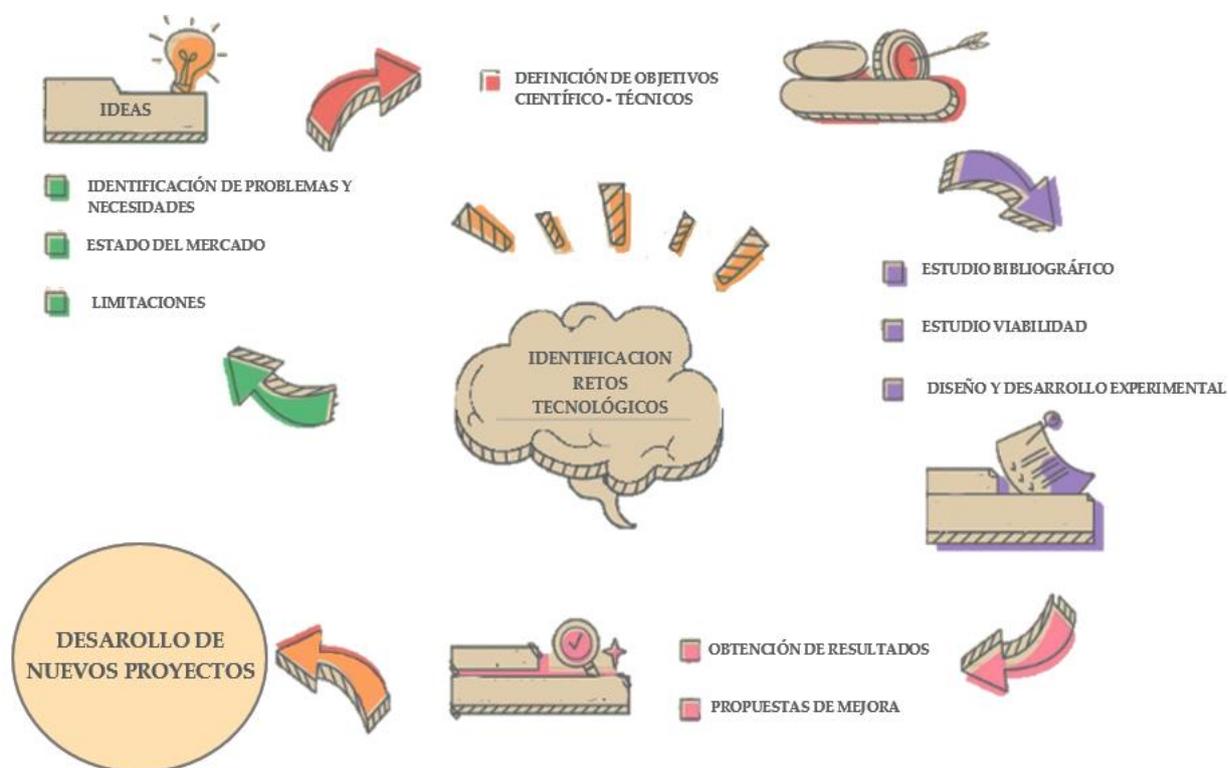
Los objetivos específicos de investigación se recogen en cada uno de los nueve ensayos que conforman la sección de resultados y discusión de la presente tesis doctoral.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. PLAN DE TRABAJO

A continuación, se muestra el esquema de trabajo (**figura 30**) seguido para las actividades de investigación industrial llevadas a cabo. Comprende las etapas seguidas hasta concretar los diferentes experimentos o ensayos.

Figura 30. Esquema de trabajo seguido para la proyección de actividades experimentales



5.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental se ajustó a las características particulares de cada ensayo. Se hicieron muestreos aleatorios con diferentes tamaños de muestra y hasta 3 réplicas de fabricación. Los efectos de los tratamientos (variables cualitativas) se determinaron mediante análisis de varianza (ANOVA) simple y múltiple, empleando el test Tukey de homogeneidad de medias con $p < 0,05$ como nivel de significación. El programa estadístico utilizado fue Statistix 8.0 para Windows (Analytical Software, Tallahassee, Florida, EE. UU).

5.3. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD ORIGINALES

Brevemente, al comienzo de la presente tesis doctoral, la empresa únicamente elaboraba calamar crudo congelado, envasado en formato IQF, congelado envuelto en bolsas plásticas y, ocasionalmente calamar eviscerado y limpio, cocinado y congelado. La **figura 31** muestra el diagrama de flujos inicial de la elaboración del calamar IQF. La factoría recibía el calamar congelado y embalado en cajas de cartón dispuestas en palés y se almacenaba en cámaras de congelación hasta su salida para el procesado. Durante la recepción del calamar, se realizaban registros de control de entrada para asegurar que el producto cumplía con las especificaciones de calidad de la empresa (**figura 32**).

Una vez que se había decidido transformarlo, el calamar se descongelaba en tanques de agua (**figura 33**) a temperatura controlada ($< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) que contaban con un registro de control para garantizar que la descongelación se realizaba correctamente (**figura 34**). Una vez descongelado, se retiraba el calamar del descongelador, descartando el líquido del tanque, y se maceraba (tratamiento químico) por inmersión en las tinas disponibles. Los operarios recibían instrucciones técnicas para la maceración y se establecían registros para asegurar que el procedimiento se ha llevado a cabo correctamente (**figura 35**). Las tinas de maceración se preparaban siguiendo la ficha técnica del proveedor de los formulados de maceración (**figura 36**).

Figura 31. Diagrama de flujos del proceso de elaboración del calamar crudo congelado IQF

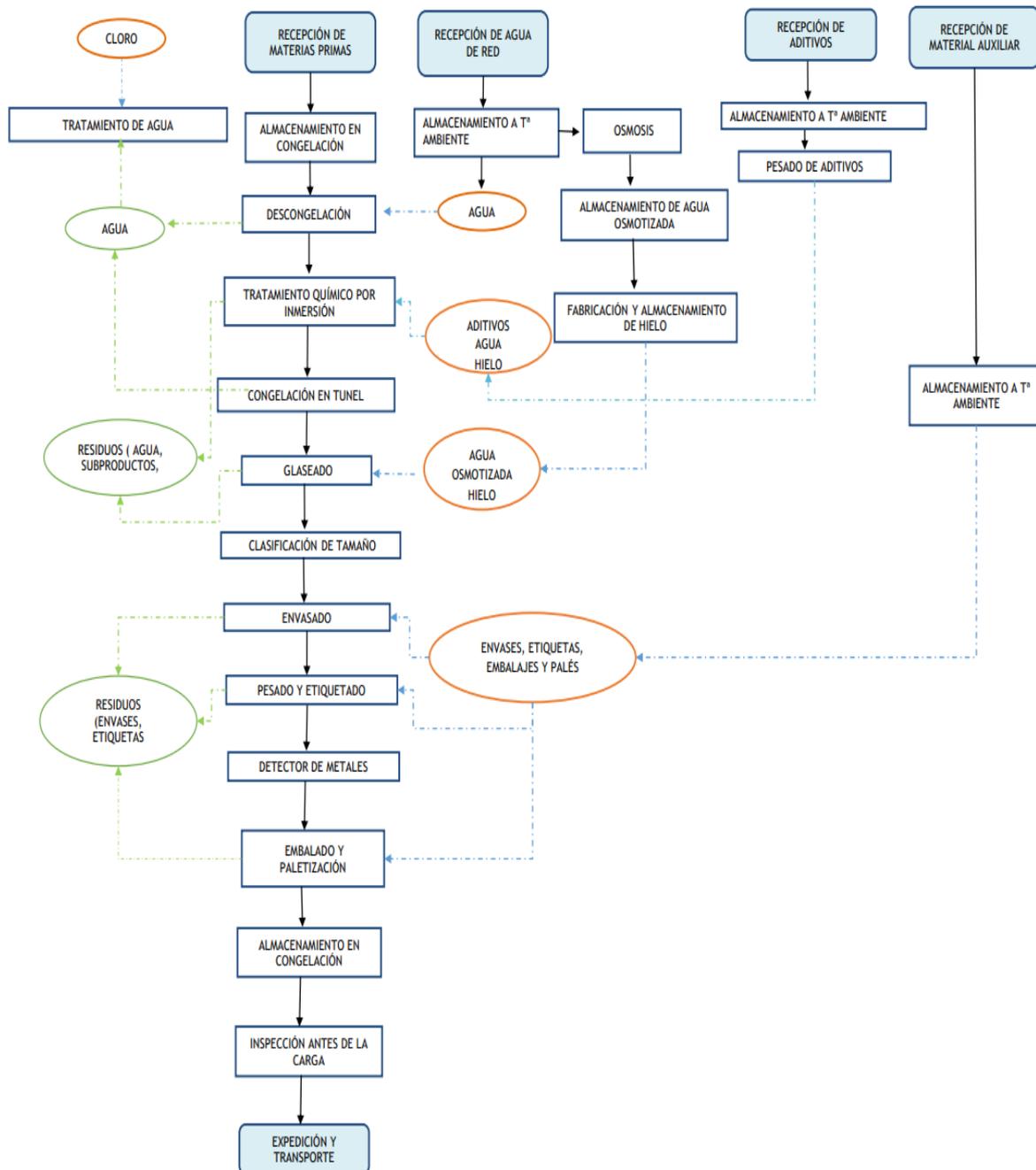
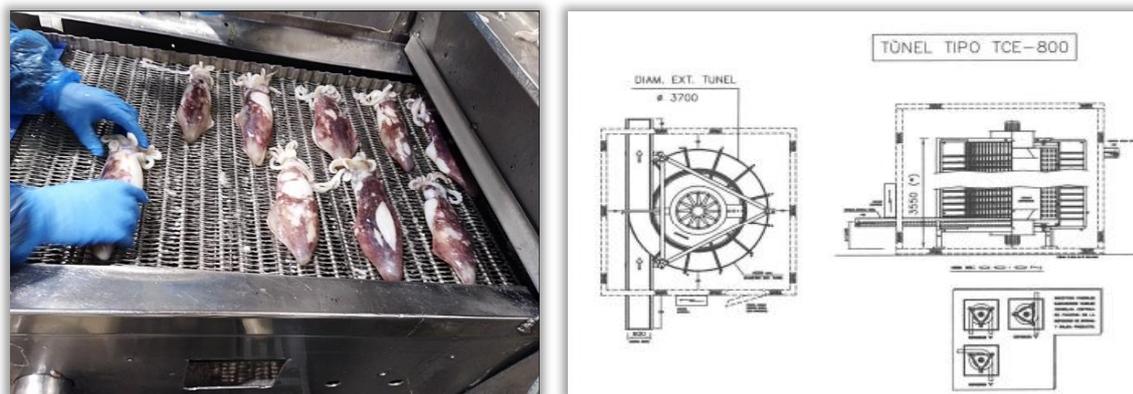


Figura 36. Ficha técnica proporcionada por el proveedor del preparado de maceración para el tratamiento de calamar por inmersión

<p>Aplicación Producto de calidad alimentaria que se aplica por inmersión. Recomendado para cefalópodos con piel, aunque también puede emplearse en cefalópodos sin piel y ciertos tipos de bivalvos.</p>	<p>Composición: Estabilizante: E-331 (citratos de sodio). Soporte: E-501 (carbonatos de sodio). Sal.</p>
<p>Cefalópodos: <i>Octopus s., Loligo sp., Sepia sp., Illex sp.,</i> Omastréfidios, etc.</p> <p>Bivalvos: Vieira (<i>Pecten sp., Argopecten sp.</i>) almeja (<i>Glycymeris sp., Calista sp.</i>), mejillón (<i>Mytilus edulis</i>), etc.</p>	<p>Especificaciones técnicas: (valores susceptibles de cambio sin previo aviso y controlados mediante muestreo aleatorio). Apariencia: polvo blanco. pH (solución al 1%): 7,7-8,7 Solubilidad: soluble en agua.</p>
<p>Propiedades tecnológicas: Estabilizante de la textura y humedad. Evita las pérdidas por deshidratación sufridas durante la manipulación. AL evitar la pérdida de jugos internos, mantiene el aspecto, olor y sabor característicos del producto fresco. Mantienen los complejos actino-miosina en disolución y evita la formación de complejos proteínicos y por tanto la repulsión de agua y pérdida de peso consiguiente. Evita la oxidación.</p>	<p>Presentación, almacenaje y caducidad: Sacos de polietileno alimentario de 25 kg y/o servicio Mono-Pack: sacos monodosis. Mantener en lugar fresco y seco, alejado de la luz solar. Caducidad: 18 meses a partir de la fecha de fabricación (ver etiqueta).</p>
<p>Dosis recomendadas (sobre agua): Cefalópodos sin piel 1-1,5% (10-15 g/ l). Cefalópodos con piel 0,5-1% (5-10 g/l). Bivalvos 0,5-1% (5-10 g/ l).</p>	<p>Salud y seguridad: Europa: puede ser utilizado de acuerdo con el Reglamento No 1333/2008. Anexo II y III (CE). EEUU: sus ingredientes están clasificados como sustancias seguras (GRAS) y pueden utilizarse según "buenas prácticas de fabricación". Consultar legislación aplicable del país destinatario del producto final.</p>
<p>Otras aplicaciones: Técnico. contactar con Departamento</p>	<p>Fabricado en España por un proveedor anónimo. Esta información está basada en los conocimientos de que se disponen. El usuario es responsable de su utilización y buen uso.</p>
<p>Tratamiento por inmersión: Rendimiento del baño: un solo uso. Ratio recomendado Pescado/ Agua: 1:2. Dosis variable: Según especie y tiempo de tratamiento.</p>	

Una vez transcurrido el tiempo de maceración por inmersión, el producto final se congelaba para elaborar calamar IQF o calamar envuelto. En el primero de los casos, el calamar se introducía uno a uno en un túnel espiral IQF (Tameinsa, mod. TCE-800, A Coruña, España) durante 1,5 h aproximadamente a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (**figura 37**).

Figura 37. Congelación del calamar IQF en túnel espiral



Una vez finalizado el tiempo de congelación, se procedía al glaseado de protección con agua osmotizada, envasado en cajas de cartón (**figura 38**) y almacenamiento en congelación hasta la expedición. Durante el envasado de calamar, se realizaban controles de calidad como control de glaseado y congelación (**figura 39**), control de talla y peso (**figura 40**), control de etiquetado (**figura 41**), control del detector de metales (**figura 42**) y control de envasado (**figura 43**).

Figura 38. Envasado convencional de calamar a granel en cajas de cartón



Figura 39. Registro de control de glaseado y congelación

CONTROL DIARIO DE GLASEADO TÚNEL 1 PPR0101-a								
FECHA								FECHA: 10/2021
								ED:02
Orden de fabricación								
Materia prima								
Producto final								
Hora	Peso con glaseo (g)	Peso sin glaseo (g)	% Glaseo	Tª túnel	Tª glaseadores	Velocidad glaseadores	Velocidad cinta espiral	Responsable línea
OBSERVACIONES:						RELIZADO POR:		

Figura 40. Registro de control de talla y peso

		SIST. DE GESTIÓN DE CALIDAD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA		Ed: 02	Fecha: 04/2021
		CONTROL DE TALLA Y PESO		PPR0108	
Fecha:		Lote:	Realizado por:		
			Zona de trabajo:		
			Tara:		
CALAMAR					
Artículo:	CAJA 1		CAJA 2		CAJA 3
Nº palet:					
Hora:					
	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g) Talla (cm)
Observaciones					

Figura 41. Registro de control de etiquetado

CONTROL DE ETIQUETADO PPR0109					
					FECHA: 01/2023
					ED:04
FECHA/ ORDEN FABRICACIÓN:					
	OK/NO (CALIDAD)	OK/ NO (RBLE LÍNEA)			
Nombre del producto					
Fecha congelación/lote					
Código de artículo					
Ingredientes/alérgenos					
Nombre científico					
Declaración de alérgenos					
Método, zona de captura y arte de pesca					
Modo de conservación					
Modo de empleo					
Marca					
Registro sanitario					
EAN 13, 14 y 128					
Información nutricional					
Mención reciclaje envases (si procede)					
Tamaño de letra mínimo					
Peso					
OBSERVACIONES:				REALIZADO POR:	

La elaboración del calamar en bolsas plásticas seguía el mismo procedimiento que el anterior hasta la etapa de congelación. Tras el tiempo de maceración necesario, los operarios introducían uno a uno los calamares en bolsas individuales de polietileno que a su vez se disponían en los fondos de cartón perforados hasta alcanzar los 5 kg de producto (**figura 44**). Cada uno de estos fondos, se introducían en cajas de plástico agrupadas en palés y se procedía a su congelación en un túnel estático (Delta T, Madrid, España) a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tras 24 h, el calamar se encontraba perfectamente congelado y se colocaba la tapa de cartón. Este era un proceso muy laborioso y costoso en cuanto a la mano de obra.

Figura 44. Calamar envuelto individual en bolsas plásticas

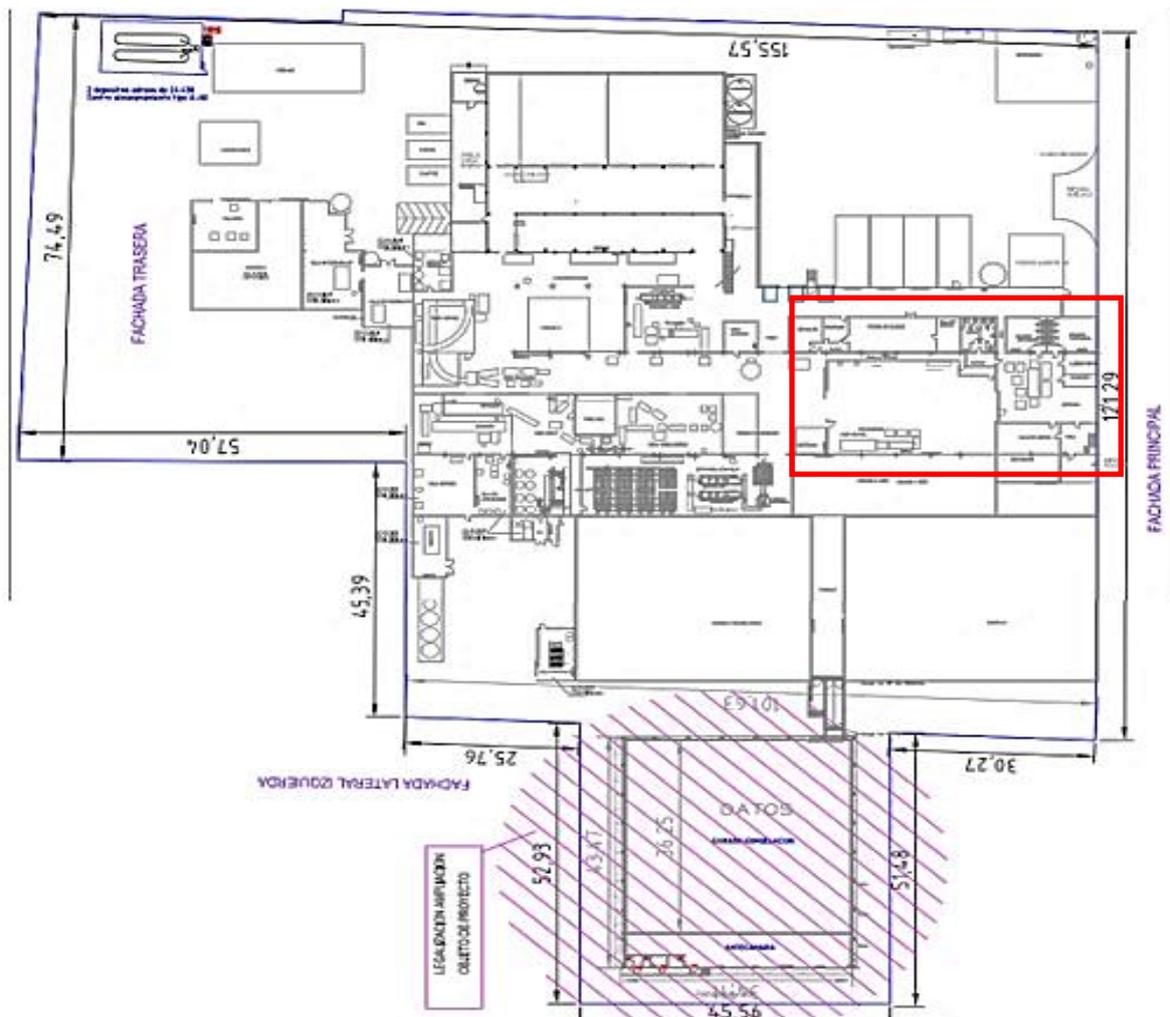


Para el calamar cocinado se seguían los mismos procedimientos hasta la etapa de maceración. Una vez los calamares permanecían el tiempo estipulado en el medio de maceración, se evisceraban, pelaban y trasladaban a la zona de cocción, donde se introducían en una marmita a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 35 min. Posteriormente, se enfriaban y se congelaban en el túnel espiral en formato IQF, se envasaban en cajas de cartón de 5 kg y se almacenaban en cámaras de congelación a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su expedición.

5.4. REESTRUCTURACIÓN PREVIA DE LA SALA DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS TRANSFORMADOS DE CALAMAR

Antes de comenzar el trabajo experimental, la empresa llevó a cabo reformas en diferentes líneas de fabricación, entre ellas la del calamar, con el fin de ofrecer productos con mejor calidad. La **figura 45** muestra el plano original de la empresa donde se encuentran las diferentes zonas de elaboración delimitadas: producto cocido, eviscerado de sepia, tratamiento de cefalópodos, descongelación, túneles de congelación y cámaras de congelación y refrigeración.

Figura 45. Plano original de la planta de elaboración de la empresa colaboradora, donde se indica la zona de elaboración del calamar



Tras diversas reuniones estratégicas y colaborativas entre los miembros de diferentes departamentos, se valoró mejorar el procedimiento para el calamar envuelto en bolsas plásticas, ya descrito anteriormente. Este proceso suponía un alto coste en la mano de obra, ya que se necesitaba un gran número de operarios en cada jornada laboral para producir una cantidad relativamente pequeña (3500 kg/ jornada). Además, el proceso no podía completarse hasta el día siguiente, cuando el calamar se encontraba congelado.

Debido a la gran demanda de este producto, se apostó por sustituir las bolsas plásticas por un envasado al vacío y un sistema de congelación rápido. Para ello, se prescindió de la máquina envasadora a granel, ya que apenas se usaba y ocupaba gran espacio, y se compraron dos termoformadoras TFS2000-MSV (ULMA Packaging, Guipúzcoa, España) y un túnel de congelación de nitrógeno Cryofood LN₂ EQT. Nº T-105 (Cryo Food, Sassari, Cerdeña, Italia), y se adaptó el espacio de las instalaciones (**figura 46**).

Las nuevas máquinas termoformadoras (**figura 47**) forman el envase en el propio equipo, utilizando dos bobinas de film flexible transparente (base PA/PE 200 MICRAS, tapa OPA/PE 70 micras) que se encuentran al inicio soportadas por un sistema de sujeción. El film se calienta por aire para ablandar el material plástico en la superficie de un molde, formándose el envase final. A continuación, se extrae el aire del interior del envase a través de una bomba de vacío (BUSCH, mod. R5 RD 0360 A, Granollers, Barcelona, España) de 300 m³/ h que se encuentra fuera de la máquina, utilizándose presiones de 10-15 mbar, y se produce el corte individual mediante unas cuchillas. Esta máquina proporciona una cadencia de 9-10 ciclos/ min. Está fabricada con acero inoxidable de diseño higiénico (IP-65). Para facilitar el control y manejo dispone de un sistema de control UPC con panel táctil de 7”.

Los calamares se introducían de uno a uno en la termoformadora (**figura 48**) y pasaban a continuación al túnel de nitrógeno (**figura 49**). Se trata de un túnel de ultracongelación rápida de alimentos basada en la inyección de nitrógeno líquido. El producto se introduce manualmente sobre un soporte de carga y, a continuación, pasa a una zona de pre-enfriamiento que consta de una cinta de acero inoxidable que reposa sobre un bastidor rígido del mismo material. Esta cinta tiene una velocidad regulable mediante un variador mecánico montado sobre uno de los ejes del túnel. Una vez pasada la fase de pre-enfriamiento, el producto avanza hacia la zona de inyección, (una cortina de acero inoxidable separa estas dos zonas) donde el producto se enfría por atomización de nitrógeno líquido desde un colector en forma de H donde se encuentran los inyectores. Al entrar en contacto con el producto, el líquido se evapora y extrae el calor latente, de manera que el producto se congela rápidamente. Esta evaporación produce un gas frío y con alta densidad que se distribuye hacia la entrada y salida del producto, generando un intercambio de calor. Así, el producto se pre-enfría y se equilibra. Para que

la recirculación de este gas sea efectiva, son indispensables los ventiladores en la zona de preenfriamiento.

Una vez que el producto pasa por la ducha de nitrógeno líquido, es necesario que adquiera una temperatura unificada en toda su masa ya que, al pasar por la zona de inyección, la superficie de éste está más fría que el centro. Para ello, hay una zona de equilibrio donde la temperatura se estabiliza antes de que termine el recorrido y el producto salga por la zona de descarga. Cuando el producto se ha congelado completamente, pasa a un soporte de descarga y el gas nitrógeno se extrae mediante extractores que se encuentran en el exterior de la zona de carga y descarga y que conducen al exterior de las instalaciones. La alimentación de nitrógeno al túnel se produce desde un tanque de almacenamiento mediante una tubería criogénica aislada. Para regular el caudal de nitrógeno, el equipo dispone de un control de temperatura automático que envía señales a la válvula de control de nitrógeno. Para asegurar que una temperatura adecuada en el interior del túnel, existen sondas conectadas al controlador de temperatura. Además, el túnel posee un cuadro de mando donde indica la temperatura y velocidad del mismo. Para facilitar la limpieza y el mantenimiento del interior, el túnel tiene un mecanismo que permite bajar la parte inferior y el bastidor. Como se puede observar en el diagrama de flujos (**figura 50**), una vez que los calamares salen congelados del túnel de nitrógeno, se procede a su envasado final en cajas de cartón y se almacenan a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su expedición.

Las diferencias de apariencia entre calamar envuelto en bolsas plásticas y el calamar envasado al vacío eran evidentes (**figura 51**). El nuevo producto presenta un aspecto más “limpio”, sin hielo y con una apariencia más atractiva para su venta. A pesar de la inversión, el nuevo proceso ha permitido abaratar costes, agilizar el proceso y ofrecer un producto con mejores características sensoriales y mayor vida útil gracias a las ventajas del envasado al vacío.

Figura 46. Salas original y remodelada para la elaboración del calamar crudo envasado en bolsas plásticas

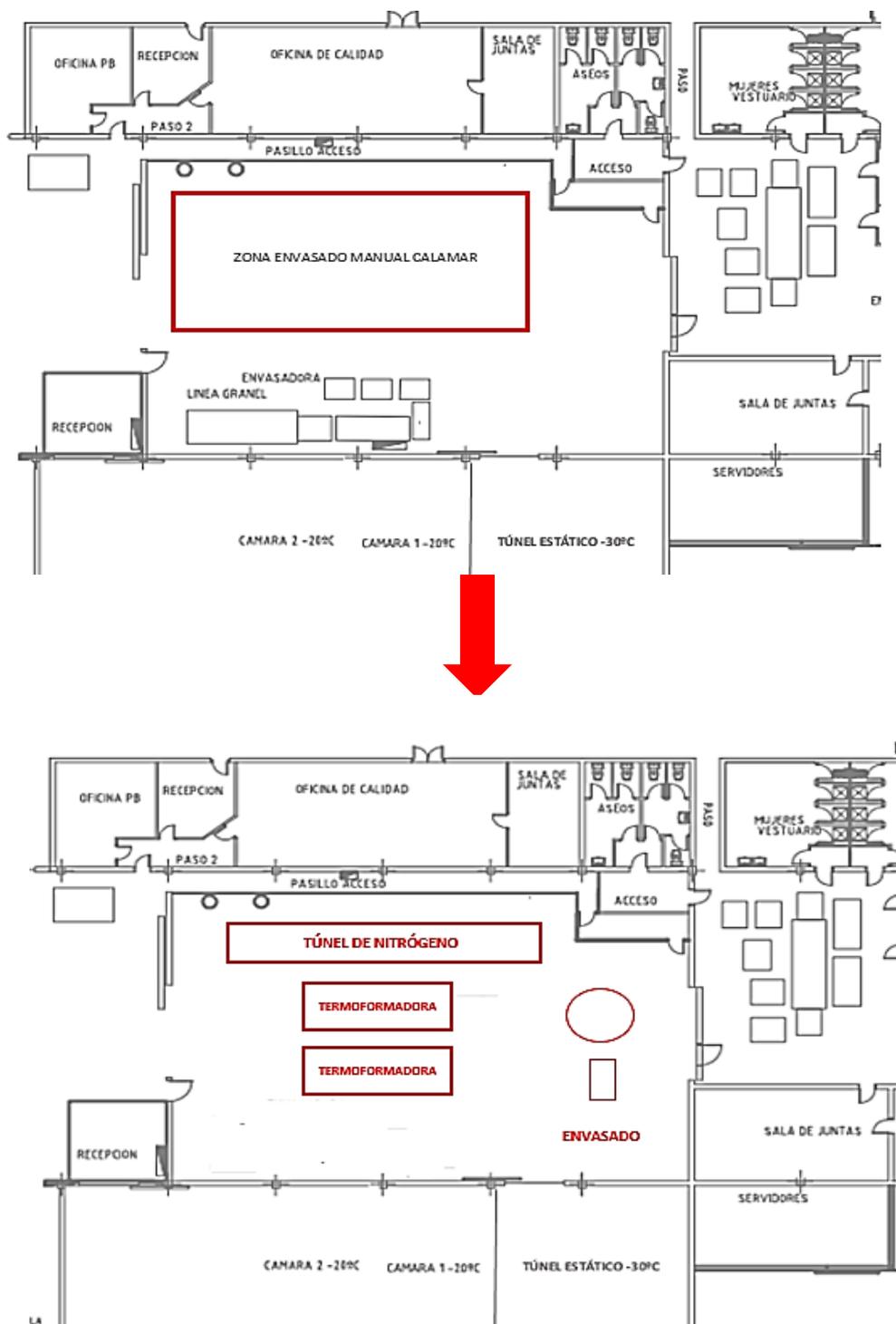


Figura 47. Termoformadora empleada para envasar el calamar al vacío



Fuente: <https://www.ulmapackaging.com/es/maquinas-de-ensado/termoformado/tfs-200-msv>

Figura 48. Introducción de calamar crudo en la termoformadora



Figura 49. Túnel de nitrógeno empleado para ultracongelar el calamar envasado al vacío



Fuente: http://www.tvmerino.es/equipos_criogenicos.html

Figura 50. Diagrama de flujos del proceso de elaboración del calamar crudo envasado al vacío

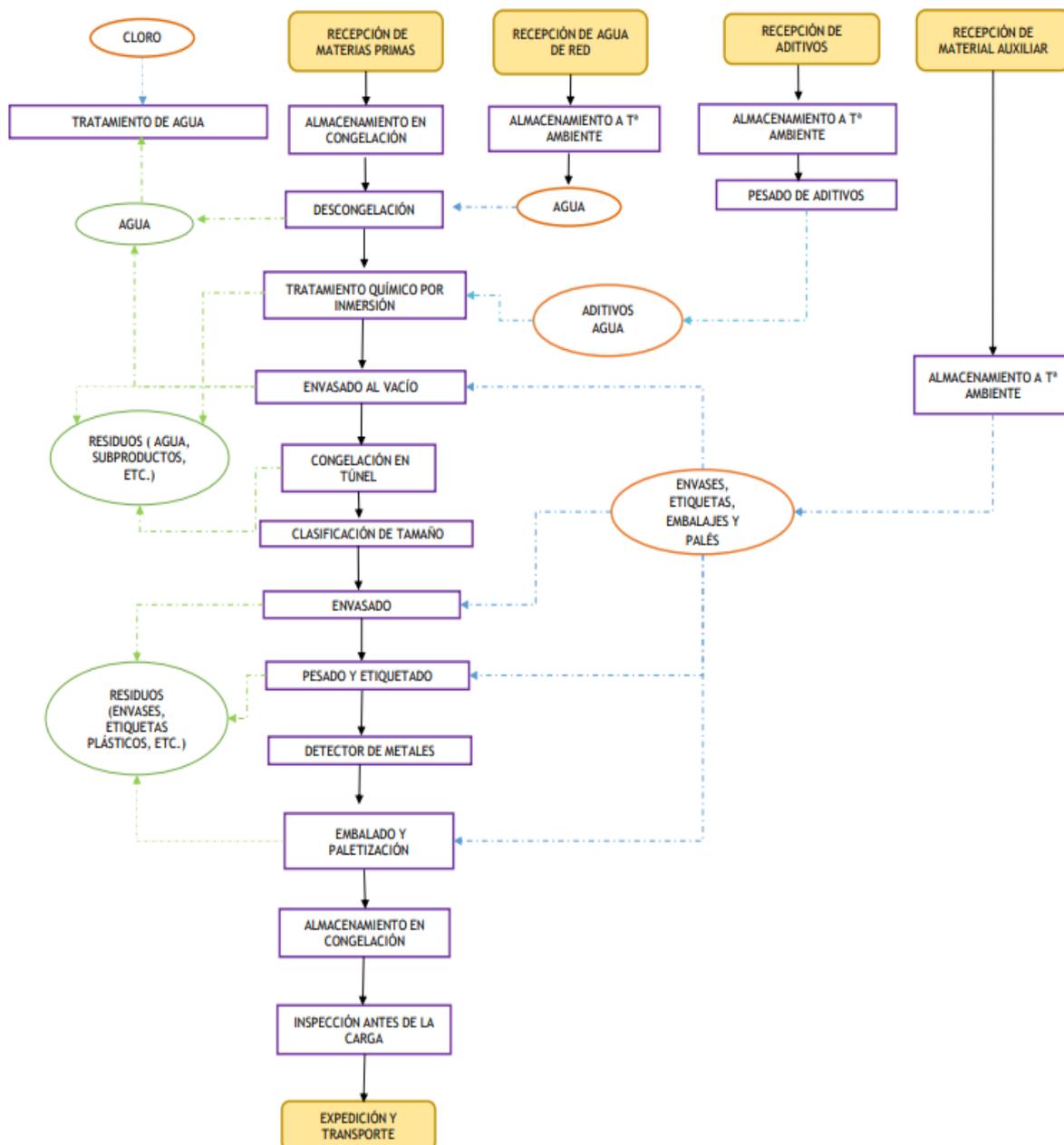


Figura 51. Calamar crudo congelado envasado en bolsas plásticas y envasado al vacío

5.5. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE CALAMAR CRUDO Y COCINADO

Las materias primas eran bloques de calamar (2 x 10 kg) congelado envasados en cajas de cartón separadas del producto por un film plástico. El transporte desde África a Europa se realizó por tierra en vehículos adaptados a temperaturas de congelación (≤ -18 °C). La mercancía recepcionada se almacenaba en cámaras de congelación (≤ -18 °C) antes de su elaboración. Para procesar el calamar en la fábrica, se introducía en tanques con agua y una solución de 5 mg de H_2O_2 a temperatura controlada (< 10 °C) durante 24 h para su descongelación. Los calamares descongelados se escurrían y se introducían en tinas con agua fría (< 4 °C) y el medio de maceración. Las tinas contenían 100 kg de calamar, 300 L de agua con 20 L salmuera líquida (3 %), 1 L de solución de peróxido de hidrógeno (< 10 °C durante 24 h), volteándose el producto cada 3-4 h. Según el ensayo, se prepararon dos soluciones de maceración: (i) MaC1,5 que contenía NaCl (3 %), citrato sódico (1,5 %); y (ii) MaC1,0 que contenía NaCl (3 %), citrato sódico (1 %), ambas con carbonato potásico como soporte. El calamar macerado pasó al eviscerado, donde se eliminaron la cabeza, las vísceras y la pluma. Los calamares ya eviscerados se introdujeron de nuevo en las tinas, se lavaron con agua potable y se escurrieron para obtener las muestras crudas maceradas. Como se explica más adelante, se probaron tratamientos adicionales en algún ensayo.

Como se indicará más adelante, los calamares limpios se procesaron de modo diferente para obtener las muestras cocinadas en cada ensayo. Para el asado, los calamares se cocinaron directamente en una plancha a 180 °C hasta quedar tostados. Para el cocido convencional, los calamares se cocinaron

directamente con agua a 65 °C durante 35 min. Para el cocinado *sous vide*, los calamares primero se envasaron al vacío en una termoformadora TFS2000-MSV, aplicando una presión de 10 mbar, empleando un material plástico compuesto de ocho capas de polietileno (70 %) y poliamida (30 %), apto para la cocción (TMPLY Cook-in CN200; Cryovac, Sant Boi de Llobregat, Barcelona, España), y después se cocinaron con agua caliente a 60- 65 °C durante 25-40 min. En ambos casos, se empleó la misma marmita de cocción (Palinox, mod. MC-1000-R, Sabadell, Barcelona, España). Inmediatamente después, el producto se enfrió en tinas con agua y hielo y se congeló en un túnel de nitrógeno (Cryofood LN₂ EQT. N° T-105, Cryo Food, Sassari, Cerdeña, Italia) durante 15 min a -90 °C. Finalmente, el producto cocinado se envasó en cajas de cartón en una cámara industrial que disponía de nueve pasillos y múltiples ubicaciones, conectada directamente con el ERP Microsoft Dynamics NAV para asegurar el cumplimiento del sistema FIFO (First in-First out).

5.6. CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL

5.6.1. Humedad

El contenido en humedad se determinó mediante gravimetría (Norma UNE-EN ISO 21660-3: 2021). Para ello, se pesaron $5 \pm 0,1$ g (Pi) de muestra extendida en una placa de Petri estable (Pp) con una precisión de 0,001 g empleando una balanza de precisión (Sartorius, mod. BP 110S, Alcobendas, Madrid, España) y después se introdujo en una estufa de desecación (Heraeus, mod. D6450, Boadilla del Monte, Madrid, España) a una temperatura de 105 °C durante 24 h para evaporar el agua. Una vez desecada, la muestra se introdujo en un desecador a temperatura ambiente para estabilizar su peso y obtener el peso final (Pf).

El contenido en humedad, expresado como porcentaje, se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{[(Pp+Pi) - Pf]}{Pi} * 100$$

5.6.2. Lípidos totales

Los lípidos totales fueron extraídos mediante el método Soxhlet siguiendo las pautas establecidas en la Norma ISO 13944: 2013. Se pesaron $2 \text{ g} \pm 0,1$ (Pi) (de muestra triturada y desecada previamente durante 30 min a $105 \text{ }^\circ\text{C}$) utilizando una balanza de precisión. La muestra desecada se introdujo en un cartucho de celulosa dentro de un vaso metálico de peso conocido (Pp) y se procedió a la extracción de la grasa mediante recirculación de 70 ml de éter de petróleo $40\text{-}60 \text{ }^\circ\text{C}$ a través de la muestra en una unidad de extracción (Det-Grass, mod. 4002841, Selecta, Barcelona, España). La primera fase se realizó a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 min. En la segunda fase, el cartucho se elevó, situándose fuera del vaso metálico y continuó la extracción a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 45 min adicionales. Con el fin de eliminar los restos de éter, el circuito de disolvente se cerró durante 10 min y se abrió el circuito de aire. Los vasos metálicos se introdujeron en una estufa de desecación durante 30 min a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ y, posteriormente, permanecieron en un desecador a temperatura ambiente para obtener un peso estable (Pf).

El contenido en grasa, expresado como porcentaje, se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa} = [(Pf - Pp) / Pi] * 100$$

5.6.3. Proteínas totales

Las proteínas totales se determinaron mediante el método Kjeldahl según el método 955.04 de la AOAC (1990). Para ello, se pesaron 0,5 g de muestra fresca (Pi), se introdujeron en un tubo de digestión y se adicionaron 10 ml de ácido sulfúrico concentrado y una pastilla de catalizador. A continuación, los tubos se colocaron en un bloque calefactor para la digestión de la muestra durante 12 h, en una unidad de digestión (Büchi, mod. 435, Büchi Labortechnik, Flawil, Suiza).

Una vez completada la digestión, se dejó enfriar el tubo hasta que se alcanzó temperatura ambiente y se procedió a la fase de destilación en una unidad KT 200 Kjelttec (Foss, Barcelona), donde se neutralizó con una solución de NaOH al 38 %, destilándose la mezcla y recogiendo el amoníaco destilado en un matraz que contenía 25 ml de ácido bórico al 4 % y unas gotas de indicador mixto de 2 g rojo de metilo y 1 g de azul de metileno disueltos en alcohol etílico al 96 %. El proceso de destilación finalizó cuando se obtuvieron 150 ml de destilado.

A continuación, el destilado recogido se llevó a un valorador automático Tritino 702 SM (Methrom, Zofingen, Suiza) que cuenta con un electrodo combinado de pH (Metrohm nº6 02 03100) donde se utilizó ácido clorhídrico 0,1 N para valorar la cantidad de amoníaco retenido por la disolución de ácido bórico.

El contenido en nitrógeno total, expresado en porcentaje se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Proteína total} = [(V \times 0,1 \times 14 \times 6,25 / P_i)]$$

Donde V es volumen de ácido clorhídrico; 0,1 es la normalidad de la solución de ácido clorhídrico; 14 es el peso atómico del nitrógeno; 6,25 es el factor de conversión y Pi es el peso de la muestra.

5.6.4. Nitrógeno básico volátil total (NBVT)

El nitrógeno básico volátil total se determinó siguiendo el método recomendado por la Comisión Europea (Decisión nº 95/149/CE). Para ello, se trituraron 10 g de carne de calamar, se mezclaron con 90 ml de una solución acuosa de ácido perclórico al 6 %, se homogeneizaron durante 2 min y se filtraron. 50 ml del homogeneizado se introdujeron en un destilador KT 200 Kjeltex (Foss, Barcelona). Se añadieron 3 gotas de solución de fenolftaleína para comprobar que el extracto se encontraba alcalinizado y unas gotas de agente antiespumante de silicona. A continuación, se añadieron 6,5 ml de una solución de hidróxido sódico al 20% y seguidamente se inició la destilación al vapor hasta que se alcanzaron 200 ml de destilado. La solución resultante se recogió en un matraz Erlenmeyer que contenía 100 ml de solución de ácido bórico al 3 % con indicador (2 g de rojo de metilo y 1 g de azul de metileno). La valoración se llevó a cabo con ácido clorhídrico 0.01 N en un equipo Tritino 702 SM. Paralelamente, se realizó un blanco en el que, en lugar de añadir la carne de calamar, se utilizaron 50 ml de la solución de ácido perclórico.

El contenido en nitrógeno básico volátil total se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$NBVT \text{ (expresado en mg/100g de muestra)} = ((V_1 - V_0) \times 0.14 \times 2 \times 100) / g$$

Donde V1 es el volumen en ml de solución de ácido clorhídrico por muestra; V0 es el volumen en ml de solución de ácido clorhídrico para el blanco; 0,14 es el factor de conversión utilizado para transformar el volumen de ácido consumido en la titulación en la cantidad de nitrógeno de la muestra; 2 es el factor de corrección; g es la masa de la muestra expresada en gramos.

5.6.4. Cenizas

La determinación de cenizas se realizó por gravimetría siguiendo el procedimiento establecido en la Norma ISO 936:1998. En primer lugar, se tomó un crisol de porcelana, previamente identificado, limpio y desecado y se anotó el peso (Pi). A continuación, se pesó 1 g ± 0,1 de muestra en una balanza Sartorius y se introdujo en el crisol (Pm) y se llevó a un horno mufla HK-11 (Forns Hobersal, Caldes de Montbui, Barcelona) a 550°C durante 4 h para llevar a cabo la incineración. Trascurrido el tiempo, se extrajo el crisol, se dejó enfriar en un desecador hasta peso constante y se pesó la muestra incinerada (Pf).

El contenido en cenizas, expresado en porcentaje se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Cenizas} = [(Pf - Pi) / (Pm - Pi)] \times 100$$

5.6.5. Color CIELab

El color se midió mediante reflectancia utilizando un colorímetro CR400 R-200/08 Chroma Meter II (Minolta Ltd., Milton Keynes, Reino Unido). Los resultados se expresaron en unidades CIELab, que comprenden: Luminosidad (L*), rojo-verde (a*), y amarillo-azul (b*), Antes de realizar las mediciones, se llevó a cabo la calibración del colorímetro con una placa cerámica blanca proporcionada por el fabricante. Las mediciones de color se realizaron en modo DP, utilizando un iluminante D65 como fuente de luz estándar.

5.6.6. Textura

El análisis de textura se llevó a cabo en un texturómetro (Agrosta Belle, Agrosta Instruments, Francia) mediante un test de doble compresión que simula la masticación. Para la evaluación de los atributos de textura se empleó el método TPA (Texture Profile Analysis) que midió los parámetros que se definen a continuación según la Norma ISO 5492:2010/A1:2017:

- * Cohesividad: grado en el cual una sustancia puede ser deformada antes de su ruptura.
- * Dureza: fuerza requerida para lograr una determinada deformación, penetración o ruptura de un producto.
- * Elasticidad: capacidad del alimento para recuperar su forma original tras ser comprimido.
- * Fracturabilidad: fuerza necesaria para romper un alimento en migas o pedazos.
- * Gomosidad: energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido hasta un estado listo para ser tragado.
- * Masticabilidad: trabajo necesario para masticar un alimento sólido hasta un estado listo para ser tragado.
- * Adhesividad: fuerza requerida para separar el alimento de una superficie después de haber estado en contacto con ella.

Las condiciones de medida fueron: sonda cilíndrica de punta plana; punto gatillo: 10 g; velocidad de desplazamiento: 0,1 mm/s; recorrido tras contacto: 10 mm. La medida se realizó en muestras de la parte central del manto del calamar (2 x 2 cm). La **tabla 5** muestra los cálculos y unidades de los parámetros de textura.

Tabla 5. Cálculos y unidades de parámetros de textura

Parámetro	Unidad	Definición y fórmula
Dureza 1 y 2	gf	Fuerza máxima correspondiente al primer /segundo ciclo.
Elasticidad	mm	Altura de recuperación de la muestra durante el tiempo transcurrido desde el final del primer ciclo y el comienzo del segundo.
Coefficiente de elasticidad	%	Relación entre la distancia 2 y la distancia 1.
Fracturabilidad	gf	Fuerza correspondiente al primer pico significativo.
Adhesividad	gf.mm	Energía requerida para retornar la sonda desde la muestra a su posición original una vez acabado el primer ciclo. (A_3).
Cohesividad	%	Energía mecánica necesaria para destruir la estructura interna de la muestra. (A_2 / A_1).
Gomosidad	gf	Energía requerida para desintegrar una muestra semisólida a un estado adecuado para su deglución. (Dureza x Cohesividad).
Masticabilidad	gf.mm	Energía requerida para masticar la muestra. (Gomosidad x Elasticidad).

1 N = 101.97 gf.

5.6.7. Determinación de las pérdidas de peso

Dependiendo el ensayo, las pérdidas de peso se calcularon por diferencia de masa entre muestras de calamar congeladas (P_i) y descongeladas a temperaturas de refrigeración (P_d), evisceradas (P_e) o cocinadas (P_c). Para ello se utilizó una báscula o balanza de precisión.

La pérdida de peso, expresada en porcentaje, se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Pérdida de peso} = (P_i / P(d, e, c)) \times 100$$

5.6.8. Determinación de minerales

Para el análisis de minerales, las muestras se prepararon de acuerdo al método EPA 3015 “Digestión ácida asistida por microondas de muestras acuosas y extractos”. Se añadieron 0,2 g de muestra a un tubo de digestión de 25 ml junto con 4 ml de ácido nítrico concentrado (pureza de 68 %) y 1 ml de solución acuosa de peróxido de hidrógeno (pureza del 33 %) para su posterior digestión en un horno microondas. Además, se añadieron al reactor de teflón 300 ml de agua ultrapura, 30 ml de solución acuosa de peróxido de hidrógeno (pureza del 33 %) y 2 ml de ácido sulfúrico concentrado (pureza 98 %). Las temperatura y presión utilizadas durante la digestión fueron inicialmente de 20 °C y 40 bar, aumentando 10 bar/ min durante 30 min hasta alcanzar los 220 °C, manteniéndose a esta temperatura durante 20 min. Después de completar la digestión, el reactor de teflón se enfrió y se despresurizó a temperatura y presión ambiente para obtener la muestra mineralizada, la cual fue diluida con agua ultrapura utilizando tubos de doble calibre de 10 ml (para microminerales) o de 25 ml (para macrominerales). Los minerales del calamar (excepto Hg) fueron analizados por Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) en un aparato Thermo ICAP 6500 Duo (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA).

Los estándares de calibración fueron preparados con una solución que contenía 31 minerales (SCP Science, Quebec, Canadá) y agua ultrapura. Se utilizó un material de referencia estándar 1577c (Hígado bobino; Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, USA) para validar el método. Cada determinación mineral se midió en longitudes de onda específicas que van desde 167,1 hasta 670,8 nm. Las concentraciones de minerales de la muestra se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C = (S \times D) / W$$

Donde C es el contenido de macrominerales (g/ 100 g) y microminerales (mg/ kg) en la muestra de calamar; S es la concentración mineral de la solución de trabajo; D es el factor de dilución; W es el peso de la muestra.

Los límites de cuantificación (LC) fueron: 0,01 g/ 100 g (Na, K, Mg y Ca); 1 mg/kg (Al, Fe y Si) y 0,01 mg/ kg (para el resto de los minerales). Estos límites de cuantificación se consideraron adecuados para estudiar la difusión de minerales (niveles de hasta 0,9 g/ 100 g) y metales traza tóxicos (niveles autorizados de hasta 1 mg/ kg) en la carne del calamar.

El Pb, Hg y Cd se analizaron (de nuevo en el caso de Pb y Cd) en muestras mineralizadas utilizando un espectrómetro de masas de cuadrupolo único 7900 (ICP-MS) (Agilent Technologies, Las Rozas, Madrid,

España) con un sistema de cámara de nebulizador Scott tipo Peltier refrigerado, un nebulizador concéntrico MicroMist, conos de níquel, un generador de radiofrecuencia de 27,12 MHz y una antorcha de cuarzo tipo Fassel de 1600 W, control de flujo de masa de argón en plasma, línea auxiliar, línea de ajuste y gas portador, un filtro de masa de cuadrupolo hiperbólico (3 MHz y 2-260 amu) y un detector digital/análogo simultáneo con nueve órdenes de magnitud de rango dinámico lineal y una celda de colisión/ reacción. Los isótopos minerales seleccionados fueron: ^{111}Cd , ^{202}Hg y ^{208}Pb . Los LC para los tres elementos fueron inferiores a 0,01 mg/ kg. Galio y rodio se utilizaron como estándares internos.

5.9. Perfil de ácidos grasos e índices nutricionales relacionados

La extracción en frío de los lípidos de la carne de calamar se realizó mediante una versión modificada del método de Folch (Boselli et al., 2005). Se pesaron entre 15 y 25 g de carne de calamar y se añadieron a botellas (provistas de tapón de rosca) con 200 ml de una disolución de cloroformo (Panreac, Castellar del Vallès, Barcelona) y una mezcla 1:1 de metanol (Panreac, Castellar del Vallès, Barcelona) y BHT (Alfa Aesar, Kandel, Alemania) (1:1 v/ v). La muestra se homogenizó a 10.000 rpm durante 3 min y se incubó a 60 °C en una estufa durante 20 min. Después de los primeros 10 min, se liberó el disolvente evaporado dejando el tapón de la botella semiabierto y, transcurridos 20 min, se dejó enfriar durante 5 min. Seguidamente, se añadió cloroformo adicional (100 ml) y se volvió a homogenizar. La mezcla se filtró y el residuo se lavó en dos ocasiones con 10 ml de cloroformo. Se añadieron 100 ml de KCl 1 M (Panreac, Castellar del Vallès, Barcelona) al filtrado, se agitó en un vortex durante 1 min y se dejó enfriar a 4 °C durante 24 h. Al día siguiente, se transfirió la fase orgánica a una botella con sulfato de sodio anhidro (30 g), se agitó y se dejó enfriar durante 2 h. Posteriormente, se filtró empleando un filtro Whatman nº 1 que contenía 15 g de sulfato anhidro de sodio y se llevó (previamente desecado y pesado) a un rotavapor (Büchi, Rotavapor R-200, Ciudad de México, México) con un baño termostático a 30 °C, aplicando un flujo ligero de nitrógeno hasta obtener un peso constante. Se recolectaron 20 mg de grasa para el análisis y el resto se almacenó a -80 °C. Siguiendo el Reglamento (CE) nº 796/2002, se llevó a cabo la metilación, para la que se añadieron 1 ml de n-hexano y 20 µg de KOH 2 N (Panreac, Castellar del Vallès, Barcelona) en metanol a los 20 mg de grasa, y se agitó hasta su completa disolución.

A continuación, 20 µg de KOH 2N en metanol fueron añadidos a la muestra y se agitó durante 30 s. El patrón interno usado fue undecanoato metil éster (CAS 1731-86-8, Sigma-Aldrich, España). El análisis

se realizó en un cromatógrafo de gases (Serie 6890N Agilent Technologies, Madrid, España) acoplado a un detector de ionización de llama (GC-FID) con una columna Agilent HP-88 (60 mx 250 μm x 0.2 μm). Las condiciones de trabajo incluyeron un flujo de helio de 1,4 ml/ min, un volumen de inyección de 1 μl , y temperaturas del inyector y detector de 250 $^{\circ}\text{C}$ y 260 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Se programó una rampa de temperatura específica para el horno de 125 $^{\circ}\text{C}$; 125 $^{\circ}\text{C}$ a 145 $^{\circ}\text{C}$ a 8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$; 145 $^{\circ}\text{C}$ durante 26 min; 145 $^{\circ}\text{C}$ a 220 $^{\circ}\text{C}$ a 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$; y 220 $^{\circ}\text{C}$ durante 1 min. Se realizaron dos réplicas por muestra. La identificación y cuantificación de los ácidos grasos se hizo utilizando dos mezclas estándar: ésteres metílicos de ácidos grasos C4-624 (Supelco, Bellefonte, PA, EEUU) y nº 05632 éster metílico de ácido linoleico (isómeros cis/ trans (Sigma Aldrich)), siguiendo el método descrito por Cardenia et al. (2015). Los ácidos grasos se expresaron sobre el total de ácidos grasos identificados en porcentaje. El perfil de ácidos grasos incluyó los siguientes valores:

- * Ácidos Grasos Totales (AGT): suma de todos los ácidos grasos cuantificados (100%).
- * Ácidos Grasos Saturados (AGS): $(C_{10:0}+C_{12:0}+C_{14:0}+C_{15:0}+C_{16:0}+C_{17:0}+C_{18:0}+C_{20:0}) / \sum\text{AGT}$
- * Ácidos Grasos Monoinsaturados (AGM): $C_{14:1t} + C_{15:1} + C_{16:1} + C_{17:1} + C_{18:1t} + C_{18:1c} / \sum\text{AGT}$
- * Ácidos Grasos Poliinsaturados (AGP): $(C_{18:2t} + C_{18:2c\ n-6} + C_{18:2\ c9t11+c11t9} + C_{18:2\ t10c12} + C_{18:3\ \gamma\ n-6} + C_{18:3\ \alpha\ n-3} + C_{20:2\ n-6} + C_{20:3\ n-6} + C_{20:3\ n-3} + C_{20:4\ n-6} + C_{20:5\ n-3} + C_{22:4\ n-6} + C_{22:5\ n-3} + C_{22:6\ n-3}) / \sum\text{AGT}$
- * N-3: $(C_{18:3\alpha} + C_{20:5} + C_{22:5} + C_{22:6} + C_{20:3\ n-3})$
- * N-6: $(C_{18:2t} + C_{18:2c} + C_{18:3\delta} + C_{20:2} + C_{20:3\ n-6} + C_{22:4})$
- * $n-6/n-3 = \sum n-6\ \text{AGP} / \sum n-3\ \text{AGP}$

5.6.9. Análisis microbiológico

El análisis microbiológico se llevó a cabo de acuerdo con los métodos oficiales. La preparación de las muestras se llevó a cabo tomando 100 g de muestra con 90 ml de agua de peptona tamponada y se introdujeron en bolsas Stomacher para su homogenización. Se aplicaron dos ciclos de 90 s, obteniendo a partir de ésta las diluciones sucesivas. Para ello se tomó 1 ml de dilución y se introdujo en tubos con 9 ml de agua de peptona tamponada. La siembra en placas de Petri se realizó en una cabina de flujo laminar (Telstar, mod. Bio-II-A, Terrasa, Barcelona, España). Los medios se esterizaron a 121 $^{\circ}\text{C}$ durante 20 min en un autoclave (Steam Sterilizer, Raypa, Terrasa, Barcelona, España). Una vez transcurrido el periodo de incubación de cada método, se realizó el recuento de los microorganismos en las placas, expresado en Log UFC/g.

A continuación, se detallan los métodos empleados:

5.6.9.1. Microorganismos aerobios mesófilos totales: se utilizó el método ISO 4833-1:2013 que consiste en un método horizontal para el recuento de microorganismos mediante el conteo de colonias presentes en un medio sólido tras la incubación aeróbica a 30 °C. El medio empleado fue PCA Agar.

5.6.9.2. Enterobacterias: se siguió el método ISO 21528-2: 2007 en el que se utilizó el medio Agar Bilis y Rojo Violeta con Glucosa (VRBG). La incubación se llevó a cabo en una estufa a 37 °C durante 24 h. Las colonias de microorganismos sospechosas presentan una coloración rosa rojizo o púrpura y pueden presentar o no halos de precipitación.

5.6.9.3. *Salmonella spp.*: se utilizó el método MET-Mi-Salmonella-ELFA-AI, un método interno desarrollado por un laboratorio acreditado basado en VIDAS® Easy Salmonella. El protocolo consiste en un enriquecimiento específico en caldo SX2, apropiado para el crecimiento de *Salmonella spp.* y limitar la flora competitiva. Los resultados se encuentran disponibles tras 48 h.

5.6.9.4. *Listeria monocytogenes*: se empleó el método MET-Mi-*L. monocytogenes*-AI basado en ALOA® One Day que permite detectar *Listeria monocytogenes* en un plazo de 48 h. Es un protocolo sencillo que se basa en tres características bioquímicas de este microorganismo: actividad fosfolipasa que aparece como un halo blanco alrededor de las colonias; actividad β -glucosidasa donde la hidrólisis del sustrato produce coloración azul-verdoso de las colonias; fermentación de ramnosa, que se utiliza como indicador de pH, proporcionando un fondo amarillo a las colonias. La fermentación de ramnosa permite diferenciar las colonias de *L. monocytogenes* de otras cepas que pueden presentar características similares como *Listeria ivanovii*.

5.6.9.5. *Escherichia coli*: se utilizó el método ISO 16649-2: 2001 relativa al método de recuento de *Escherichia coli* β -glucoronidasa positivo. El cultivo se realizó mediante siembra en el medio TBX y las placas se incubaron a 44 °C durante 24 h. Para el recuento, se tuvieron en cuenta las colonias con coloración azul o azul-verdosa.

5.6.9.6. Estafilococos: se siguió el método ISO 6888-1:2021 basado en Estafilococos coagulasa positivo. La muestra se extiende sobre el medio de cultivo BP agar y se incuban a 34-38 °C durante 24 h. Transcurrido este tiempo, las placas se incubaron durante 24 h más a la misma temperatura. El recuento se realizó tomando las colonias negras, brillantes, convexas y con halo claro.

5.6.10. Análisis sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo mediante análisis descriptivo cuantitativo (QDA) conforme a las directrices establecidas en la Norma ISO 4121 (2003). Las muestras fueron meticulosamente troceadas manualmente con un cuchillo, manteniendo un grosor uniforme de 1 cm y atemperadas durante 30 min a temperatura ambiente. En general, se evaluaron tres muestras por lote de producto acabado, cada una ellas por duplicado. Cada muestra se identificó mediante un código numérico de 3 dígitos elegido al azar.

Se realizó un análisis sensorial focalizado en los parámetros de apariencia, olor, sabor y textura. Los atributos seleccionados y las escalas presentaron algunas variaciones dependiendo del ensayo. Para ello, se reclutó personal de la empresa capacitado para formar parte de un panel sensorial. La selección de los participantes se realizó entre el personal contratado voluntario. Se estableció un programa de entrenamiento de acuerdo con la Norma ISO 8586: 2012. Se llevaron a cabo 5 sesiones de entrenamiento y una prueba final de selección, en la cual se ofrecieron a los participantes muestras de calamar. Las pruebas de selección de los catadores se puntuaron para evaluar el progreso de los voluntarios. Se asignó un valor de 1 punto por cada acierto mientras que se otorgó 0,5 puntos en caso de error entre dos muestras contiguas. Se estableció un mínimo de 5 puntos para ser aceptados. A continuación, se expone un ejemplo de las fichas de cata empleadas (**figura 52**):

Figura 52. Ejemplo de ficha de cata para la evaluación sensorial del calamar

Fecha:

Nombre:

INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACIÓN DE LA CATA:

A continuación, usted va a degustar 5 muestras de rodaja de calamar cocinado.

Para llevar a cabo esta cata, usted deberá probar la muestra y prestar atención a la **DUREZA, SABOR y OLOR**.

Los números de las muestras no representan ningún orden, han sido colocados al azar.

Pruebe las muestras de izquierda a derecha y ordene con la puntuación de 1 a 5, siendo:

1= muy deficiente y 5= excelente

Muestra					
Orden					
Dureza					
Olor					
Sabor					

Por último, ordene las muestras en orden de preferencia

> > > >

Observaciones:

5.7. ÍNDICES NUTRICIONALES RELACIONADOS CON LA INGESTA DE MINERALES

Los índices nutricionales se calcularon de acuerdo con las directrices proporcionadas por la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA; 2017) para una persona adulta (mujeres y hombres mayores de 19 años) sin necesidades nutricionales especiales.

La Ingesta Semanal Estimada a través del consumo del calamar cocinado para los metales tóxicos Hg, Pb y Cd se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$ISE = C \times TIC \times 7 / P$$

Donde EWI se expresa en $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal; C es la concentración de metales en calamar ($\mu\text{g}/\text{g}$ peso corporal); TIC es la Tasa de Ingestión de cefalópodos (9,8 g/ persona/ día); 7 proporciona los resultados semanales; y P es el peso medio del consumidor (60 kg).

El riesgo de la exposición a los metales tóxicos en una población se evaluó a partir del Cociente de Peligro Objetivo (CPO), que mide el riesgo potencial asociado con la exposición a sustancias tóxicas. Este cociente compara la dosis estimada de un contaminante a través de la dieta con una dosis de referencia segura para determinar si la exposición representa o no un riesgo para la salud.

El CPO se calculó mediante la siguiente fórmula basada en el riesgo de la Región III de la US EPA (2000) (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos):

$$CPO = \frac{EF \times ED \times TIC \times C}{DRF \times P \times T} \times 10^3$$

Donde CPO es el riesgo objetivo (sin unidades); EF corresponde a la frecuencia de exposición anual (365 días); ED es la duración de la exposición en la esperanza de vida media (70 años); TIC es la Tasa de Ingestión de cefalópodos (9,8 g/ persona/ día); C es la concentración de metales en calamar ($\mu\text{g}/\text{g}$ de peso corporal); DRF es la Dosis de Referencia Oral ($\mu\text{g}/\text{g}/\text{día}$), siendo 5×10^4 para Hg, 1×10^3 para Cd y 4×10^3 para Pb; P es el peso corporal medio del consumidor (60 kg); T es el tiempo medio de exposición para no carcinógenos (365 días/ año x ED).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. CORRECCIÓN DE DEFECTOS SENSORIALES DEL CALAMAR DEBIDOS A LA CONGELACIÓN EN ORIGEN

Introducción

El tiempo transcurrido entre la captura de los calamares y su posterior congelación puede afectar negativamente a la calidad del producto final. Una vez extraídos, los calamares frescos experimentan una serie de procesos bioquímicos catalizados o no por enzimas que producen hidrólisis y oxidación de lípidos y proteínas. Esto puede llevar a cambios sensoriales y a la pérdida de nutrientes. Los calamares recién capturados son muy perecederos y pueden deteriorarse rápidamente si no se tratan adecuadamente. Si el barco de pesca no dispone de congeladores lo habitual es mantener el producto en hielo hasta que se descarga y procesa en puerto. Este retraso en la congelación favorece la proliferación de microorganismos alterantes y la salida de líquidos intracelulares con la formación de grandes cristales de hielo durante la congelación. Ello aumenta la ruptura de las fibras musculares y el calamar puede presentar una textura más blanda una vez descongelado.

Objetivo

Mejorar la calidad del calamar transformado crudo y cocinado afectado por una congelación deficiente en origen.

Experimental

La empresa colaboradora venía detectando problemas de textura con un proveedor de Mauritania que, tras consultar los datos técnicos, apuntaban hacia un retardo en el tiempo de congelación en origen. Dicho género defectuoso (**figura 53**) no cumplía con los estándares de calidad establecidos, y dada la dificultad para rechazar y retornar este tipo de productos debido a la distancia, se llegó a un

acuerdo con el proveedor para que compensara los posibles gastos extras asociados a la calidad deficiente de la materia prima. Los bloques congelados de calamar entero objeto de estudio se almacenaron a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su procesado y después se descongelaron siguiendo el proceso habitual anteriormente descrito.

Figura 53. Calamar descongelado con defectos por congelación tardía



Se diseñó un tratamiento preliminar a la maceración denominado “bateo” para intentar mejorar la calidad del producto que consistió en introducir 200 kg de calamares en un bombo de bateo con agua (100 kg), hielo (50 kg) y cloruro de sodio (5 kg). Este método ya se utilizaba con buenos resultados en la empresa para elaborar pulpo en forma de flor que, tras los movimientos y la sal añadida, adquiere esa apariencia y adquiere una textura más turgente, lo que sirvió como idea para mejorar el calamar. Se realizaron 3 ensayos a 2, 3 y 5 min de bateo.

Los calamares se pesaron en una báscula híbrida de acero inoxidable AISI 304 (Giropès, Girona, España) y, una vez bateados, se aplicó el proceso habitual de maceración por inmersión (MC1,5) y congelación a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 1,5 h en una torre espiral con convección forzada (Tameinsa, mod. TCE-800, A Coruña, España). A continuación, los calamares crudos bateados se pelaron, evisceraron y asaron en una plancha a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 8 min hasta quedar tostados. A continuación, se procedió a su análisis sensorial, tanto en crudo, como en cocinado. Paralelamente, se realizó el mismo procedimiento para calamares del mismo lote, pero sin someterlos al proceso de bateo.

Primero se evaluó el efecto de la congelación tardía en la calidad sensorial del calamar crudo y cocinado. Para ello, el panel sensorial estableció una escala de puntuación de 1 a 5 para los atributos de color, olor y exudación en muestras crudas, y de olor, color, sabor y firmeza en muestras cocinadas

(**tabla 6**). El análisis sensorial se llevó a cabo en una sala aislada de la empresa. Una vez decidido el tiempo idóneo de bateo, se determinaron la ganancia de peso tras la maceración y las pérdidas de peso por cocción.

Tabla 6. Escala de puntuación para los atributos sensoriales del calamar crudo y cocinado

Atributos	Puntuación	Calamar crudo
Color	5	Color blanco nacarado
	1	Color rojo oscuro en piel y manto
Olor	5	Olor suave, a calamar
	1	Olor amoniacal, a descomposición
Exudación	5	Sin líquido presente
	1	Líquido presente alrededor del calamar
Calamar cocinado		
Color	5	Color blanco, sin manchas rojizas
	1	Manchas rojizas por el manto
Olor	5	Olor a calamar asado
	1	Olor anómalo rancio o amoniacal
Sabor	5	Sabor típico, calamar asado
	1	Sabor rancio, a descomposición
Firmeza	5	Firme y elástica, típica del calamar
	1	Blando, gelatinoso

Resultados

Durante el ensayo, lo primero que se observó fue que el tiempo de bateo afectaba negativamente al aspecto del calamar crudo. Un bateo excesivo produjo el desprendimiento parcial de la cabeza (**figura 54**). Las puntuaciones del análisis sensorial del calamar crudo se presentan en la **tabla 7**. En general, los panelistas observaron algunas diferencias sensoriales entre muestras tratadas y no tratadas. Los calamares bateados obtuvieron una mayor puntuación de color (3,0-3,7), con mejores resultados a 2 y 5 min que las muestras control (2,0). Por su parte, la puntuación de olor fue similar en todos los tratamientos (3,0-3,2), excepto para el bateo de 3 min, con una puntuación baja de 2,5. En cuanto a la retención de líquidos, se observó menos cantidad de exudado en el calamar no bateado (2,9) en comparación con los bateados a 2 (4,0) y 5 min (3,7).

Figura 54. Calamares crudos con diferentes tipos de bateo

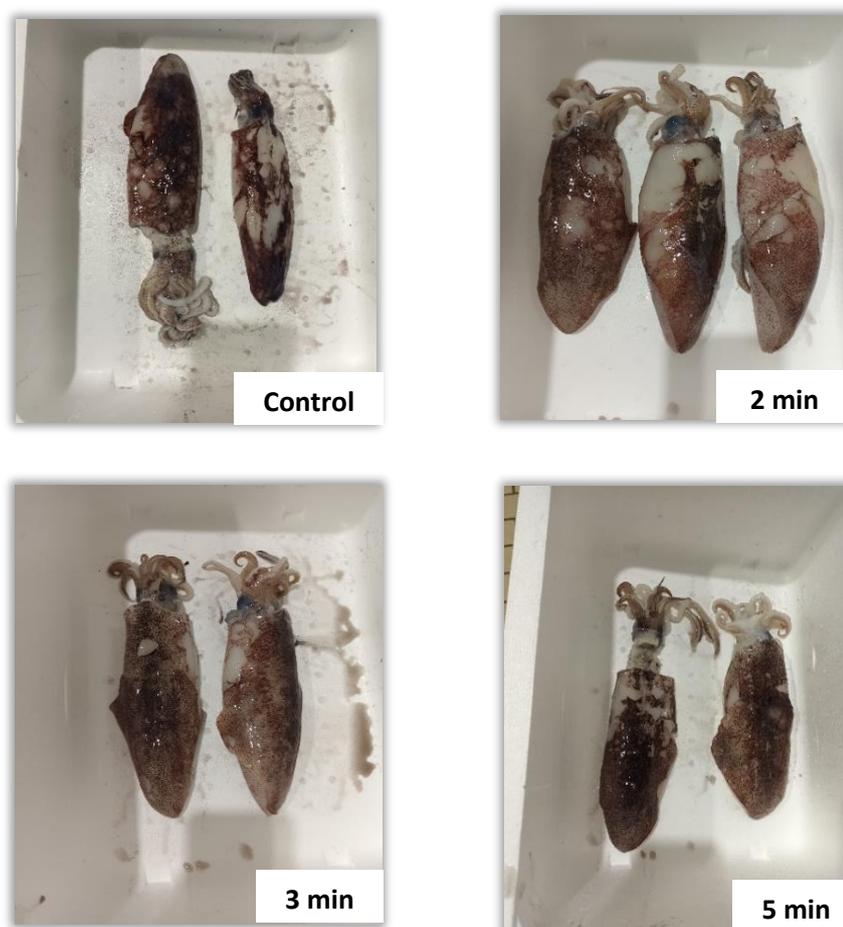


Tabla 7. Efectos del tratamiento de bateo sobre la calidad sensorial del calamar crudo macerado

Tiempo de bateo (min)	Color	Olor	Retención de líquidos
	M	M	M
0	2,0 ^c	3,0 ^{ab}	2,9 ^b
2	3,7 ^a	3,0 ^{ab}	4,0 ^a
3	3,0 ^b	2,5 ^b	3,0 ^b
5	3,5 ^a	3,2 ^a	3,7 ^a
<i>ESM</i>	0,13	0,15	0,22

Abreviaturas: ESM: Error Estándar de la Media; M: Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (test de Tukey).

El análisis sensorial del calamar cocinado mostró resultados acordes con los del producto crudo (**tabla 8**). En general, todos los atributos obtuvieron las mayores puntuaciones para el calamar bateado durante 2 min, seguido de 3 min y 5 min, no existiendo grandes diferencias entre estas dos últimas. Sin embargo, destaca la baja valoración del calamar sin batear obteniendo puntuaciones ≤ 3 . Los panelistas comentaron que el producto no bateado presentaba una textura pobre, flácida y con sensación en boca desagradable, atípica del calamar, así como un olor y sabor intenso a pescado.

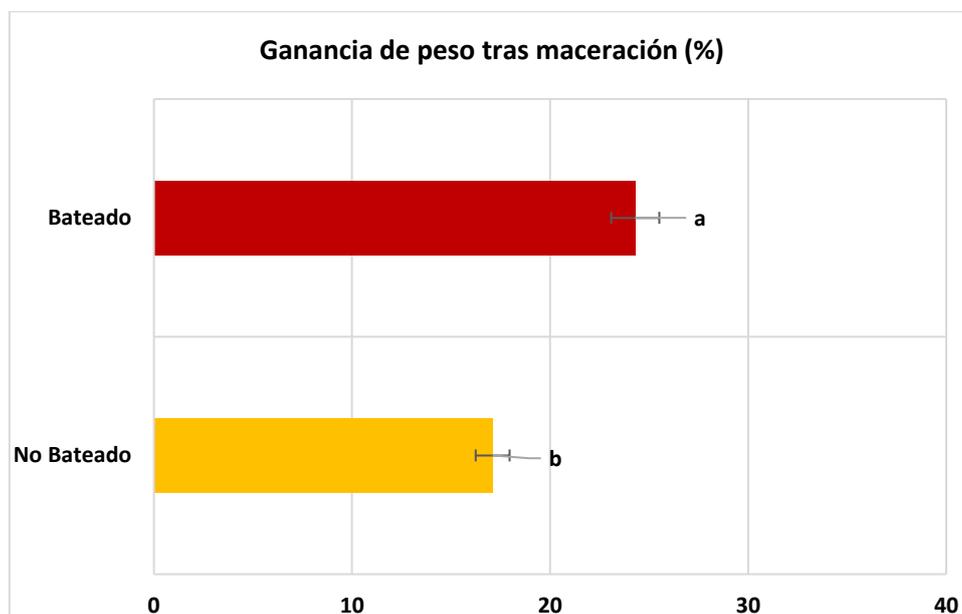
Tabla 8. Efectos del tratamiento de bateo sobre la calidad sensorial del calamar macerado y cocinado

Tiempo de bateo (min)	Color	Olor	Sabor	Firmeza
	M	M	M	M
0	2,5 ^c	3,0 ^c	2,2 ^c	2,0 ^c
2	4,2 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a
3	3,0 ^b	3,3 ^{bc}	3,5 ^b	3,6 ^{ab}
5	3,3 ^b	3,6 ^{ab}	3,7 ^{ab}	3,4 ^b
<i>ESM</i>	<i>0,12</i>	<i>0,15</i>	<i>0,13</i>	<i>0,15</i>

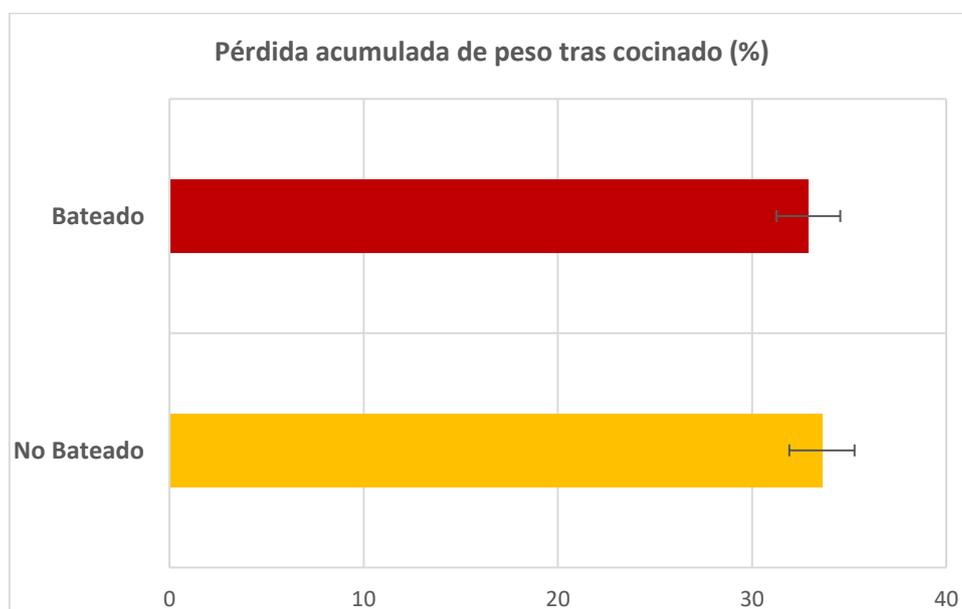
Abreviaturas: ESM: Error Estándar de la Media; M: Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (test de Tukey).

Una vez decidido que el bateo durante 2 min era el método más adecuado, se comparó la ganancia de peso y las pérdidas por cocción alcanzadas con este tratamiento (**figuras 55 y 56**). Es importante destacar que, aunque lo primordial es ofrecer un producto que reúna las mejores características sensoriales, la empresa debe obtener un beneficio. Los calamares sometidos a bateo durante 2 min ganaron menos peso con respecto a los calamares sin tratar, obteniendo una diferencia cercana al 7 %. En cuanto a la pérdida de peso por cocinado, los calamares sin batear tuvieron valores similares que los calamares bateados, por tanto, el bateo no afectó a su rendimiento.

Figura 55. Ganancia en peso y pérdidas por cocción del calamar bateado (2 min) y sin batear

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Figura 56. Pérdidas por cocción del calamar bateado (2 min) y sin batear

Discusión

La congelación tardía de los calamares recién capturados influye en algunas de sus características sensoriales. Esta congelación, denominada “congelación en tierra”, se practica cuando los barcos no disponen de equipos frigoríficos para poder congelar inmediatamente la pesca a bordo, y suele realizarse en las factorías portuarias de la costa de Marruecos y Mauritania donde, una vez recepcionada, la mercancía fresca se clasifica y congela en bloques a -18 °C hasta su transporte a Europa. El tiempo transcurrido desde la pesca hasta la congelación en tierra puede variar desde horas hasta varios días. Almacenar los calamares en hielo hasta su descarga retrasa su degradación, pero no evita que se produzca cierta pérdida de frescura. La exudación adicional debida a congelación tardía o lenta reactiva a las bacterias alterantes.

Jeyasekaran et al. (2009) observaron un aumento del nitrógeno básico volátil en los calamares crudos alternativamente almacenados durante 6, 12 o 18 h en hielo seco, una mezcla de hielo seco (20 %) y hielo líquido (80 %) y hielo líquido (control). Los valores totales de nitrógeno básico volátil aumentaron de forma exponencial de 11,2 a 52,8 mg/ 100 g tras las 18 h de almacenamiento en hielo seco. Sin embargo, para los otros tipos de hielo, los valores de N-BVT se mantuvieron bastante estables en el tiempo. Según esto, el hielo seco sería menos eficiente para controlar los procesos autolíticos del calamar. Se sabe que los cambios en el músculo del calamar ocurren de forma rápida a temperaturas de refrigeración debido a su intensa actividad proteolítica (Kugino et al., 2009; Vaz-Pires y Seixas, 2006). La razón por la que el hielo seco es menos eficaz para enfriar el calamar no está del todo clara. La conductividad térmica del hielo a 0 °C es unas 4 veces mayor que la del agua, lo que debería mejorar la velocidad de enfriamiento, sin embargo, el hielo precisa tomar calor del alimento para descongelarse y el contacto entre el calamar y el hielo podría ser menos eficiente debido a las cavidades de aire que se forman, que actúan como aislante térmico.

Los cambios en el color también están presentes durante el almacenamiento del calamar en hielo. Tras la pesca, el color cambia inmediatamente a rojo púrpura para pasar después a un color blanquecino después del *rigor mortis*. El color de la piel de los calamares está determinado por los órganos cromatóforos, los cuales poseen músculos que se contraen y se relajan provocando los cambios en el color (Okada et al., 2004). En el presente ensayo, la piel de los calamares presentaba una coloración rojiza, al igual que el manto, pigmentado con manchas rosáceas. Los cambios sufridos por el calamar durante el almacenamiento en hielo o por una congelación tardía hacen que también aparezcan fenómenos de decoloración por la oxidación de estos pigmentos. A su vez, la gradual

desnaturalización de las proteínas hace que el típico color blanco translúcido de la carne de calamar vaya cambiando y que aparezcan signos de turbidez (Tomac, 2013). Además, pueden aparecer pigmentos amarillentos a causa de la oxidación de los fosfolípidos presentes en el calamar (Thanonkaew et al., 2006).

Los fenómenos oxidativos relacionados con el deterioro también pueden producir olores y sabores desagradables, antes y después del cocinado, debido a la formación, por un lado, de bases nitrogenadas volátiles, y, por otro lado, de compuestos secundarios oxidados (por ejemplo, aldehídos, cetonas, etc.) a partir de los lípidos altamente insaturados del calamar, cuya oxidación se encuentra relacionada con la aparición de olores rancios y sabores desagradables (Xuan et al., 2017; Zhang et al., 2015). La oxidación de los lípidos tiene lugar en las membranas celulares donde se encuentran principalmente los lípidos en los cefalópodos. Como se ha mencionado, la oxidación de los fosfolípidos puede dar lugar a la producción de aldehídos que causan sabores desagradables, ya que reaccionan con los grupos amino de los fosfolípidos para formar productos del pardeamiento no enzimático. Además, los aldehídos generados en la oxidación de los lípidos reaccionan con los grupos amino de las proteínas y los péptidos, causando cambios en el color (Thanonkaew et al., 2006).

Varios autores han reportado cambios en la calidad sensorial del calamar almacenado en hielo. Lapa-Guimarães et al. (2002) observaron una disminución de la calidad sensorial de especies de *Loligo plei* al observar una progresiva disminución de los atributos sensoriales (color, brillo, opacidad de los ojos, olor, etc.) tras 7 días de almacenamiento en hielo. Sin embargo, los recuentos microbiológicos fueron aceptables hasta el día 16, por lo que la vida útil del calamar estaría condicionada por la pérdida de su calidad sensorial. Vaz-Pires et al. (2008) presentaron resultados similares tras 8 días de almacenamiento en especies de *Illex coindetii*. Estos autores observaron un aumento de TMA tras la captura, acabando por causar olores desagradables en el día 6 y siendo inaceptables en el día 8, además, el nitrógeno no proteico disminuyó un 47,6 % tras 3 días, resultados que concuerdan con los publicados por Lapa-Guimarães et al. (2005), quienes encontraron una reducción del nitrógeno no proteico del 69,7 % tras 9 días de almacenamiento en hielo, atribuida a una posible lixiviación al medio de compuestos nitrogenados solubles.

La mejora del procesado de los productos de la pesca en origen constituye un reto para aumentar la vida útil de los mismos. Debido a la escasez de recursos en las zonas de pesca de África, es difícil introducir ciertas tecnologías para mejorar el proceso. Por ejemplo, la utilización de hielo compuesto de agua electrolizada ha demostrado ser un método eficaz para inhibir el crecimiento bacteriano en

calamares, ya que es un agente conservante y desinfectante más efectivo que el hielo común (Xuan et al., 2017).

La utilización de un sistema que combina el bateo, hielo y sal hace que mejoren y se reduzcan estos daños y contribuye a su conservación. El bateo favorece la rápida entrada de la sal, ya que renueva la capa de salmuera en contacto con el alimento, aunque puede provocar cierta contracción del tejido muscular. Ello se debe a que al aplicar una fuerza mecánica, se estimulan las células musculares y se desencadenan respuestas musculares que mejoran la firmeza del calamar. Sin embargo, el volteo del calamar también puede alterar las células musculares, lo que puede resultar en una pérdida de la integridad celular, un aumento de la permeabilidad de las células y, por tanto, una menor capacidad de retención de agua (Gokoglu et al., 2017).

Por su parte, el cloruro de sodio altera el equilibrio osmótico de las bacterias, que pierden agua para reestablecerlo, ocasionando una disminución de su actividad metabólica y su crecimiento, dependiendo de la etapa de crecimiento y de la temperatura (Cadena., 2019; Martin, 2002). Aplicar altas concentraciones de sal permite alcanzar un mayor grado de inhibición de los microorganismos a nivel celular, si bien puede aportar un sabor excesivamente salado en este tipo de productos.

Conclusión

La utilización de un sistema combinado de bateo, hielo y sal mejora la apariencia, la textura y las cualidades olfato-gustativas del calamar macerado, tanto crudo, como cocinado. Esta técnica puede mejorar la calidad de las materias primas defectuosas congeladas en tierra, aunque sería conveniente evaluar mejor su impacto sobre la calidad y el rendimiento de los productos transformados.

6.2. PELADO MANUAL, MECÁNICO Y QUÍMICO DEL CALAMAR CRUDO

Introducción

La creciente demanda de calamares limpios listos para cocinar puede atribuirse a los actuales hábitos de compra y consumo, donde el tiempo es un recurso muy valioso, por lo que encontrar calamares limpios en el supermercado ahorra tiempo dedicado a su limpieza y preparación en casa. Este proceso puede llegar a ser laborioso y complicado para muchos consumidores y puede retrotraer las ventas de calamar. La industria alimentaria, consciente de estas necesidades, busca desarrollar y ofertar nuevos productos que faciliten su preparación en el hogar, empleando para ello los procesos tecnológicos más apropiados.

En concreto, durante el procesado industrial de los calamares, la presencia de piel o membranas puede afectar negativamente a las propiedades de adhesión de las diferentes coberturas o rebozados empleados, de ahí el interés de encontrar una técnica lo más adecuada posible para eliminar la piel y las membranas del manto del calamar. Las posibilidades son básicamente tres, aplicar un procedimiento manual que implica un mayor grado de manufactura, el pelado mecánico con rodillos abrasivos, y el pelado químico por contacto con hidróxido de sodio y otros productos capaces de degradar la piel. Dentro de este último, se pueden emplear diversas concentraciones en los medios de pelado o en los tratamientos para recuperar el producto. También es posible combinar procedimientos químicos y no químicos.

Objetivo

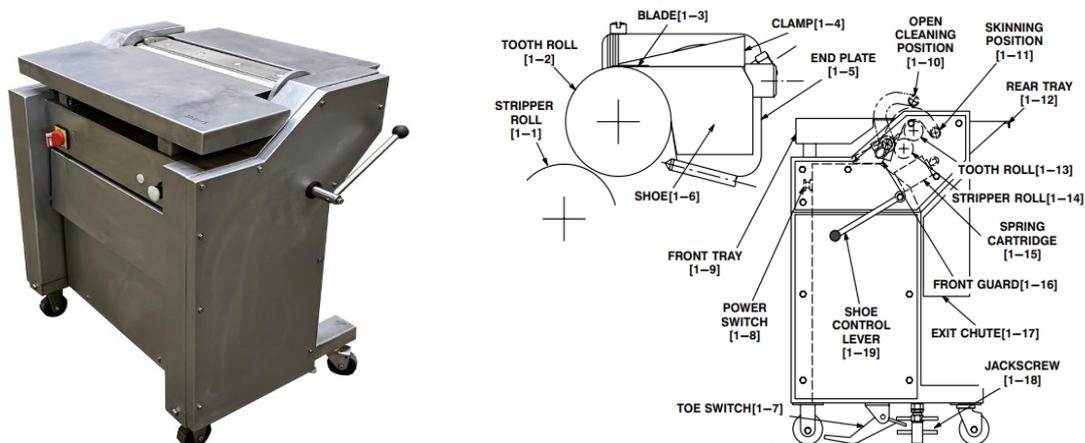
Determinar cuál es la técnica de pelado (manual, mecánico y químico bajo diferentes condiciones) más adecuada para eliminar la piel y las membranas del manto del calamar crudo.

Experimental

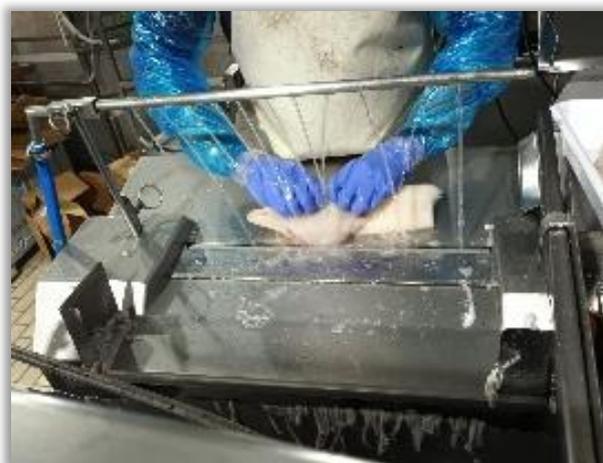
Para este ensayo se utilizaron lotes de 10 kg (manual y mecánico) o 50 kg (químico) de calamares de tamaño homogéneo (400-450 g) descongelados y eviscerados. Los métodos de pelado fueron los siguientes:

- * **Pelado manual:** realizado con los dedos por los operarios de la empresa, ayudándose de agua corriente para facilitar la retirada de las pieles.
- * **Pelado mecánico:** realizado con una máquina peladora de rodillos utilizada para la sepia (Townsend MOD 7500 ID-2115, Mecal S.A, Ribeira, España) (**figura 57 y 58**). Se trata de un equipo fabricado en acero inoxidable, con un nivel de protección frente a la humedad IP65. Posee con un rodillo dentado giratorio que cuenta con una cuchilla desechable situada encima de éste mediante un portacuchillas. Permite modificar el espesor del pelado mediante dos cartuchos de resorte. Además, en la parte inferior del rodillo dentado, tiene un rodillo giratorio separador que conduce los desechos (pieles) hacia un conducto de recolección.
- * **Pelado químico con hidróxido de sodio:** a partir de un procedimiento para manto de potón descrito por Condori (2019), se probaron 3 tratamientos de pelado químico por inmersión en cubas con agua a 20-22°C con diferentes concentraciones de hidróxido de sodio al 30 % (E-524) durante diferentes tiempos (**tabla 9**). A continuación, se aplicó un tratamiento de neutralización del álcali con ácido cítrico.

Figura 57. Máquina peladora de cefalópodos



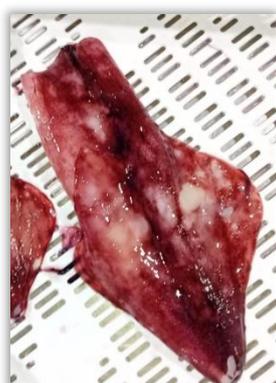
Fuente: <https://mecal-sa.com/es/peladoras-descortezadoras/1016-desveladora-townsend-modelo-7500.html>

Figura 58. Pelado mecánico del calamar**Tabla 9.** Tratamientos de pelado químico por inmersión

	Débil	Intermedio	Intenso
Pelado con (%) hidróxido de sodio	4 % x 4 min	6 % x 6 min	8 % x 8 min
Neutralización con (%) ácido cítrico	Descartada	1 % x 1 min 2 % x 2 min 3 % x 3 min	

Tras el pelado y la neutralización, el calamar se lavó con agua corriente para eliminar posibles residuos y se midió el pH en muestras homogenizadas con agua (pH metro HI991301, Hanna instruments, Gipuzkoa, España). La merma de peso generada durante el pelado se determinó en una báscula híbrida de acero inoxidable AISI 304 (Giropès, Vilamalla, Girona).

El panel sensorial de la empresa realizó una evaluación visual de apariencia para determinar el grado de eliminación de la piel y la membrana interna del calamar. Dada la dificultad para realizar una evaluación cuantitativa, el panel llegó a un consenso para establecer una escala de intensidad no numérica construida a partir de muestras con diferente grado de pelado (**figura 59**). La clasificación final de cada muestra se obtuvo por mayoría simple de los 10 panelistas. Un operario de la empresa instruyó al panel para establecer el grado de dificultad para la retirada de piel y membrana.

Figura 59. Escala de intensidad no numérica utilizada para la evaluación sensorial del grado de pelado**Con piel****Eliminación parcial****Eliminación total****Con membrana****Eliminación parcial****Eliminación total**

Resultados

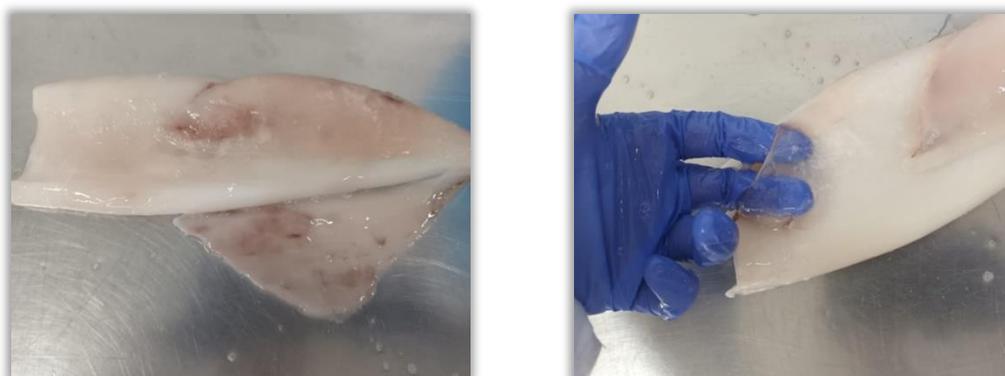
El pelado manual de los calamares generó un producto sin piel, pero con membrana (**figura 60**). La membrana resultó muy difícil de eliminar manualmente debido a su adhesión al manto, su apariencia transparente y su delgadez. Por su parte, los calamares pelados con rodillos también presentaban la membrana y la eliminación de la piel no fue uniforme, quedando restos donde el equipo no era efectivo (**figura 61**). A pesar de que el proceso fue supervisado por operarios especializados en el pelado de sepia, el pelado mecánico resultó ser bastante complicado debido a que la membrana adherida al manto tiene propiedades lubricantes y hace que el calamar resbale. El pelado manual y

mecánico no consiguieron eliminar la membrana objetivo de este ensayo, por lo que se descartaron como único tratamiento.

Figura 60. Calamar sin piel pelado manualmente



Figura 61. Calamar sin piel pelado mecánicamente



Los resultados del pelado químico se muestran en la **tabla 10**. La concentración de hidróxido de sodio y tiempo de inmersión aplicados resultaron factores determinantes para eliminar la membrana del calamar. En primer lugar, se comprobó que ninguno de los 3 niveles de NaOH permitió desprender toda la piel, por lo que se consideró la posibilidad de aplicar un posterior pelado manual. Además, los calamares pelados por este método presentaron una piel más gelatinosa, parcialmente desprendida del manto y con una tonalidad rojiza-púrpura (**figura 62**). Las muestras sometidas a pelado químico débil presentaron más dificultad para retirar la piel de forma manual, ya que ésta estaba casi intacta,

adherida al manto, y conservando la membrana. Sin embargo, para los otros 2 tratamientos, la piel se eliminó con bastante facilidad, sobre todo para el pelado químico intenso (**figura 63**). Se observó que, al eliminar la piel de forma manual, la membrana se desprendía conjuntamente, quedando los calamares prácticamente limpios sin apenas esfuerzo (**figura 64**).

Tabla 10. Resultados del tratamiento de pelado del calamar con NaOH a diferentes concentraciones y tiempos

Tratamiento	Desprendimiento de la piel	Eliminación de la membrana	Dificultad para eliminar la piel
Débil	Parcial	Parcial	Alta
Intermedio	Parcial	Total	Media
Intenso	Parcial	Total	Baja

Figura 62. Apariencia de los calamares pelados mediante diferentes tratamientos con NaOH

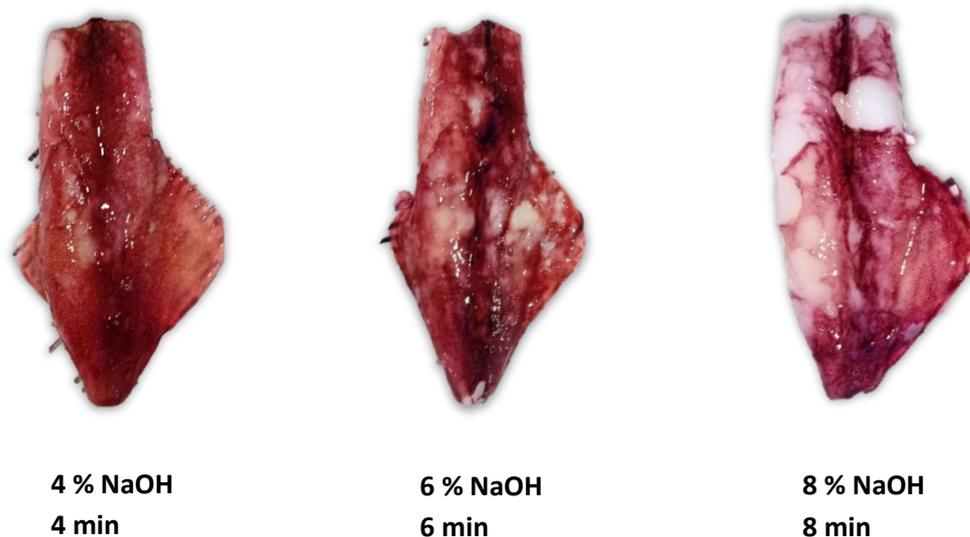


Figura 63. Eliminación de la piel y la membrana de los calamares pelados mediante diferentes tratamientos con NaOH



**6 % NaOH
6 min**



**8 % NaOH
8 min**

Figura 64. Retirada completa de piel y membrana en los calamares pelados mediante diferentes tratamientos con NaOH



**6 % NaOH
6 min**



**8 % NaOH
8 min**

Estos resultados aconsejaron continuar solamente con los tratamientos de pelado químico intermedio e intenso, descartando el tratamiento débil por su menor eficacia para eliminar la piel. Una vez tratados, se neutralizó el producto con ácido cítrico bajo diferentes condiciones, se midió el pH y se calculó la merma de peso generada. Los resultados se muestran en la **tabla 11**.

Tabla 11. Efectos del tratamiento de neutralización con ácido cítrico sobre el pH y el rendimiento en peso del calamar pelado con hidróxido de sodio

Tratamiento con NaOH	Ácido cítrico (%)	Tiempo (min)	pH	Merma (%)
			M	M
Intermedio	1	1	6,78 ^b	7,01 ^c
	2	2	6,23 ^d	7,30 ^c
	3	3	6,01 ^e	9,60 ^b
Intenso	1	1	7,33 ^a	7,42 ^c
	2	2	6,50 ^c	9,34 ^b
	3	3	6,15 ^{de}	10,71 ^a
		ESM	0,06	0,141

Abreviaturas: ESM: Error Estándar de la Media; M: Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (test de Tukey).

Como era de esperar, el pelado químico intenso aumentó el pH del calamar, el cual se redujo tras la neutralización. Los valores más bajos de pH correspondieron a las muestras neutralizadas con ácido cítrico al 3 % durante 3 min, sin apreciar diferencias entre muestras tratadas mediante pelado intermedio (6,01) e intenso (6,15). Cabe destacar que la neutralización con ácido cítrico en condiciones suficientes permitió retornar el pH a un valor cercano al de la materia prima antes del tratamiento.

Las menores pérdidas de peso se obtuvieron con los tratamientos intermedios (1 % x 1 min y 2 % x 2 min) e intenso (1 % x 1 min) de nuevo, con valores cercanos al 7 %. Como la mayor pérdida de rendimiento (10,71 %) correspondió claramente al calamar sometido a pelado intenso y neutralizado con un 3 % de ácido cítrico durante 3 min, es posible afirmar que el pelado químico y la posterior neutralización tuvieron un efecto desfavorable sobre las mermas de peso del calamar.

En cualquier caso, ninguno de los tres procedimientos de pelado consiguió por sí solo eliminar completamente la piel y la membrana del calamar, por lo que se decidió combinar el pelado químico y mecánico para obtener un producto bien pelado que pudiera usarse en otros procesos de elaboración, como el enharinado o para su venta directa como calamar limpio. Se combinó la inmersión con NaOH al 6 % durante 6 min con la neutralización con ácido cítrico al 3 % durante 3 min porque este tratamiento permite eliminar la membrana en su totalidad. La posterior retirada manual de la piel no fue sencilla, si bien el pelado mecánico la eliminó con mucha facilidad. Además, éste último proporcionó un valor de pH final cercano a 6 y un rendimiento aceptable para la empresa, ya que su mayor automatización compensa las mermas adicionales de peso causadas por este tratamiento de pelado químico.

Discusión

Los estudios relacionados con el pelado industrial del calamar común son muy escasos. Habitualmente se aplica un proceso manual de pelado en el calamar gigante o potón del Pacífico en las plantas procesadoras, cuya dificultad sería menor que en el caso del calamar común ya que los mantos son de mayor tamaño. No obstante, el pelado manual requiere de mano de obra especializada y aumenta los costes y el tiempo de procesado, de ahí el interés en agilizar el proceso mediante otros procedimientos, como el pelado químico. En este sentido, Condori (2019) propuso pelar el manto de potón por inmersión en agua caliente (a 90 °C) con NaOH al 4 % durante 4 min y una posterior neutralización con ácido cítrico al 3 % durante 2 min. Al aplicar un tratamiento térmico, las mermas difieren del presente ensayo, presentando una disminución del 20,2 % en peso. El pelado con disoluciones de NaOH a 70-80 °C también se ha utilizado en pescados destinados a conserva, combinado con un posterior lavado con agua a presión para eliminar las pieles y una neutralización con ácido clorhídrico para eliminar residuos alcalinos (Medina, 2012). Otros autores han empleado el uso de hidróxido sódico para facilitar el pelado del jurel (*Trachurus murphyi*), que era lavado con agua potable, obteniendo una composición proximal y sensorial muy similar al mismo producto pelado manualmente.

El hidróxido sódico es una sustancia alcalina con capacidad para degradar las proteínas de la piel del pescado. Puede ablandar la estructura celular y provocar una degradación de la superficie (Ribera et al., 2016), resultando en mayores pérdidas de material comestible. Al aplicar una solución diluida de NaOH sobre la piel del pescado y dejarla actuar durante un tiempo determinado, se produce un ablandamiento de la capa externa de la piel, lo que facilita su retirada manual. Sin embargo, es

importante tener en cuenta algunos aspectos críticos al utilizar este compuesto. El NaOH es una sustancia química corrosiva y debe manipularse con precaución para evitar lesiones en el personal y la contaminación del producto. Además, es fundamental controlar cuidadosamente la concentración de la solución de NaOH y el tiempo de exposición, ya que un exceso puede afectar negativamente a la textura y sabor del producto (Condori, 2019). Por todo ello, es necesaria una posterior neutralización con un ácido débil, pues la presencia de residuos alcalinos ocasiona cambios en el sabor, textura y apariencia de los productos tratados, comprometiendo también la salud de los consumidores (Condori, 2019; Melendreras, 2015) La utilización de ácidos orgánicos, como el ácido cítrico, entre otros, disminuye el pH de los productos transformados debido a su capacidad para donar protones a la solución acuosa, liberando iones de hidrógeno. El control del pH se suele realizar para comprobar que el calamar pelado recupera su pH natural.

Se han utilizado otras soluciones para facilitar el pelado químico de productos de la pesca como la anchoveta (*Engraulis ringens*), introduciendo el producto en soluciones de ácido acético (0,15 %) durante 20 min, que fue neutralizado con bicarbonato de sodio (0,3 %) y posteriormente sometido a un pelado mecánico (Maza y Llave, 2006; Salas et al., 2007). Como se ha visto, la utilización de técnicas combinadas favorece, ayuda y complementa la eliminación de pieles en los productos de la pesca.

Conclusión

La imposibilidad de realizar el pelado completo del calamar mediante un único método obliga a combinar técnicas mecánicas y químicas para obtener el producto deseado, ahorrando en costes de mano de obra y en tiempo de elaboración, ya que el proceso completo es rápido y puede ser escalado a la industria. La combinación de pelado químico con hidróxido de sodio y mecánico con rodillos, por este orden, proporciona un calamar limpio, sin restos de membrana ni piel, apto para un enharinado óptimo y para su venta directa.

6.3. AJUSTE DE LA CONCENTRACIÓN DE CITRATO SÓDICO EN EL MEDIO DE MACERACIÓN

Introducción

La maceración del calamar permite recuperar una parte de los jugos perdidos tras la descongelación y es una etapa obligada si se quieren obtener productos transformados con una textura y un rendimiento aceptables, ya que técnicamente no parece viable transportar los calamares frescos desde las pesquerías de origen en Sudáfrica o Mauritania hasta factorías situadas a miles de km de distancia en Europa. Los medios de maceración aplicados en la industria contienen sales sódicas, sobre todo, cloruro de sodio, que favorece la retención osmótica de agua. También se emplea citrato de sodio, que además de retener agua, actúa como agente tamponador y sinérgico de antioxidante, aumentando el pH y la capacidad de retención de agua de las proteínas musculares. Por tanto, es un agente de maceración que podría mejorar los resultados sin incrementar en exceso los niveles de sodio del producto. No obstante, la capacidad de retención de agua del músculo es limitada y aumentar su concentración en el medio de maceración no garantiza una mejora del rendimiento del calamar crudo o cocinado. La retención osmótica de agua está sujeta a los fenómenos de difusión de los electrolitos disueltos, por tanto, es un agua más fácil de eliminar y existen muchas posibilidades de que la pérdida de capacidad de agua de la carne tras el cocinado arrastre más cantidad de agua y electrolitos. La maceración por inmersión requiere su tiempo, unas 24 h, y puede potenciar los procesos microbiológicos y autolíticos del calamar, cuestión que es necesario controlar.

Objetivo

Determinar cómo afecta un incremento en la concentración de citrato de sodio del medio de maceración por inmersión sobre la composición proximal y la estabilidad del calamar crudo y cocinado.

Experimental

Se procesaron calamares con un peso normalizado (0,25 kg) procedentes de dos pesquerías Atlánticas. El calamar fue descongelado (24 h; ≤ 10 °C), eviscerado, macerado por inmersión (24 h; 0-4 °C) con dos medios diferentes elaborados con NaCl al 3 % y citrato de sodio al 1 % (MaC1) (medio original) o

al 1,5 % (MaC1,5) (medio mejorado), cocinado al vacío en bolsa (65 °C; 30 min) y ultracongelado en un túnel de nitrógeno líquido. Se realizó un amplio estudio con un gran tamaño de muestra (n=108): 9 muestras x 2 orígenes (FAO 34 y 47) x 3 tratamientos de maceración (no tratado, MaC1 y MaC1,5) x 2 procesos (crudo y cocinado). Los parámetros estudiados fueron: composición proximal, nitrógeno básico volátil total, pH y recuentos microbiológicos (microorganismos aerobios mesófilos totales, Enterobacterias, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, Estafilococos coagulasa +) (ver material y métodos).

Resultados

La **tabla 12** muestra la composición proximal de los calamares crudos y cocinados tratados con ambos medios de maceración. Tal como se pretendía, el tratamiento de maceración incrementó el contenido en humedad de los calamares de ambos orígenes. Incrementar en un 0,5 % la concentración de citrato de sodio del medio proporcionó niveles algo mayores de humedad (> 1 %) en muestras crudas FAO 47, pero no en muestras crudas FAO 34. Una vez cocinado, el contenido en humedad del calamar continuó siendo mayor (> 2 %) en el calamar macerado que en el calamar no tratado, registrándose una mejora adicional (1 %) en las muestras FAO 34 tratadas con el medio MaC1,5.

Por el contrario, el contenido total en proteínas (nitrógeno total) del calamar crudo disminuyó claramente con la maceración (alrededor de un 4 %), lo que sugiere que hubo cierta lixiviación de proteínas solubles en agua y/o pérdida de componentes nitrogenados volátiles. El nivel de proteínas bajó algo más en el producto macerado con más citrato, aunque solamente en el calamar crudo FAO 47. La pérdida inicial de proteínas se mantuvo en el producto cocinado, aunque fue más moderada. En este caso, incrementar el nivel de citrato sólo redujo la pérdida de proteínas en el calamar FAO 47. Por tanto, la maceración favoreció la pérdida de nitrógeno en el calamar crudo y cocinado.

El contenido total en lípidos permaneció estable (alrededor del 2 %) en el calamar crudo de ambos orígenes. Tras el cocinado, se produjo un ligero aumento sólo en las muestras tratadas con MaC1,5, que podría estar relacionado con su mayor pérdida de nitrógeno y/o proteínas.

El contenido en cenizas del calamar crudo (alrededor del 1,7-2 %) aumentó ligeramente en las muestras maceradas FAO 47 y no estuvo afectado por el tratamiento de maceración en las muestras FAO 34. Tras el cocinado, el aumento del contenido en cenizas fue más evidente en el calamar macerado de ambos orígenes. Incrementar la concentración de citrato en el medio se reflejó en un

aumento proporcional de cenizas que indicaría una mayor proporción de sales absorbidas por el producto final cocinado.

Tabla 12. Efectos de la maceración con sales de sodio y el cocinado sobre la composición proximal (g/100g) del calamar procedente de dos pesquerías atlánticas

		FAO 47			FAO 34		
		Crudo	Cocinado	ESM	Crudo	Cocinado	ESM
		M	M		M	M	
Humedad	No tratado	81,10 ^c	77,07 ^e		78,56 ^c	76,59 ^d	
	MaC1	84,09 ^b	79,45 ^d	0,187	82,87 ^a	78,26 ^c	0,190
	MaC1,5	85,34 ^a	79,53 ^d		82,65 ^a	79,64 ^b	
Proteínas	No tratado	15,86 ^b	18,63 ^a		18,81 ^b	19,93 ^a	
	MaC1	12,24 ^d	15,78 ^b	0,203	13,35 ^d	16,13 ^c	0,225
	MaC1,5	11,06 ^e	13,98 ^c		14,19 ^d	16,34 ^c	
Lípidos	No tratado	2,01 ^c	3,35 ^b		1,77 ^c	2,67 ^b	
	MaC1	2,06 ^c	3,21 ^b	0,114	1,40 ^c	2,75 ^b	0,101
	MaC1,5	2,37 ^c	3,89 ^a		1,77 ^c	3,29 ^a	
Cenizas	No tratado	1,52 ^d	1,69 ^c		1,55 ^c	1,62 ^c	
	MaC1	1,79 ^c	2,19 ^b	0,025	1,69 ^c	2,00 ^b	0,041
	MaC1,5	1,74 ^c	2,81 ^a		1,77 ^c	2,37 ^a	

Abreviaturas: FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; ESM: Error Estándar de la Media; M: Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (test de Tukey).

La **tabla 13** muestra los valores de nitrógeno básico volátil total y pH de los calamares crudos y cocinados tratados con diferentes medios de maceración. La concentración de nitrógeno básico volátil total, un índice del proceso autolítico que sufre el calamar, aumentó claramente tras la maceración (alrededor de 4 mg/ 100 g) en el producto crudo de ambos orígenes. Ello estuvo acompañado de un pequeño pero significativo aumento del pH en el producto crudo no tratado, aunque no queda claro si el efecto positivo del citrato sobre la degradación de las proteínas del calamar crudo aumenta o no

el pH. Tras el cocinado, la concentración de nitrógeno básico volátil total aumentó fuertemente en el producto de ambos orígenes, aunque no hubo diferencias significativas entre muestras MaC1 y MaC1,5. A diferencia del producto crudo, el tratamiento de maceración no afectó al valor de pH en el calamar cocinado.

Al analizar los efectos de la maceración y el cocinado en el conjunto de la muestra (**tabla 14**), se observó una clara interacción entre ambos tratamientos para todos los parámetros estudiados, sugiriendo cierta asociación entre ellos. La maceración aumentó ligeramente el pH inicial, mejoró la retención inicial de agua y electrolitos y favoreció la lixiviación y/o degradación de las proteínas. Por su parte, el cocinado también aumentó el pH y la lixiviación y/o degradación de las proteínas con una caída en los valores de nitrógeno, si bien, por el contrario, produjo una pérdida de agua (jugo) que incrementó la proporción relativa de otros componentes del calamar. Al final, el contenido en agua tras el cocinado fue bastante mayor en el calamar macerado (> 3 %), que en el calamar no tratado. Como muestran las **figuras 65 y 66**, incrementar en un 0,5 % la concentración de citrato de sodio del medio no mejoró este resultado, debido en parte a que, al aumentar la retención de minerales, se redujeron los porcentajes relativos de otros componentes del calamar, incluido el contenido en humedad.

Tabla 13. Efectos de la maceración con sales de sodio y la cocción al vacío sobre los valores de nitrógeno básico volátil total (mg/100g) y pH de la carne de calamar de dos pesquerías del Atlántico

		FAO 47		FAO 34			
		Crudo	Cocinado	Crudo		Cocinado	
		M	M	ESM	M	M	ESM
	No tratado	10,58 ^d	17,47 ^a		10,64 ^e	16,41 ^b	
NBVT	MaC1	13,65 ^c	16,17 ^{ab}	0,471	12,66 ^d	18,56 ^a	0,319
	MaC1,5	14,41 ^{bc}	16,33 ^{ab}		15,03 ^c	18,11 ^a	
	No tratado	6,68 ^c	7,07 ^{ab}		6,58 ^c	7,05 ^a	
pH	MaC1	6,98 ^b	7,09 ^{ab}	0,028	6,98 ^b	7,07 ^{ab}	0,031
	MaC1,5	7,09 ^{ab}	7,11 ^a		7,15 ^a	7,09 ^{ab}	

Abreviaturas: FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; ESM: Error Estándar de la Media; M: media; NBVT: Nitrógeno Básico Volátil Total.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$.

Tabla 14. Resumen de los efectos de la maceración y el cocinado sobre la composición proximal, Nitrógeno Básico Volátil Total y el pH del calamar (FAO 47 + FAO 34)

		Ma	Co	Ma x Co
Humedad	No tratado			
	MaC1	***	***	***
	MaC1,5			
Proteínas	No tratado			
	MaC1	***	***	**
	MaC1,5			
NBVT	No tratado			
	MaC1	***	***	***
	MaC1,5			
Lípidos	No tratado			
	MaC1	***	***	*
	MaC1,5			
Cenizas	No tratado			
	MaC1	***	***	***
	MaC1,5			
pH	No tratado			
	MaC1	***	***	***
	MaC1,5			

Abreviaturas: FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; O: Origen pesquero; M: Maceración; C: Cocinado.

Niveles de significación: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$.

Figura 65. Pérdida acumulada de agua tras la maceración y el cocinado (con respecto al calamar crudo no tratado)

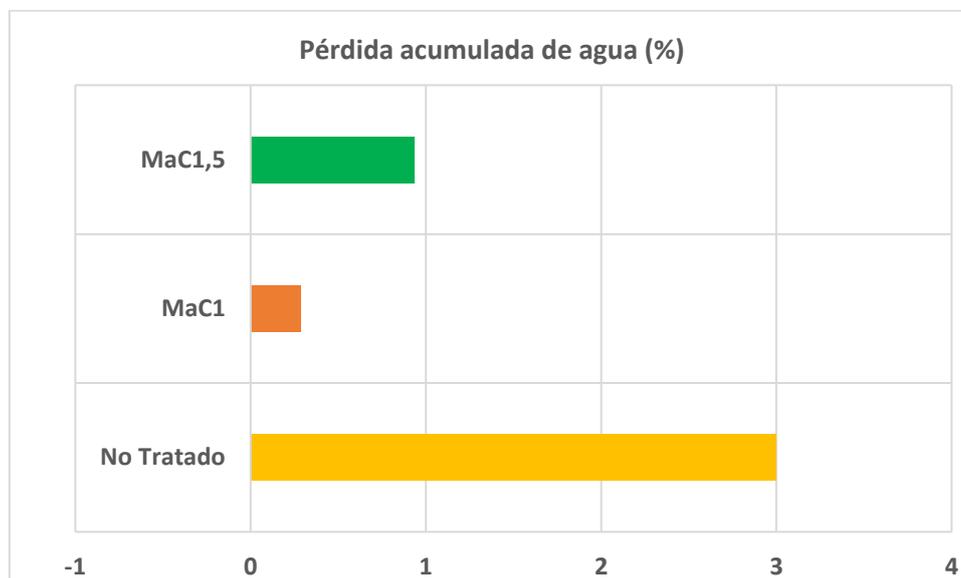
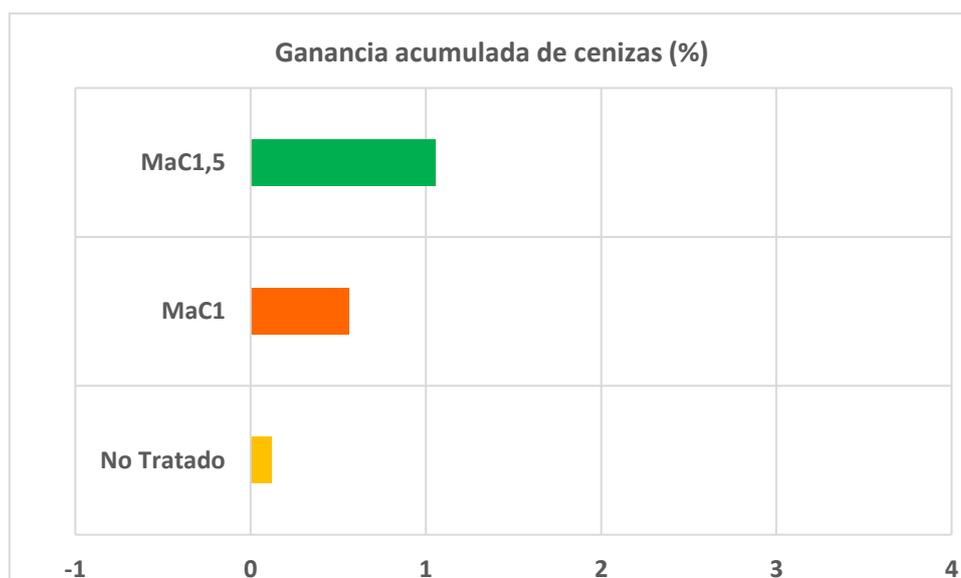


Figura 66. Ganancia acumulada de cenizas tras la maceración y el cocinado (con respecto al calamar crudo no tratado)



Los resultados del análisis microbiológico del calamar cocinado (**tabla 15**) confirmaron que los niveles de contaminación microbiana estaban dentro de los límites establecidos por la normativa vigente. El Reglamento (CE) nº 1441/2007 fija los límites máximos para microorganismos indicadores de contaminación en moluscos cocidos en 10 UFC/ g (1 Log UFC/ g) para *E. coli* y 1000 UFC/g (3 Log UFC/ g) para estafilococos coagulasa positiva, los recuentos de aerobios mesófilos estuvieron por debajo de 2 Log UFC/g y no se detectaron patógenos.

Tabla 15. Resultados del análisis microbiológico del calamar cocinado macerado

	Resultados	Unidades
Aerobios mesófilos totales	2,92	Log UFC/g
Enterobacterias	< 2	Log UFC/g
<i>Salmonella spp.</i>	ND	Detectado/No detectado
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	Detectado/No detectado
<i>Escherichia coli</i>	< 1	Log UFC/g
Estafilococos coagulasa +	< 1	Log UFC/g

Abreviaturas: UFC: Unidades Formadoras de Colonias; ND: No Detectado en 25 g.

Discusión

La maceración por inmersión en tanque es apropiada para piezas pequeñas, como el calamar, donde aplicar multiagujas de inyección es complicado y los tiempos de transferencia de las sales de sodio son relativamente eficientes. La descongelación disminuye la capacidad de retención de agua, lo que favorece la exudación de líquidos que contienen minerales disueltos. En el presente ensayo, los calamares descongelados se drenaron y se eliminaron los exudados para intentar controlar la carga microbiana. La maceración con sales de sodio mejora la retención de líquidos por la carne mediante un mecanismo de retención osmótica. El cloruro de sodio actúa como principal agente retenedor de agua (Gokoglu et al., 2017; Leerahawong et al., 2011), mientras que el citrato de sodio es un agente

tampón que es capaz de alejar el pH del punto isoeléctrico de las proteínas musculares, lo que facilita su rehidratación (Dublán-García et al., 2006). De hecho, el pH del calamar crudo aumentó ligeramente cuando se maceraron, probablemente debido a la acción tampón del citrato de sodio y la probable formación de trimetilamina a partir de la hidrólisis de proteínas (Pastorelli et al., 2012). Además, se pueden utilizar otros agentes que mejoran la retención de jugo, como fosfatos y carragenano (Guldas y Hecer, 2012). Como se ha visto, la maceración incrementa simultáneamente la retención de agua y el contenido en cenizas de calamar debido a la retención osmótica del agua por el sodio. Usar citrato de sodio puede mejorar estos medios de maceración con cloruro de sodio. Por ejemplo, Guldas y Hecer (2012) registraron aumentos de peso del 4,0-4,7 % en calamar cocido en agua a 100 °C durante 5 min y posteriormente macerado con un medio con ácido cítrico (3,5 %) y NaCl (2 %).

Incrementar la concentración de citrato y cloruro en el medio no tiene el mismo impacto sobre la aportación de sodio, ya que éste contribuye menos al peso total de la molécula de citrato trisódico (E-331iii) (3 x 22,99 de 294,10 g/ mol) que a la de cloruro monosódico (22,99 de 58,44 g/ mol). Lo iones de sodio contribuyen a fijar electrolíticamente el agua presente en las capas de hidratación de las proteínas e incrementan la capacidad de retención de agua del músculo. La exposición del calamar al medio genera un gradiente osmótico, los electrolitos tienden a equilibrarse y el músculo, que apenas contiene sodio, absorbe sodio desde el medio.

Como se ha visto, tras la maceración también se produce un claro descenso de la proporción de proteínas. Esto podría deberse a varias razones. Lo primero es que aumenta la proporción relativa de agua y cenizas. Además, el músculo contiene proteínas sarcoplásmicas y enzimas solubles en agua que pueden pasar al efluente de maceración, al igual que las proteínas miofibrilares solubilizadas por las sales sódicas de maceración. Por último, una pequeña parte del nitrógeno muscular podría también perderse con las bases volátiles formadas por los fenómenos de autólisis. El calentamiento produce una desnaturalización irreversible de las proteínas musculares asociada a una pérdida de jugos que incrementa la base seca del producto. Ello explicaría por qué aumenta la proporción relativa de todos los componentes del calamar con respecto al producto crudo, macerado o no, excepto el agua.

El cocinado a temperatura moderada, como la usada en este ensayo, resultó más que suficiente para prevenir microbios en el calamar previamente macerado, lo cual es importante, ya que los microorganismos se pueden reactivar por su uso inadecuado del producto descongelado en el hogar, aunque el producto esté pasteurizado. Por ejemplo, se ha visto que la cocción al vacío a 65 °C durante 5 min es suficiente para inhibir las bacterias patógenas (p. e. *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*,

Clostridium perfringens y *L. monocytogenes*) en filetes de salmón *sous vide* mantenidos a 2 °C durante 45 días (González-Fandos et al., 2005). Por lo tanto, las condiciones de cocción utilizadas en el presente estudio (65 °C durante 30 min) deberían garantizar la calidad microbiana en un producto de calamar cocido y congelado y que el producto final sea seguro para el consumo humano, brindando la tranquilidad a los consumidores en cuanto a su calidad y seguridad microbiológica.

Por tanto, aumentar el citrato de sodio podría aportar ciertos beneficios tecnológicos a este tipo de medios de maceración. Sin embargo, los resultados obtenidos con el medio enriquecido en citrato de sodio no fueron muy prometedores en las condiciones ensayadas, se vio que el calamar crudo retiene más agua tras la maceración, pero ésta se iguala tras el cocinado. Como se ha comentado, el agua sujeta a fenómenos de retención osmótica puede ser ganada o perdida con relativa facilidad y, además, el cocinado reduce la capacidad de retención de agua ligada a las proteínas musculares.

Conclusión

La maceración del calamar crudo con sales de sodio cumple con su objetivo tecnológico, ya que la ganancia de agua y electrolitos alcanzada en el producto crudo se mantiene una vez cocinado. El producto macerado listo para el consumo contiene más agua y minerales, lo que puede mejorar su jugosidad y rendimiento en peso. Incrementar el nivel de citrato de sodio en el medio no conduce a mejoras relevantes y puede aumentar la ingesta de sodio con este producto, como se verá en el siguiente ensayo.

6.4. MONITORIZACIÓN DEL CONTENIDO MINERAL DURANTE EL PROCESADO DEL CALAMAR

Introducción

Como se ha comentado, la composición mineral es importante para la calidad de los calamares por motivos tecnológicos, nutricionales y toxicológicos. Por un lado, una excesiva presencia de metales pesados contaminantes, principalmente mercurio, cadmio y plomo, representan una amenaza para la salud pública, ya que su exposición a largo plazo puede provocar la acumulación de niveles tóxicos en el organismo. Los niveles de exposición bajos e intermedios se asocian con una toxicidad crónica, lo que resalta la importancia de detectar estos metales en los alimentos. Por otro lado, el tratamiento de calamares con sales sódicas regula la capacidad de retención de agua del producto, pero también puede incrementar en exceso la ingesta de sodio. El sodio es un mineral esencial para el cuerpo humano, si bien un exceso de ingesta puede producir efectos negativos en la salud, ya que incrementa la presión arterial y el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Por estas razones, las autoridades sanitarias recomiendan limitar la ingesta de sodio y promover una dieta equilibrada que incluya una cantidad adecuada de este mineral. La maceración de los calamares puede favorecer la absorción y/o lixiviación de minerales, que a su vez pueden perderse con los jugos de cocción, cuestión objeto de estudio.

Objetivo

Determinar cómo afectan los tratamientos de maceración y cocinado a los niveles de minerales del músculo del calamar común de dos orígenes.

Experimental

Se trata de una continuación del experimento anterior. Se procesaron calamares con un peso normalizado (0,25 kg) procedentes de dos zonas pesqueras diferentes en el océano Atlántico (FAO 34 y 47). El calamar fue eviscerado, macerado mediante inmersión en tanque con dos medios diferentes elaborados con un 3 % de cloruro de sodio y un 1 % (MaC1) o un 1,5 % (MaC1,5) y cocinado en su propio jugo empleando una bolsa termorresistente. El contenido en macro y micro minerales se determinó en muestras de calamar crudo y cocinado mediante ICP-OES o ICP/MS (Cd, Hg y Pb).

También se analizaron los medios de maceración. El experimento consistió en un diseño factorial aleatorio con la maceración y el cocinado como tratamientos principales. El tamaño de la muestra fue $n=108$ (9 muestras x 2 orígenes x 3 maceración x 2 cocinado).

Resultados

La **tabla 16** muestra el contenido mineral de los medios de maceración empleados, incluyendo a las sales y el agua del grifo. Como puede comprobarse, estos medios aportaban sobre todo Na procedente del cloruro y del citrato, aunque también contenían impurezas, destacando el As y trazas metálicas típicas de tuberías, aunque a muy bajas concentraciones.

Tabla 16. Contenido en minerales de los medios de maceración utilizados

Macro	g/ 100 g		Micro	>1 mg/ kg		Tóxicos	mg/ kg	
	M1	M1,5		M1	M1,5		M1	M1,5
Ca	< 0,01	0,03	Al	0,99	2,45	As	1,22	0,95
K	0,17	0,23	Fe	0,53	4,78	Cd	< 0,01	< 0,01
Mg	< 0,01	< 0,01	Si	1,80	2,02	Pb	< 0,01	< 0,01
Na	21,90	27,86	Sr	1,19	14,36	Hg	< 0,01	< 0,01
P	< 0,01	< 0,01	Zn	1,38	0,93			

Límites de Cuantificación (LC): 0,01 g/100 g (macrominerales), 0,1 mg/ kg (Al, Fe y Si) y 0,01 mg/ kg (resto de microminerales).

No se muestran concentraciones entre 0,01 y 0,1 mg/ kg (Be, Bi, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Rb y Ti).

Las **tablas 17 y 18** muestran el efecto de la maceración y el cocinado sobre el contenido mineral de los calamares. Los macrominerales más abundantes en el calamar fueron Na, seguido de largo por P, S y K. Como era de esperar, la maceración aumentó el contenido en Na del calamar crudo, especialmente al usar el medio con más citrato de sodio (MaC1,5), y redujo el nivel de la mayor parte de los otros macrominerales, sobre todo de aquellos más abundantes, como K, P y S. En cambio, los niveles de Mg y Ca, mucho menores, fueron bastante similares en muestras crudas tras la maceración. Los niveles de lixiviación de minerales que presentaban ausencia o en bajas concentraciones en el medio de maceración fueron similares para muestras crudas tratadas con MaC1 y MaC1,5.

En las muestras no tratadas, el cocinado produjo una drástica disminución de los niveles de Na, que probablemente pasó al jugo expulsado por los calamares, disminuyó la concentración de P, S y Mg, y apenas afectó al resto. Las muestras MaC1,5 cocinadas continuaron presentando una mayor concentración de Na, una menor concentración de K y valores similares de Ca, Mg, P y S. En general, estos resultados fueron bastante similares para los calamares de ambos orígenes, si bien las muestras FAO 47 cocinadas contenían más Na que las FAO 34 al emplear el medio MaC1,5, lo que no concuerda del todo con los valores obtenidos en crudo.

Tabla 17. Efectos de la maceración con sales de sodio y la cocción al vacío sobre el contenido en macrominerales (g/100 g) del calamar procedente de dos pesquerías atlánticas

		FAO 47			FAO 34		
		Crudo	Cocinado		Crudo	Cocinado	
		M	M	ESM	M	M	ESM
Ca	No tratado	0,03 ^a	0,01 ^b		0,02	0,02	
	MaC1	0,02 ^{ab}	0,02 ^{ab}	0,003	0,02	0,02	0,004
	MaC1,5	0,03 ^a	0,02 ^{ab}		0,02	0,02	
K	No tratado	0,16 ^a	0,17 ^a		0,29 ^a	0,17 ^b	
	MaC1	0,06 ^b	0,10 ^b	0,012	0,07 ^c	0,10 ^c	0,011
	MaC1,5	0,06 ^b	0,09 ^b		0,11 ^c	0,08 ^c	
Mg	No tratado	0,05 ^a	0,02 ^c		0,05 ^a	0,03 ^c	
	MaC1	0,03 ^b	0,03 ^b	0,002	0,04 ^{bc}	0,03 ^c	0,002
	MaC1,5	0,04 ^b	0,03 ^{bc}		0,04 ^{ab}	0,04 ^{ab}	
Na	No tratado	0,48 ^{bc}	0,34 ^c		0,48 ^b	0,21 ^c	
	MaC1	0,55 ^{ab}	0,43 ^{bc}	0,042	0,47 ^b	0,27 ^c	0,040
	MaC1,5	0,70 ^a	0,59 ^{ab}		0,80 ^a	0,37 ^{bc}	
P	No tratado	0,28 ^a	0,12 ^b		0,29 ^a	0,18 ^b	
	MaC1	0,11 ^b	0,14 ^b	0,021	0,13 ^b	0,14 ^b	0,016
	MaC1,5	0,14 ^b	0,15 ^b		0,16 ^b	0,15 ^b	
S	No tratado	0,30 ^a	0,17 ^b		0,30 ^a	0,21 ^b	
	MaC1	0,19 ^b	0,18 ^b	0,015	0,20 ^b	0,18 ^b	0,016
	MaC1,5	0,21 ^b	0,19 ^b		0,23 ^b	0,19 ^b	

Abreviaturas: FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; M: Media; ESM: Error Estándar de la Media; O: Origen pesquero; M: Maceración; C: Cocinado.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$.

Límite de cuantificación (LC): 0,001 g/ kg.

Los microminerales más abundantes en el calamar crudo no tratado fueron Si> Zn> Fe> Al> Sr> Cu> Mn (FAO 47) y Zn> Si> Mn> Sr> Fe> Cu> Al (FAO 34). El contenido en microminerales disminuyó con la maceración en algunos casos, sobre todo en muestras crudas MaC1, produciéndose cierta lixiviación de diferentes elementos con el medio de maceración. Por ejemplo, la concentración de un metal abundante como el Zn bajó de 11,0-11,7 a 7,5-8,3 mg/ kg. Tras el cocinado, los microminerales más abundantes en las muestras no tratadas continuaron siendo Si> Zn> Fe> Cu> Sr> Al> Mn (FAO 47) y Zn> Si> Sr> Mn> Fe> Cu> Al (FAO 34). El cocinado solo produjo una ligera concentración de algunos microminerales que probablemente apenas pasaron al jugo y no afectó a otros. Por ejemplo, la concentración de elementos abundantes como Zn o Si fue bastante similar en muestras cocinadas no tratadas, MaC1 y MaC1,5.

En relación con los elementos tóxicos, los niveles de Hg y Pb fueron muy bajos y sus cambios no fueron relevantes. En cambio, la maceración con ambos medios produjo cierta lixiviación de As y Cd de los calamares crudos, si bien después se produjo una reconcentración sobre todo del Cd tras el cocinado, que podrían tener cierta dificultad para ser eliminados a través del jugo del calamar.

Tabla 18. Efectos de la maceración con sales de sodio y la cocción al vacío sobre el contenido en microminerales (mg/kg) del calamar procedente de dos pesquerías atlánticas

		FAO 47			FAO 34		
		Crudo	Cocinado		Crudo	Cocinado	
		M	M	ESM	M	M	ESM
Al	No tratado	3,72	2,14		0,74	0,97	
	MaC1	1,35	1,46	0,443	0,98	0,69	0,204
	MaC1,5	1,99	1,26		1,13	0,68	
As	No tratado	1,53 ^a	1,45 ^a		1,37 ^a	1,11 ^a	
	MaC1	0,52 ^b	0,52 ^b	0,141	0,56 ^b	0,55 ^b	0,122
	MaC1,5	1,14 ^a	0,51 ^b		0,90 ^{ab}	0,41 ^b	
B	No tratado	1,07 ^a	0,71 ^{bc}		1,39 ^a	0,84 ^b	
	MaC1	0,68 ^{bc}	0,77 ^{abc}	0,080	0,78 ^b	0,71 ^b	0,107
	MaC1,5	0,88 ^{ab}	0,44 ^c		1,02 ^{ab}	0,64 ^b	
Cd	No tratado	0,23 ^b	0,46 ^a		0,09 ^{bc}	0,17 ^a	
	MaC1	0,07 ^c	0,18 ^b	0,018	0,04 ^{cd}	0,14 ^{ab}	0,014
	MaC1,5	0,07 ^c	0,21 ^b		0,02 ^d	0,14 ^{ab}	
Cr	No tratado	0,04 ^{ab}	<LC ^b		0,03 ^a	<LC ^b	
	MaC1	0,05 ^a	<LC ^b	0,011	0,02 ^a	<LC ^b	0,007
	MaC1,5	0,03 ^{ab}	<LC ^b		0,03 ^a	<LC ^b	
Co	No tratado	0,05	0,05		0,04 ^{ab}	0,05 ^{ab}	
	MaC1	0,02	0,06	0,012	0,02 ^b	0,06 ^a	0,009
	MaC1,5	0,01	0,02		0,01 ^b	0,06 ^a	
Cu	No tratado	2,85 ^a	2,39 ^a		1,42 ^{ab}	1,79 ^a	
	MaC1	0,83 ^b	0,99 ^b	0,196	0,73 ^c	1,06 ^{bc}	0,121
	MaC1,5	2,12 ^a	0,92 ^b		1,07 ^{bc}	0,98 ^{bc}	
Fe	No tratado	3,82 ^a	2,55 ^{ab}		1,46	2,34	
	MaC1	2,17 ^{ab}	2,12 ^{ab}	0,529	1,44	1,67	0,370
	MaC1,5	2,58 ^{ab}	1,36 ^b		1,35	2,04	
Hg	No tratado	0,02 ^a	0,01 ^b		0,02	0,01	
	MaC1	< LC ^b	0,01 ^b	0,003	0,02	0,01	0,004
	MaC1,5	0,01 ^b	0,01 ^b		0,01	0,01	
Li	No tratado	0,12 ^b	0,05 ^b		0,04 ^d	0,10 ^c	
	MaC1	0,15 ^{ab}	0,14 ^{ab}	0,012	0,11 ^{bc}	0,12 ^{bc}	0,011
	MaC1,5	0,17 ^a	0,12 ^b		0,18 ^a	0,15 ^{ab}	

Mn	No tratado	2,57 ^a	1,26 ^c		2,63 ^a	2,48 ^{ab}	
	MaC1	1,75 ^{bc}	1,89 ^{bc}	0,151	1,89 ^{ab}	1,77 ^b	0,187
	MaC1,5	2,05 ^{ab}	1,78 ^{bc}		2,21 ^{ab}	1,75 ^b	
Ni	No tratado	0,03	0,02		0,01	0,02	
	MaC1	0,03	0,02	0,007	0,05	0,01	0,009
	MaC1,5	0,01	0,02		0,02	0,04	
Pb	No tratado	0,02	0,05		< LC ^b	0,05 ^a	
	MaC1	0,02	0,08	0,026	0,01 ^b	0,06 ^a	0,009
	MaC1,5	0,01	0,08		< LC ^b	0,07 ^a	
Rb	No tratado	1,02 ^a	0,56 ^b		1,78 ^a	0,65 ^{bc}	
	MaC1	0,28 ^c	0,41 ^{bc}	0,056	0,43 ^{cd}	0,36 ^d	0,056
	MaC1,5	0,44 ^{bc}	0,38 ^{bc}		0,75 ^b	0,30 ^d	
Se	No tratado	0,26 ^a	0,16 ^{ab}		0,22 ^a	0,20 ^{ab}	
	MaC1	0,14 ^b	0,11 ^b	0,024	0,13 ^c	0,12 ^c	0,017
	MaC1,5	0,16 ^b	0,10 ^b		0,16 ^{bc}	0,14 ^{bc}	
Si	No tratado	11,43	13,51		3,53 ^b	4,75 ^{ab}	
	MaC1	5,93	9,07	2,246	4,66 ^{ab}	5,33 ^{ab}	1,023
	MaC1,5	9,65	10,50		8,54 ^a	5,53 ^{ab}	
Sr	No tratado	3,44	2,35		2,54	3,02	
	MaC1	3,15	3,12	0,200	3,38	2,89	0,302
	MaC1,5	3,08	2,64		3,02	2,71	
Ti	No tratado	0,15	0,25		0,04	0,10	
	MaC1	0,06	0,16	0,057	0,05	0,09	0,134
	MaC1,5	0,10	0,22		0,07	0,39	
Tl	No tratado	0,02 ^a	< LC ^b		0,03 ^a	< LC ^b	
	MaC1	0,01 ^{ab}	< LC ^{ab}	0,005	0,03 ^a	< LC ^b	0,009
	MaC1,5	0,02 ^{ab}	< LC ^b		0,01 ^a	< LC ^b	
Zn	No tratado	10,99 ^a	10,21 ^a		11,72 ^a	12,18 ^a	
	MaC1	7,45 ^b	9,75 ^{ab}	0,749	7,48 ^b	9,78 ^{ab}	0,765
	MaC1,5	8,32 ^b	9,53 ^{ab}		8,14 ^b	10,33 ^{ab}	

Abreviaturas: FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$.

Límite de cuantificación (LC): 0,1 mg/ kg (Al, Fe y Si) y 0,01 mg/ kg (resto).

La **tabla 19** muestra los efectos generales de la maceración y el cocinado sobre el conjunto de la muestra. La maceración con sales sódicas, o no afectó, o bien produjo una lixiviación de los minerales del calamar salvo para el Na, Mg y Li aportado por las sales de maceración. El cocinado favoreció la concentración de algunos elementos que parecen tener cierta dificultad para pasar al jugo, entre ellos, Mg, Cd, Tl y Zn, produjo cierta lixiviación del Na y de otros elementos como Ca, P, S, As, B, Cr, Cu, Hg, Mn, Rb y Se, y no afectó al resto. Se observaron interacciones significativas ($p < 0,05$) entre los efectos de la maceración y el cocinado para todos los macrominerales excepto el Ca, y para algunos microminerales (Cd, Cu, Al, Li, Pb, B y Hg), lo que no ayuda a aclarar los resultados obtenidos.

Tabla 19. Resumen de efectos de la maceración y el cocinado sobre el contenido mineral del calamar (FAO 47 + FAO 34)

	M	C	M*C		M	C	M*C		M	C	M*C
Ca	NS	***	NS	Mg	NS	***	***	Na	***	***	***
K	***	NS	***	P	***	***	***	S	***	***	***
Al	NS	NS	NS	As	***	**	*	B	***	***	***
Cd	***	***	*	Cr	NS	***	NS	Co	NS	***	NS
Cu	***	NS	*	Fe	**	NS	NS	Hg	NS	***	*
Li	***	NS	NS	Mn	**	***	*	Ni	NS	NS	NS
Pb	NS	***	NS	Rb	***	***	***	Se	**	***	NS
Si	NS	NS	NS	Sr	NS	NS	NS	Ti	NS	NS	NS
Tl	NS	***	NS	Zn	***	**	NS				

Abreviaturas: FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; O: Origen pesquero; M: Maceración; C: Cocinado.

Niveles de significación: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ^{NS} $p > 0,05$.

En rojo: lixiviación; en verde: concentración.

La ingesta dietética diaria recomendada para los macro y micro minerales se presenta en las **tablas 20 y 21**. En general, la ingesta del calamar cocinado para un consumidor adulto cubría buena parte de la IDR para Na, Mg, Zn y Mn, mientras que fue menor para otros minerales como Ca, K, As, Cu o Fe. La maceración modificó la ingesta mineral de calamar para Na y Mg, cuyo IDR aumentó un 11 % y un 4 %, respectivamente. El resto de los elementos prácticamente no sufrieron alteraciones.

Tabla 20. Ingesta total y porcentaje cubierto (entre paréntesis) de la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) de macrominerales seleccionados mediante el consumo de 100 g de calamar cocinado por un consumidor adulto de 60 kg

		FAO 47		FAO 34		IDR
		M		M		
Ca	No tratado	27	(2,7)	16	(1,6)	1.000 mg
	MaC1	21	(2,1)	21	(2,1)	
	MaC1,5	27	(2,7)	11	(1,1)	
K	No tratado	163	(3,5)	91	(1,9)	4.700 mg
	MaC1	57	(1,2)	99	(2,1)	
	MaC1,5	35	(0,7)	170	(3,6)	
Mg	No tratado	53	(15,1)	32	(9,1)	350 mg
	MaC1	32	(9,1)	35	(10,0)	
	MaC1,5	38	(10,9)	23	(6,6)	
Na	No tratado	475	(20,7)	340	(14,8)	2.300 mg
	MaC1	553	(24,0)	427	(18,6)	
	MaC1,5	704	(30,6)	594	(25,8)	
P	No tratado	121	(17,3)	176	(25,1)	700 mg
	MaC1	141	(20,1)	143	(20,1)	
	MaC1,5	150	(21,4)	150	(21,4)	
S	No tratado	169	(11,3)	212	(14,1)	1.500 mg
	MaC1	179	(11,9)	184	(12,3)	
	MaC1,5	195	(13,0)	187	(12,5)	

IDR: Ingesta Diaria Recomendada; datos publicados por el Instituto de Medicina de los Estados Unidos de América (2011).

Tabla 21. Ingesta total y porcentaje cubierto (entre paréntesis) de la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) de microminerales seleccionados mediante el consumo de 100 g de calamar cocinado por un consumidor adulto de 60 kg

		FAO 47		FAO 34		IDR
		M		M		
As	No tratado	51	(1,7)	41	(1,4)	3.000 µg
	MaC1	52	(1,7)	55	(1,8)	
	MaC1,5	145	(4,8)	111	(3,7)	
B	No tratado	71	(0,4)	64	(0,3)	20.000 µg
	MaC1	77	(0,4)	71	(0,4)	
	MaC1,5	44	(0,2)	84	(0,4)	
Cu	No tratado	92	(0,9)	98	(1,0)	10.000 µg
	MaC1	99	(1,0)	106	(1,1)	
	MaC1,5	239	(2,4)	179	(1,8)	
Fe	No tratado	255	(0,6)	204	(0,5)	45.000 µg
	MaC1	212	(0,5)	204	(0,5)	
	MaC1,5	136	(0,3)	234	(0,5)	
Mn	No tratado	178	(8,7)	175	(8,5)	2.050 µg
	MaC1	189	(9,2)	177	(8,6)	
	MaC1,5	126	(6,1)	248	(12,1)	
Ni	No tratado	2	(0,2)	2	(0,2)	1.000 µg
	MaC1	2	(0,2)	1	(0,1)	
	MaC1,5	2	(0,2)	4	(0,4)	
Se	No tratado	10	(2,0)	14	(2,8)	300 µg
	MaC1	12	(2,4)	12	(2,4)	
	MaC1,5	16	(3,2)	20	(4,0)	
Zn	No tratado	953	(9,5)	1033	(10,3)	10.000 µg
	MaC1	976	(9,8)	978	(9,8)	
	MaC1,5	1020	(10,2)	1218	(12,2)	

IDR Ingesta Diaria Recomendada; datos publicados por el Instituto de Medicina de los Estados Unidos de América (2011).

Tal y como se muestra en la **tabla 22**, los valores de la Ingesta Semanal Estimada (en inglés, EWI) y el Equivalente a la Ingesta Semanal Tolerable Provisional (en inglés, PTWI) para los principales metales pesados tóxicos demostraron que los tratamientos de maceración son capaces de reducir la ingesta de metales como el Cd cuando éste se haya presente en los calamares. Los resultados para Hg y Pb fueron insignificantes desde un punto de vista toxicológico.

Tabla 22. Ingesta Semanal Estimada (EWI) ($\mu\text{g kg}^{-1}$ de peso corporal) e Ingesta Semanal Tolerable Provisional (PTWI) equivalente (expresada como porcentaje cubierto) de Pb, Cd y Hg por consumo de calamar cocinado

			FAO 47		FAO 34	
	PTWI		EWI	% PTWI	EWI	% PTWI
Cd	2,5 μg	No tratado	0,52	20,80	0,20	8,00
		MaC1	0,21	8,40	0,15	6,00
		MaC1,5	0,23	9,20	0,16	6,40
Hg	7 μg	No tratado	0,01	0,14	0,01	0,14
		MaC1	0,01	0,14	0,01	0,14
		MaC1,5	0,01	0,14	0,01	0,14
Pb	25 μg	No tratado	0,06	0,24	0,06	0,24
		MaC1	0,09	0,36	0,07	0,28
		MaC1,5	0,09	0,36	0,08	0,11

Ingesta semanal probable tolerable (PTWI) de Cd, Hg y Pb (EFSA, 2011; WHO, 2003).

Ingesta semanal estimada (EWI) ($\mu\text{g/ kg p.v.}$) de Pb, Cd y Hg por consumo de calamar cocinado (Kalogeropoulos et al., 2012).

Discusión

El origen pesquero puede dar lugar a algunas diferencias en Na, K, Mg y otros minerales del calamar. Las cantidades de minerales acumulados en los cefalópodos pueden variar dependiendo del animal (especie, variedad, tamaño corporal, edad, tejidos y órganos específicos) y de factores ambientales

(dieta animal y contaminación del agua en la pesca) (Duysak y Uğurlu, 2017). Entre ellos, la dieta animal sería especialmente importante, ya que el calamar es una especie carnívora con baja capacidad metabólica y cierta tendencia a acumular minerales (Torrinha et al., 2014; Vieira et al., 2020). Por lo tanto, cabe esperar que la composición de las materias primas que proceden de pesquerías muy distantes entre sí pueda variar. Como se ha visto, el músculo del calamar crudo no tratado ya contenía una cantidad considerable de sodio que podría proceder de pretratamientos a bordo con sales sódicas, o del lavado de los ejemplares con agua marina. El sodio fue con diferencia el mineral más abundante en el calamar, coincidiendo con otros estudios (Torrinha et al., 2014), y también contenía niveles relevantes de fósforo y azufre, dos elementos que integran varias sales, proteínas, fosfolípidos y otras moléculas. Las aguas y sedimentos marinos también pueden contener otras sales, por lo que los calamares pueden acumular pequeñas cantidades de otros minerales, como Ca, Mg, Zn, Cu, Fe o Mn, entre otros (Torrinha et al., 2014).

Se ha estudiado el contenido mineral en calamares chinos (*Loligo chinensis*), del Pacífico (*Ommastrephes bartramii* y *Dosidicus gigas*), Atlántico (*Illex argentinus*), Mediterráneo (*Loligo vulgaris*) y del mar del Japón (Czech y Stachyra, 2013; Jiao et al., 2018; Kalogeropoulos et al., 2012). A pesar de las diferencias existentes en el peso corporal y el origen, de estos estudios se puede extraer que el Zn (7,1-14,8 mg/ kg), Fe (6,0-10,0 mg/ kg) y Cu (0,8-5,5 mg/ kg) son los microminerales que predominan en la carne de calamar, coincidiendo con el presente estudio. Las concentraciones (mg/ kg) de metales tóxicos reportadas por los autores antes mencionados para el calamar crudo fueron Cd (0,02-1,28); Hg (0,01-0,05), Pb (0,03-0,10) y As (2,1-22,0). El calamar del Atlántico analizado en el presente estudio estaría en la parte inferior de estos rangos.

La maceración aumentó sobre todo el contenido de sodio para favorecer la retención de agua, si bien favoreció la lixiviación de varios macro y micro minerales a través de los efluentes de maceración. Hubo algunas excepciones al respecto, como el aluminio, que estaba más concentrado en el medio de maceración que en el calamar. En cualquier caso, la presencia de impurezas en las sales de la maceración no parece jugar un papel relevante en el contenido mineral del calamar crudo macerado. La información publicada sobre el contenido mineral de los productos macerados a base de calamar es muy escasa. En un ensayo anterior (Fernández et al., 2021), se inyectó una solución de maceración que contenía 13 g de sales de sodio por kg (3,1 g Na/ kg) en tentáculos de calamar gigante que luego se cocinaron en un caldo sazonado. Como resultado, los tentáculos inyectados alcanzaron un nivel de sodio bastante más bajo (0,15 g Na/ 100 g) que en este estudio. Ambos ensayos coinciden en que la

carne cruda de calamar del Atlántico (macerado o no) y del Pacífico (macerado) tienen un perfil micromineral similar: predominio de Zn sobre otros metales y escasa presencia de metales tóxicos.

Los efectos del cocinado sobre el contenido mineral del calamar estarían estrechamente relacionados con la lixiviación de minerales a través el jugo y/o con su concentración por la deshidratación de la carne (Fernández, 2023). Como se ve en las **figuras 67 y 68**, el nivel de macrominerales del calamar disminuyó tras el cocinado. En cambio, la concentración de microminerales fue bastante similar antes y después del cocinado. Esto sugiere que, por un lado, los microminerales lixivian con cierta dificultad, tal vez porque están presentes en micro cantidades y los gradientes de difusión producto-jugo son menos efectivos, y, por otro lado, que la deshidratación incrementa la concentración final de minerales en el calamar.

Figura 67. Contenido total en macrominerales del calamar macerado crudo y cocinado

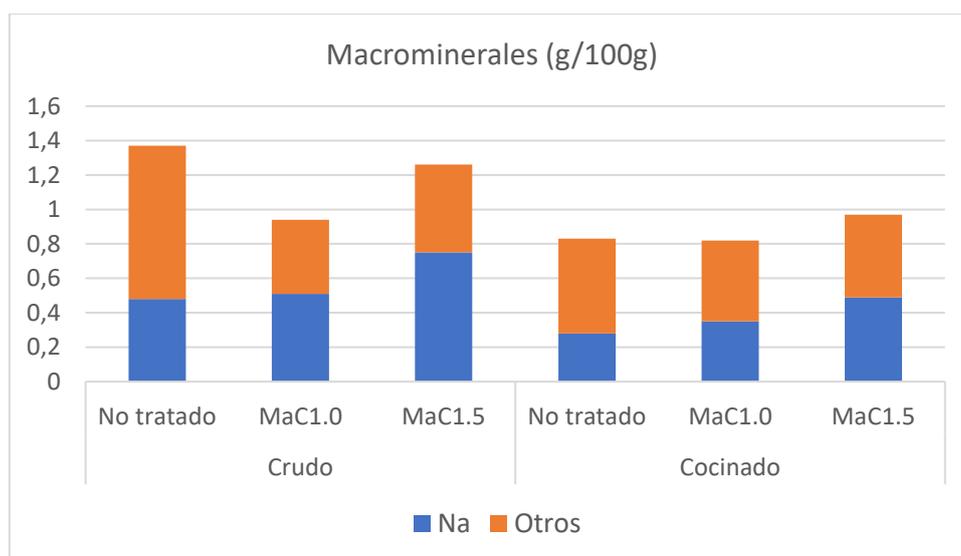
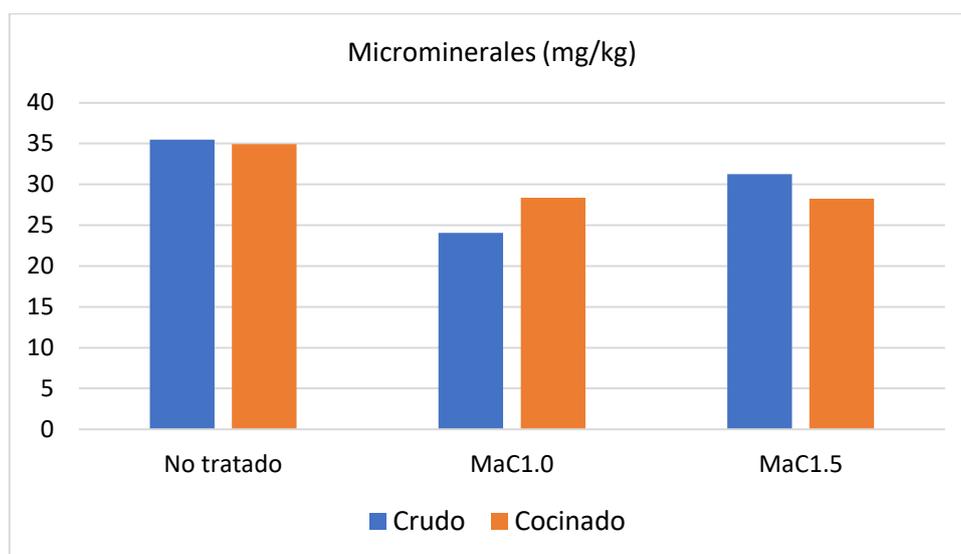


Figura 68. Contenido total en macrominerales del calamar macerado crudo y cocinado

La maceración y el cocinado juntos podrían tener efectos asociados sobre el perfil mineral de la carne de calamar. Durante el cocinado, una parte del sodio pasó del calamar al jugo de cocción, permaneciendo en la bolsa. Este hecho podría ser proporcional a la cantidad retenida de sodio por el calamar, ya que su contenido en sodio fue menor en el producto cocinado no tratado (0,07 g Na/ 100 g) que en el macerado (0,26 g Na/ 100 g). Por otro lado, se puede deducir que una parte de los macrominerales (K, Mg, P y S) y microminerales (As, B, Cr, Mn y otros), cuyos niveles disminuyeron, terminaron en el jugo de cocción. Por ejemplo, la notable pérdida de fósforo y azufre revela que hubo cierta solubilización de proteínas y otros componentes de la carne en el jugo, mientras que otros minerales como el zinc o el cadmio se concentraron tras la cocción.

Este comportamiento diferente podría deberse a varias causas. El calentamiento coagula las proteínas musculares, favorece la salida del jugo y aumenta la base seca (Toyes-Vargas et al., 2016), lo que puede concentrar minerales del calamar o no, dependiendo de la cantidad de minerales perdida con el jugo. Además, la cocción disminuye la solubilidad de las metaloproteínas y puede inducir diferentes reacciones químicas (Schmidt et al., 2021), por lo que las proteínas coaguladas tendrían más dificultades para pasar al jugo liberado por los calamares. Se ha visto que los niveles de cadmio en el manto del calamar pueden aumentar con el tostado y el enlatado industrial (Perelló et al., 2008); este comportamiento estaría asociado con cambios en las metalotioneínas durante el procesado, mientras que, por el contrario, el contenido de plomo no dependería del procesado, ni parece estar asociado con las metalotioneínas. Por lo tanto, el calentamiento puede afectar de manera diferente al contenido de cadmio y plomo debido a la bioacumulación específica y las características químicas de

cada metal pesado. Esto explicaría por qué los niveles de algunos metales pueden aumentar o no al cocinar.

Macerado o no, cualquier cambio en el contenido mineral de la carne del calamar dependerá de las condiciones de cocción (tiempo, temperatura y procedimiento de cocción) (Perelló et al., 2008). Diferentes estudios han comprobado que el contenido mineral aumenta al cocinar los productos de pescado y marisco (Czech y Stachyra, 2013; Ersoy y Özeren, 2009; Kalogeropoulos et al., 2012; Karimian-Khosroshahi et al., 2016; Tornberg et al., 2005). Existe consenso en que zinc, hierro y cobre son los oligoelementos más abundantes en la carne de calamar cocinada, si bien esto dependería de las condiciones de cocinado (cocción en caldo sazonado o en su propio jugo, método de calentamiento, temperatura-tiempo, grado de deshidratación, etc.). Por ejemplo, un ensayo sobre tentáculos de calamar gigante macerado reveló también que la cocción (en un caldo sazonado con 0,56 g Na/ 100 g) aumenta los niveles de Na (de 0,15 a 0,37 g/ 100 g), Zn (de 13,7 a 21,4 mg/ kg), As (de 0,48 a 0,81 mg/ kg) y Cd (de 0,02 a 0,09 mg/ kg) (Fernández et al., 2021). En el presente estudio, los calamares macerados se cocinaron a una temperatura moderada (65 °C) para evitar la pérdida de jugo. Concentrados o no, los niveles de metales pesados tóxicos determinados en el producto listo para el consumo estuvieron muy por debajo de los niveles máximos de Cd (1 mg/ kg) y Pb (0,3 mg/ kg) autorizados en la carne de cefalópodos y de Hg (0,3 mg/ kg) autorizado en productos pesqueros (Motas et al., 2021). El contenido en As también estuvo por debajo de los límites máximos permitidos para pescados y mariscos en Australia (1-2 mg/ kg) (Grillo et al., 2019).

El consumo de calamar cocinado cubre un porcentaje relevante (> 10 %) de la IDR establecida para Na, P, Zn, Mg y Mn. Otros estudios coinciden en que los calamares cocinados son una fuente dietética relevante de Na y Zn (Czech y Stachyra, 2013; Kalogeropoulos et al., 2012; Karimian-Khosroshahi et al., 2016; Oliveira et al., 2017; Schmidt et al., 2020). Como era de esperar, la ingesta de sodio fue mayor (hasta un 28 % de la IDR) cuando los calamares se trataron con sales de maceración e incluso podría aumentar si se consumen con su propio jugo. Por ejemplo, los tentáculos de calamar gigante macerados y cocinados (en túnel abierto) proporcionan una IDR de sodio más baja (16 %) (Fernández et al., 2021). En cualquier caso, resulta conveniente vigilar la ingesta de sodio asociada al consumo de productos de calamar, ya que existe una estrecha relación entre la hipertensión y otros problemas cardiovasculares (Ouedraogo y Amyot 2011).

Respecto a los metales tóxicos, la carne de calamar procedente de las zonas de pesca FAO 34 y 47 puede consumirse con un amplio margen de seguridad. Los % PTWI calculados en el presente estudio

para cadmio, mercurio y plomo estuvieron por debajo de las recomendaciones establecidas por la EFSA (2012) y por el Instituto de medicina (2006) y sus niveles de arsénico inorgánico también estuvieron por debajo de la PTWI (15 µg/ kg de peso corporal) y del rango de referencia (0,3-8 µg/ kg de peso corporal) publicado por la EFSA (2011). Tanto la evisceración, como la posibilidad de que las aguas marinas costeras estén menos contaminadas, pueden respaldar estos resultados. De todos modos, estos resultados son solo orientativos ya que el riesgo para la salud relacionado con la ingesta de metales tóxicos también depende de otros factores que afectan su bioaccesibilidad (por ejemplo, la desnaturalización y desmetilación de las metaloproteínas musculares) (Storelli et al., 2012). Otros estudios (Czech y Stachyra, 2013; Kalogeropoulos et al., 2012; Pastorelli et al., 2012; Storelli et al., 2012) coinciden en que el consumo de carne de calamar no supone ningún riesgo para la salud de los consumidores; los % PTWI publicados varían bastante: 7,2-35,2 % (Cd), 0,2-0,3 % (Pb) y 0,1-2,9 % (Hg). También se sabe que los cefalópodos tienden a acumular más cadmio que mercurio o plomo (Storelli et al., 2012).

Conclusión

El calamar común de origen Sudáfrica y Mauritania presentan un perfil mineral bastante similar. La maceración con sales de sodio promueve su absorción, si bien otros minerales pueden difundir hacia el medio de maceración. Incrementar la concentración de citrato de sodio en el medio favorece la retención de sodio, aunque no parece tener un efecto claro sobre la lixiviación de otros minerales. Una parte de los minerales del calamar, sobre todo el sodio absorbido y algunos contaminantes como el cadmio y el arsénico, pasan al jugo eliminado tras la cocción. Por tanto, no llegan al consumidor final salvo que se consuma dicho jugo. El consumo de calamar macerado y cocinado cubre una parte relevante del IDR de Na, P, Zn, Mg y Mn. Como la maceración aumenta la ingesta de sodio, este producto debe consumirse dentro de una dieta equilibrada. El riesgo para la salud asociado con la ingesta de minerales contaminantes tóxicos sería casi insignificante y afectaría solo al cadmio y al arsénico, cuyos niveles son controlados por el propio proceso de fabricación de los productos transformados de calamar.

6.5. DESARROLLO DE UN NUEVO PRODUCTO DE CALAMAR COCINADO “SOUS VIDE”

Introducción

Los consumidores demandan productos de rápida preparación y calidad que a su vez se conserven durante el mayor tiempo posible. Uno de los productos representativos de esta tendencia son los alimentos cocinados por el método *sous vide*. Esta técnica culinaria, basada en cocinar los alimentos envasados al vacío a baja temperatura durante un tiempo controlado, proporciona óptimas cualidades sensoriales, preserva la calidad nutricional y ofrece productos seguros desde el punto de vista microbiológico. Conlleva cocinado y pasteurización o esterilización a la vez en un solo proceso y los productos llegan al consumidor listos para ser calentados durante unos pocos minutos, eliminando la laboriosa preparación en el hogar. Con independencia de lo anterior, se trata de una técnica de cocción que proporciona buenas propiedades sensoriales en carnes ricas en tejido conectivo como la de calamar, ya que la temperatura de cocinado húmedo es suficiente para gelatinizar el colágeno y favorece la retención de jugos por las proteínas musculares, mejorando la textura de los productos listos para el consumo.

Objetivo

Establecer las condiciones óptimas de tiempo y temperatura de cocinado al vacío para desarrollar un nuevo producto de calamar entero eviscerado.

Experimental

La materia prima empleada procedió de las cámaras de congelación de la factoría. El proceso de elaboración está descrito y representado en el apartado 5.5 (material y métodos). Se emplearon 5 kg de calamares de tamaño homogéneo (170-250 g) para cada uno de los ensayos. Los calamares envasados al vacío se cocinaron a 60 y 65 °C durante 25, 30, 35 y 40 min, tomando como referencia el tiempo de cocinado convencional en contacto con agua caliente que tenía la empresa para los calamares del mismo tamaño (35 ± 2 min a 65 °C). Los calamares *sous vide* se envasaron individualmente al vacío, se cocinaron en un baño termostático y se enfriaron a temperatura ambiente durante 20 min. Finalmente se calculó el rendimiento del calamar por diferencia de peso escurrido

antes y después del cocinado y después se congelaron en una cámara a -18 °C hasta su posterior muestreo.

Para establecer las condiciones óptimas de tiempo y temperatura, se realizó un análisis sensorial descriptivo cuantitativo mediante un panel semientrenado formado por 10 trabajadores de la empresa. Previamente, se consensuó una escala puntuación con las correspondientes muestras de referencia sobre los atributos sensoriales a evaluar (**tabla 23**). Los calamares se descongelaron (a 2-4 °C durante 24 h) y se calentaron en un horno microondas doméstico a 800 W / 2460 MHz, (Mod 3C65172NZ Balay, BSH electrodomésticos España S.A, Zaragoza, España) durante 2 min. Una vez calientes, las muestras se extrajeron del envase plástico, se cortaron en porciones y se procedió a la evaluación sensorial de los mismos. Para complementar la evaluación de apariencia, además, se midió con el color del manto de los calamares cocinados con un colorímetro mediante el modelo cromático CIE L* a* b* (ver material y métodos).

Tabla 23. Escala de puntuación para los atributos sensoriales del calamar cocinado *sous vide*

Atributos	Puntuación	Descripción
Color del manto	Muy bueno (5)	Color rosáceo, asalmonado
	Muy deficiente (1)	Color púrpura
Sabor	Muy bueno (5)	Sabor suave, a calamar
	Muy deficiente (1)	Sabores intensos a sobrecocido/crudo
Olor	Muy bueno (5)	Olor suave, a calamar
	Muy deficiente (1)	Olores intensos a pescado
Textura	Muy bueno (5)	Firme y elástica
	Muy deficiente (1)	Blanda y gomosa

Una vez definidos el tiempo y temperatura óptimos para la cocción del calamar *sous vide*, se realizaron análisis comparativos entre el calamar cocinado convencional de la factoría y el nuevo producto *sous vide*. La comparativa se basó en los siguientes parámetros: cuantificación sensorial, rendimiento en peso tras la cocción, cambios en el color, textura instrumental (ver material y métodos), y calidad microbiológica (microorganismos aerobios mesófilos, enterobacterias totales, Estafilococos coagulasa +, *Salmonella spp*, *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes*). Finalmente, también se determinó la composición proximal de ambos productos.

Resultados

Las pérdidas por cocinado fueron mayores al aumentar el tiempo de cocinado debido, probablemente, a la desnaturalización de las proteínas por el tratamiento térmico ya que éstas se contraen y expulsan los jugos retenidos en sus células. Como se muestra en la **tabla 24**, la mayor pérdida de peso correspondió a los calamares cocinados a 65 °C durante 40 min (30,32 %) y las menores fueron de 12,55 % al cocinar el calamar a 60 °C durante 25 min.

Tabla 24. Pérdidas de peso tras la cocción del calamar *sous vide* a diferentes tiempos y temperaturas

Tiempo de cocción (min)	Temperatura (°C)	Pérdidas por cocción (%)
		M
25	60	12,55 ^e
	65	13,41 ^{de}
30	60	16,68 ^{cde}
	65	16,85 ^{cde}
35	60	18,89 ^{bc}
	65	17,16 ^{cd}
40	60	23,33 ^b
	65	30,32 ^a
	ESM	0,939

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

La **tabla 25** muestra los cambios de color CIELab del manto del calamar. La luminosidad (L^*) mostró valores decrecientes (73,6 → 52,0) conforme se intensificó el cocinado, oscureciéndose el manto del calamar progresivamente. Lo mismo sucedió con el valor de a^* (tonalidad roja), que aumentó de 17,3 (60 °C/ 25 min) a 38,6 (65 °C/ 40 min) y con el valor de b^* (tonalidad amarilla), que pasó de 9,6 (60 °C/ 25 min) a 21,6 (65 °C/ 40 min). Ello significa que el calamar adquiere tonalidades marrones conforme

se va cocinando. La temperatura alcanzada fue menos determinante para el color que el tiempo de cocción, ya que solo había 5 °C de diferencia, mientras que el tiempo osciló entre 25 y 40 min.

Tabla 25. Cambios de color CIELab en el manto de calamar cocinado *sous vide*

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	L*	a*	b*
		M	M	M
25	60	73,6 ^a	17,3 ^f	9,6 ^e
	65	71,6 ^b	18,4 ^f	10,9 ^d
30	60	70,2 ^{bc}	22,4 ^e	15,5 ^c
	65	69,7 ^c	25,7 ^d	16,6 ^c
35	60	62,4 ^d	33,8 ^c	21,6 ^b
	65	59,6 ^e	35,3 ^b	22,9 ^a
40	60	52,2 ^f	38,0 ^a	20,6 ^b
	65	52,0 ^f	38,6 ^a	21,6 ^b
<i>ESM</i>		<i>0,34</i>	<i>0,26</i>	<i>0,23</i>

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

La **tabla 26** muestra los datos de la evaluación sensorial del calamar cocinado *sous vide* a diferentes tiempos y temperaturas. Las mejores puntuaciones sensoriales se obtuvieron con las condiciones intermedias. La puntuación de color estuvo en valores entre 2,6 y 4,1. Las mayores puntuaciones de color (4,1) fue para los calamares cocinados en el rango de 60 °C/30 min a 65 °C/35 min, presentando un color asalmonado, típico del calamar cocido, mientras que la menor puntuación de color (2,9) fue para los calamares cocinados durante 40 min, con un color rosado intenso debido, probablemente, a que permanecieron durante más tiempo en el caldo.

El olor presentó una puntuación comprendida entre 3,2 y 4,2. Como con el color, las mayores puntuaciones de olor correspondieron al calamar cocinado en el rango de 60 °C/ 30 min a 65 °C/35 min, mientras que las puntuaciones de olor más bajas correspondieron al producto cocinado a 60 °C/ 25min y 65 °C/ 40 min. La puntuación de sabor para las muestras cocinadas a 25 min fue baja a ambas temperaturas, con valores de 2,9 (60 °C) y 2,6 (65 °C), lo que indica falta de cocción del calamar,

mientras que, por otro lado, los calamares cocinados a 65 °C/ 40 min también presentaron un sabor desagradable, a sobrecocido, arrojando una puntuación de 2,7.

La textura fue el atributo sensorial probablemente más afectado por las condiciones de cocinado *sous vide*. La puntuación más baja de textura (1,7) fue para las muestras con mayor tiempo de cocción y mayor temperatura (65 °C/ 40 min), obteniéndose una textura gomosa y blanda, debido a la sobrecocción. En cambio, los calamares cocinados a 65 °C/ 30 min presentaron una alta puntuación de textura (4,3), más firme y elástica, característica del calamar cocinado.

Tabla 26. Calidad sensorial del calamar cocinado *sous vide* a diferentes tiempos y temperaturas

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Color	Olor	Sabor	Textura
		M	M	M	M
25	60	3,4 ^c	3,2 ^{de}	2,9 ^b	2,9 ^c
	65	3,5 ^{bc}	3,4 ^{bcd}	2,6 ^b	3,4 ^{bc}
30	60	4,0 ^a	3,9 ^{ab}	3,8 ^a	4,1 ^a
	65	4,1 ^a	4,2 ^a	4,2 ^a	4,3 ^a
35	60	4,1 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	4,1 ^a
	65	3,9 ^{ab}	3,7 ^{abc}	3,9 ^a	4,0 ^{ab}
40	60	3,3 ^{cd}	3,2 ^{cde}	3,1 ^b	3,0 ^c
	65	2,9 ^d	3,1 ^e	2,7 ^b	1,7 ^c
	<i>ESM</i>	0,09	0,11	0,13	0,13

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Comparativa entre cocinado convencional y *sous vide*

Una vez comprobado que, tanto un defecto, como un exceso de cocinado, afectaron negativamente a la calidad sensorial del producto, se determinó que las condiciones óptimas de tiempo y temperatura para el cocinado del calamar *sous vide* eran 65 °C durante 30 min, ya que obtuvo la mejor valoración sensorial, el color CIELab era adecuado y las mermas tras la cocción (16,85 %) eran asumibles para la

empresa. Las pérdidas por cocción del calamar *sous vide* y convencional se comparan en la **tabla 27**. Como era de esperar, la merma de peso fue superior en el calamar cocinado convencional, con diferencias de más del 10 % del peso crudo del producto, por tanto, muy importantes, confirmando que el cocinado *sous vide* minimiza la pérdida de humedad por la ausencia de la evaporación directa en comparación con la cocción abierta con agua caliente.

Tabla 27. Comparativa de las pérdidas de peso por cocción en el calamar cocinado convencional y *sous vide*

	<i>Sous vide</i> 65 °C/ 30 min	Convencional 65 °C/ 35 min	
	M	M	ESM
Pérdida de peso (%)	16,85 ^b	27,83 ^a	0,763

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

La **tabla 28** muestra la comparativa de color CIELab entre ambos cocinados. Los valores de L*, a* y b* fueron mayores para el calamar cocinado *sous vide* que para el convencional, aunque sólo ligeramente. Por tanto, el primero sería algo más blanco y opaco, y ambos tendrían una tonalidad marrón bastante similar.

Tabla 28. Comparativa del color CIELab en el calamar cocinado convencional y *sous vide*

	<i>Sous vide</i> 65 °C/ 30 min	Convencional 65 °C/ 35 min	
	M	M	ESM
L* (Luminosidad)	69,7 ^a	65,6 ^b	0,49
a* (Rojo)	25,7 ^a	23,8 ^b	0,38
b* (Amarillo)	16,6 ^a	15,2 ^b	0,16

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

La **tabla 29** compara los valores de textura instrumental del calamar crudo, cocinado *sous vide* y convencional. La fracturabilidad fue algo menor para el calamar cocinado *sous vide* (21,54 %) que para el convencional (29,45 %), por tanto, fue necesario aplicar alrededor de un cuarto de la fuerza máxima para poder deformar las muestras, lo que indica que el calamar convencional tenía más costra externa.

La dureza, uno de los parámetros clave, fue más del doble en el calamar cocinado convencional (3109,40 gf) que en el cocinado *sous vide* (1393,70 gf), aunque ambas mucho menor que en el producto crudo (11662,0 gf), lo que indica que el cocinado produjo un importante ablandamiento del mismo. La cocción al vacío ablandó más el producto.

El coeficiente de elasticidad, otro parámetro clave, fue mayor para el calamar *sous vide* (119,87 %), seguido del calamar crudo (82,68 %) y cocinado convencional (75,50 %). Por tanto, la cocción al vacío mantuvo mejor la elasticidad del producto crudo.

En cuanto a valores secundarios, la cohesividad o energía necesaria para destruir la estructura interna de la muestra, fue similar para el calamar cocinado *sous vide* (1,29 gf mm) y convencional (1,07 gf mm), y menor en el producto crudo (0,84 gf mm). Por tanto, el cocinado, sobre todo al vacío, aumentó este valor. Los resultados de gomosidad (dureza x cohesividad) indican que el calamar cocinado convencional (1074,6 gf) y *sous vide* (1349,90 gf) necesitaron una cantidad similar de energía para ser desintegrados, aunque mucha menos que el calamar crudo (9755,10 gf). Por tanto, este valor confirmó que el cocinado ablanda el producto, con pequeñas diferencias entre ambos métodos de cocinado. La masticabilidad (gomosidad x elasticidad) fue mucho mayor para el calamar crudo (856359 gf) que para el calamar cocinado *sous vide* (122883 gf) y convencional (97618 gf). La adhesividad del calamar fue muy baja, presentando valores ligeramente inferiores en el producto crudo y cocinado convencional (11.00 gf) que en el producto *sous vide* (12,33 gf).

La **tabla 30** compara la valoración sensorial del calamar cocinado *sous vide* y convencional. Las puntuaciones de color, olor y sabor fueron similares para ambas preparaciones culinarias, con valores en torno a 4. Sin embargo, la textura estuvo afectada por el método de cocinado. El calamar cocinado *sous vide* presentaba una textura más firme, elástica y agradable en boca (4,3) que el calamar cocinado sin envasar al vacío (3,8). Este resultado no coincide con los datos proporcionados por el texturómetro en lo que se refiere a la dureza, aunque sí en lo que se refiere a la elasticidad. Los panelistas evaluaron ambas propiedades de textura simultáneamente.

Tabla 29. Comparativa de textura instrumental del calamar crudo, cocinado *sous vide* y convencional

	Crudo	<i>Sous vide</i> 65 °C/ 30 min	Convencional 65 °C/ 35 min	ESM
	M	M	M	
Fracturabilidad (%)	23,88 ^b	21,54 ^b	29,46 ^a	0,664
Dureza (gf)	11662,0 ^a	1393,70 ^c	3109,40 ^b	459,260
Elasticidad (%)	82,68 ^b	119,87 ^a	75,50 ^b	9,875
Cohesividad (%)	0,84 ^a	1,29 ^a	1,07 ^a	0,148
Gomosidad (gf)	9755,10 ^a	1349,90 ^b	1074,60 ^b	421,080
Masticabilidad (gf)	856359 ^a	122883 ^b	97618 ^b	41834,00
Adhesividad (gf)	11,00 ^b	12,33 ^a	11,00 ^b	0,193

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Tabla 30. Comparación sensorial del calamar cocinado *sous vide* y convencional

	<i>Sous vide</i> 65 °C/30 min	Convencional 65 °C/ 35 min	ESM
	M	M	
Color	4,1	3,9	0,06
Olor	4,2	4,2	0,18
Sabor	4,2	3,9	0,11
Textura	4,3 ^a	3,8 ^b	0,12

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

La **tabla 31** compara los recuentos microbiológicos obtenidos en el calamar cocinado convencional y *sous vide*. La ausencia de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp.*, los recuentos indetectables de enterobacterias y Estafilococos coagulasa + y los bajos recuentos de microorganismos aerobios mesófilos (2,84 Log UFC/g para *sous vide* y 2,92 Log UFC/g para el cocinado tradicional) indican que ambos productos cumplían con los criterios microbiológicos establecidos en el Reglamento (CE) nº 1441/2007, siendo productos seguros para su comercialización como productos listos para el consumo. Estos datos indicarían unas buenas prácticas de elaboración y control durante el cocinado, enfriado y congelación.

Tabla 31. Comparativa de la calidad microbiológica del calamar cocinado *sous vide* y convencional

	<i>Sous vide</i> 65 °C/ 30 min	Convencional 65 °C/ 35 min	
	M	M	ESM
Aerobios mesófilos (Log UFC/g)	2,84	2,92	0,062
Enterobacterias (Log UFC/g)	< 1	< 1	
<i>Salmonella spp.</i>	ND	ND	
<i>L. monocytogenes</i>	ND	ND	
<i>E. coli</i> (Log UFC/g)	< 1	< 1	
Estafilococos coagulasa + (Log UFC/g)	< 1	< 1	

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

ND: No detectado en 25 g.

La **tabla 32** muestra la comparativa de composición del calamar cocinado convencional y *sous vide*. Como era de esperar en base a los resultados de las pruebas anteriores, el calamar cocinado *sous vide* contenía más humedad (78,77 %) que el convencional (75,59 %), lo que afectó a las proporciones relativas de otros componentes. La cantidad total de proteínas fue algo superior en el calamar convencional (18,71 %) que en el *sous vide* (17,10 %). De igual modo, el contenido en lípidos también fue mayor en el calamar convencional (2,43 %) que en el *sous vide* (1,86 %), así como las cenizas, cuyo porcentaje aumentó en el calamar convencional (3,25 %) con respecto al *sous vide* (2,17 %).

Tabla 32. Comparativa de la composición proximal del calamar cocinado *sous vide* y convencional

	<i>Sous vide</i> 65 °C/ 30 min	Convencional 65 °C/ 35 min	
	M	M	ESM
Humedad (%)	78,77 ^a	75,59 ^b	0,239
Proteínas (%)	17,10 ^b	18,71 ^a	0,158
Lípidos (%)	1,86 ^b	2,43 ^a	0,046
Cenizas (%)	2,17 ^b	3,25 ^a	0,109

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Discusión

La cocción al vacío o *sous vide* se ha vuelto popular entre los consumidores y la industria alimentaria ha tomado nota de esto. Los alimentos procesados mediante esta técnica tienen algunas características sensoriales mejoradas, sobre todo la textura. Además, se reduce la oxidación de lípidos durante el cocinado, lo que contribuye a prolongar la vida útil, a retener más compuestos volátiles y a mantener mejor el color y el atractivo visual (Becker et al., 2016; Christensen et al., 2012; Domínguez-Hernández et al., 2018; Vaudagna et al., 2002; Zavadlav et al., 2020). Todo esto dependería de las condiciones de cocinado en cada caso. Como se ha visto en el presente estudio, la calidad sensorial fue similar para el calamar cocinado *sous vide* y convencional con agua caliente a una temperatura algo mayor, excepto para la textura. Por tanto, no es posible afirmar que una menor exposición a la oxidación preserva mejor la apariencia, el olor y el sabor en el calamar cocinado.

La calidad sensorial del calamar cocinado a baja temperatura dependería principalmente del tiempo de cocción. La permanencia de los calamares en el caldo de cocción durante más de 35 min provocó cambios en el color (oscurecimiento), olor y sabor (demasiado intensos) y textura (pérdida de firmeza). El oscurecimiento del calamar durante el cocinado se podría deber a la liberación y oxidación de

pigmentos y a la desnaturalización de las proteínas por acción del calor. El calor coagula las proteínas musculares y la carne se vuelve más opaca. Además, a pesar del entorno de vacío, algunos componentes pueden oxidarse lentamente durante una cocción prolongada, oscureciendo el manto (Zavadlav et al., 2020).

Otros autores han realizado estudios sobre el cocinado del calamar al vacío a diferentes temperaturas. Por ejemplo, Cui et al. (2019) reportaron resultados que distan de los presentados en este ensayo. En este estudio sobre manto cocinado del calamar *Illex argentinus*, el valor de L* aumentó de 76,98 a 82,45 con la temperatura (55 °C → 65° C), para luego disminuir a 85 °C (77,05). Este hecho sugiere que la luminosidad del calamar cocinado aumenta con la opacidad al coagular las proteínas y luego disminuye por oscurecimiento cuando hay un exceso de cocción. Sin embargo, estos resultados no son comparables dado que emplearon tiempos de cocción de 300 min. Torres-Arreola et al. (2018) midieron el color del manto de *Dosidicus gigas* empleando tiempos de 10, 20 y 30 min a 100 °C en un ambiente *sous vide*. En este estudio, el valor de L* disminuyó ligeramente conforme aumentaba el tiempo de cocinado (90,56 → 83,50); sin embargo, los valores de a* (0,97 → 4,83) y b* (8,84 → 15,62), aumentaron, siendo estos últimos inferiores a los presentados en este ensayo.

En otro estudio, Cui et al. (2020b) estudiaron los cambios sensoriales en manto de *Illex argentinus* cocinado bajo diferentes condiciones (*sous vide* 60 °C-30 min; hervido 100 °C-5 min y al vapor 100 °C-5 min). Los calamares cocinados *sous vide* presentaron una mejor apariencia y textura, mientras que el aroma y el sabor fueron mejor evaluados en los calamares cocinados al vapor. A pesar de estas diferencias, los calamares cocinados al vacío obtuvieron la mayor puntuación de preferencia con respecto al resto. El calentamiento a temperaturas elevadas contribuye a la pérdida de la calidad sensorial en los productos marinos, por lo que es preferible un tratamiento térmico suave durante 20-40 min a temperaturas entre 60-80 °C (González-Fandos et al., 2005).

Como era de esperar, las pérdidas de peso por cocción aumentaron con el tiempo de cocinado. El calor produce cierta contracción muscular, con la consiguiente pérdida de agua, que puede escapar por evaporación o en el caldo de cocción. Además, las proteínas se desnaturalizan por el calor, cambian su estructura y, por lo tanto, el líquido escapa de las fibras musculares, lo que resulta en una pérdida de agua del músculo (Cui et al., 2020c). Un estudio previo sobre tentáculos de *Dosidicus gigas* cocinados a 98 °C durante diferentes tiempos (10, 20, 30, 40 y 50 min) coincide en que el calamar va perdiendo peso conforme avanza el cocinado (Fernández, 2023). Schmidt et al. (2020) observaron pérdidas de peso en torno al 19 %, similares a las mostradas en el presente ensayo, en mantos de

calamar cocinados al vacío a 55 °C durante 30 min. En otros estudios sobre productos cárnicos, se demostró que la cocción al vacío reduce la pérdida de agua y ciertos minerales, mejora la calidad sensorial (Głuchowski et al., 2019; Xiao et al., 2021), y reduce la oxidación de los lípidos (Cropotova et al., 2019). Xiao et al. (2021) estudiaron las pérdidas por cocción en calamares cocinados al vacío (50 °C-60 min), hervidos (5 min) y cocinados al vapor (5 min), arrojando resultados similares a los del presente ensayo, con mermas en torno al 11 % para el calamar *sous vide* y del 36,7 y del 49 % para los calamares hervidos con agua y al vapor, respectivamente. Por lo tanto, las diferencias observadas entre ambos tipos de cocinado podrían explicarse debido a que el envasado más el cocinado controlado reducen los cambios en la estructura de las proteínas y la pérdida de jugos (Pathare y Roskilly, 2016).

Uno de los retos actuales en el cocinado de cefalópodos es obtener la textura deseada (Mouritsen y Styrbæk, 2018). El cocinado del calamar ablanda la carne y reduce la energía necesaria para romper la musculatura circular (Agrafioti y Katsanidis, 2012). Sin embargo, durante el tratamiento térmico, se producen cambios en las proteínas miofibrilares, ocasionando la contracción del músculo, lo que favorece que el líquido celular salga lentamente fuera de la célula, aumentando la dureza (Cui et al., 2020c). Algunos estudios sobre calamar *sous vide* recomiendan aplicar un calentamiento muy corto a temperaturas comprendidas entre 50-60 °C para conseguir una textura tierna (Mouritsen y Styrbæk, 2018), ya que mediante esta técnica se obtiene un producto más jugoso y tierno (Kilibarda et al., 2018; Zavadlav et al., 2020). No obstante, otros estudios han empleado temperaturas mayores con buenos resultados. Por ejemplo, Erdem et al. (2022) vieron que el cocinado *sous vide* a 95 °C durante 10 min reduce notablemente la dureza del calamar. En este estudio, la elasticidad y la cohesividad fueron ligeramente superiores en el calamar cocinado que en el crudo, mientras que la gomosidad fue mayor en éste último. Cui et al. (2019), en su estudio sobre calamar cocinado *sous vide* bajo diferentes condiciones, vieron que la dureza y la masticabilidad disminuían conforme aumentaba la temperatura de cocinado, aumentando al superar los 60 °C. La masticabilidad tiene una estrecha relación con la dureza, elasticidad y cohesividad del calamar cocinado (Cui et al., 2019). En cualquier caso, no parece posible comparar valores de textura obtenidos bajo diferentes condiciones de medida.

El calentamiento en un recipiente hermético es la base de las conservas y semiconservas alimentarias. El elevado contenido en agua de los productos de la pesca contribuye a crear un ambiente favorable para la proliferación de bacterias patógenas y alterantes. Las cargas de microorganismos pueden reducirse tras el tratamiento térmico, si bien las temperaturas empleadas en el cocinado de productos del mar suelen ser más bajas para no dañar la textura y conservar sus propiedades. Por lo tanto, es

importante controlar las cargas microbianas tras el cocinado para ofrecer un producto seguro para el consumidor. Según la Unión Europea, se recomienda un cocinado *sous vide* a temperaturas mínimas de 70 °C durante al menos 2 min, o aplicar tratamientos equivalentes (Zavadlav et al., 2020). Los recuentos microbiológicos realizados indican que ambos métodos de cocinado garantizan de sobra la seguridad alimentaria en el calamar cocinado. La ausencia de microorganismos patógenos y los bajos recuentos de estafilococos coagulasa +, enterobacterias y microorganismos aerobios totales, permiten comercializar este producto sin riesgos para el consumidor.

La composición proximal del calamar cocinado fue diferente para ambas preparaciones culinarias por las pérdidas de jugo. La pérdida de agua durante el cocinado produce una concentración de proteínas, lípidos y cenizas, aunque también favorece la pérdida de compuestos hidrosolubles que pueden pasar al caldo. Si la cocción es abierta, algunos compuestos volátiles se pueden evaporar. Desde un punto de vista cualitativo, el modo en el que se produce la transferencia de calor y la exposición al oxígeno condiciona el tipo de reacciones que afectan a los lípidos y compuestos nitrogenados (Nieva-Echevarría et al., 2017). En estudios previos, Raman y Mathew (2015) reportaron valores similares de humedad (75 %), proteínas (17 %), lípidos (1,5 %) y cenizas 2 % en calamar (*Loligo duvacei*) troceado (2x2 cm) cocinado al vacío a 65 °C durante 1 min, mientras que Erdem et al. (2022) obtuvieron valores muy parecidos de humedad (76 %), proteínas (19 %), lípidos (1,2 %) y cenizas (1,54 %) en calamar común (*Loligo vulgaris*) cocinado al vacío a 95 °C durante 10 min.

Conclusión

El cocinado *sous vide* del calamar ofrece algunas ventajas en términos de conveniencia, calidad y seguridad alimentarias, ya que necesita poca preparación en el hogar, mejora la retención de jugos y se obtiene una textura más tierna y jugosa, y garantiza de sobra la calidad microbiológica. No obstante, es necesario continuar investigando para optimizar las condiciones de tiempo y temperatura. Factores como el tamaño, la especie o las variaciones de composición, pueden influir en el resultado final y requerir de nuevos ajustes en la tecnología aplicada en la industria.

6.6. DESARROLLO DE UN NUEVO PRODUCTO COCINADO DE CALAMAR “CLEAN LABEL”

Introducción

La creciente preocupación de los consumidores por la salubridad de los aditivos alimentarios ha llevado a la industria a revisar sus procesos de elaboración, adoptando el concepto “clean label” o “etiqueta limpia”. Este enfoque implica el desarrollo de productos con ingredientes naturales y reconocibles, eliminando o reemplazando los aditivos artificiales que, aunque seguros y aprobados, generan inquietud debido a posibles efectos a largo plazo.

Para abordar este reto, la industria transformadora de cefalópodos pretende implementar nuevos métodos de maceración y conservación basados en métodos de conservación más naturales. Entre las estrategias más empleadas, destaca el uso de cultivos lácticos, de vitaminas antioxidantes como el tocoferol o el ácido ascórbico, y de ingredientes vegetales (plantas, frutas, verduras, etc.) ricos en compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes y/o antimicrobianas. Las posibilidades son muchas. Por ejemplo, la acerola (*Malpighia emarginata*) es un fruto cítrico de origen americano parecido a una ciruela pequeña, cuyo extracto acuoso rico es antioxidantes como la vitamina C y diversos flavonoles, mientras que el romero (*Salvia officinalis*) es una planta aromático-medicinal ya empleada en la industria alimentaria que, dependiendo de las condiciones de extracción, puede contener compuestos fenólicos volátiles, ácidos orgánicos, flavonoides y terpenos, entre otros.

La adopción de estas prácticas ofrece algunos beneficios, como una mayor transparencia y confianza del consumidor, ventajas competitivas en el mercado y un enfoque más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Sin embargo, también presenta algunos desafíos, como el incremento de los costes de producción, la necesidad de mantener una calidad constante sin aditivos alimentarios y la gestión de una vida útil posiblemente más corta. El reto es doble, ya que, en el caso de productos macerados, se necesitan ingredientes naturales que tengan un efecto positivo sobre las proteínas musculares y sobre la capacidad de retención de agua.

Objetivos

Desarrollar un nuevo medio de maceración a base de conservantes naturales que permita obtener un calamar entero crudo “Clean Label”.

Experimental

La materia prima utilizada procedía de las cámaras de congelación de la factoría. Los calamares, de tamaño homogéneo (300-350 g), se pesaron, descongelaron siguiendo el procedimiento habitual (apartado 5.5) y maceraron. Para ello, se emplearon 7 medios de maceración diferentes, incluyendo como control el medio empleado usualmente en la empresa. Los medios de maceración se prepararon (para 100 kg de calamar) añadiendo a las tinas 300 L de agua fría (2-4 °C), 20 L de salmuera (3 %), 1,5 L de peróxido de hidrógeno, junto con los diferentes ingredientes en polvo que se muestran y describen en la **tabla 33**.

Tabla 33. Ingredientes "Clean label" en polvo utilizados para macerar el calamar crudo

Medio de maceración	Ingredientes	Concentración	Ingredientes en polvo
1 (C)	Citrato de sodio	1,5 %	
2 (A1)	Acerola y maltodextrina	1,5 %	
3 (A2)		2,0 %	
4 (R1)	Extracto de romero (100 %)	1,5 %	
5 (R2)		2,0 %	
6 (T1)	Extracto rico en tocoferoles (E-306) (>50 %) y sílice	1,5 %	
7 (T2)		2,0 %	

Los calamares se maceraron por inmersión en una cámara a 0-4 °C durante 24 h. Transcurrido este tiempo, se extrajeron, se calculó su rendimiento en peso y después se congelaron a -20 °C durante 1,5 h en un túnel espiral. Para el muestreo, los calamares se descongelaron en refrigeración durante 24 h, se evisceraron y pelaron manualmente, y se cocinaron mediante dos técnicas de diferentes: asado a la plancha (Jata, mod. GR195, Electrodomésticos Jata S.A, Navarra, España) a 180 °C durante 4 min por cada lado; y cocinado *sous vide*, siguiendo el procedimiento ya descrito (apartado 5.5).

Tras el cocinado, se volvieron a calcular las pérdidas de peso y se realizó un análisis sensorial descriptivo cuantitativo por un panel entrenado formado por 10 trabajadores de la empresa. Como en otros ensayos, se utilizó una escala de intensidad 1-5 para los atributos de color/apariencia, olor, sabor y textura (**tabla 34**), empleando para ello muestras de calamar cocinadas bajo diferentes condiciones. La descripción del color fue diferente según la preparación culinaria, ya que el cocinado *sous vide* proporciona un color rosado uniforme en todo el manto al cocinarse en su propio jugo. Para comprobar la calidad microbiológica del calamar crudo y cocinado, se analizaron microorganismos aerobios mesófilos, enterobacterias totales, Estafilococos coagulasa +, *Salmonella spp*, *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes*. Finalmente, también se determinó la composición proximal del producto crudo y cocinado

Tabla 34. Escala de puntuación para los atributos sensoriales del calamar cocinado a la plancha y *sous vide*

Atributos	Puntuación	Descripción
Color del manto	Muy bueno (5)	Blanco nacarado (plancha) Rosáceo (<i>sous vide</i>)
	Muy deficiente (1)	Presencia manchas rosáceas (plancha) Color púrpura (<i>sous vide</i>)
Olor	Muy bueno (5)	Olor suave, a calamar cocinado
	Muy deficiente (1)	Olores intensos vegetales, ausencia olor calamar
Sabor	Muy bueno (5)	Sabor suave, a calamar cocinado
	Muy deficiente (1)	Sabores intensos vegetales, ausencia sabor calamar
Textura	Muy bueno (5)	Firme y elástico
	Muy deficiente (1)	Blando y viscoso

Resultados

La **tabla 35** muestra los resultados del rendimiento en peso del calamar crudo tras la maceración. Tal como se esperaba, el medio control proporcionó un mayor rendimiento en peso (24,36 %), ya que contenía citrato de sodio que, junto a la salmuera, favorecen la retención de agua. En general, los medios de maceración “Clean Label” proporcionaron rendimientos más bajos. El calamar macerado con extracto de tocoferol aumentó su peso en un 16,16 % (T1) y un 13,69 % (T2), el extracto de romero arrojó resultados similares con un 13,23 % (R1) y 15,10 % (R2), mientras que los calamares macerados con extracto de acerola (A1 y A2) obtuvieron un menor rendimiento, con valores en torno al 10-11 %. Según esto, la adición de extractos vegetales en polvo empeoró la capacidad de retención de agua del calamar durante la maceración con respecto al citrato de sodio.

Tabla 35. Rendimiento en peso (%) de los calamares crudo macerados con diferentes ingredientes

Ingredientes	Rendimiento en peso
	M
A1	11,26 ^{cd}
A2	10,10 ^d
R1	13,23 ^{bcd}
R2	15,10 ^b
T1	16,16 ^b
T2	13,69 ^{bc}
C	24,36 ^a
ESM	0,681

Abreviaturas: A1: Acerola 1,5 %; A2: Acerola 2 %; R1: Romero 1,5 %; R2: Romero 2 %; T1: Extracto de tocoferol 1,5 %; T2: Extracto de tocoferol 2 %; C: Control; ESM: Error Estándar de la Media; M: Media. Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

La **tabla 36** muestra las pérdidas por cocinado del calamar asado a la plancha o *sous vide*. Las diferencias entre medios de maceración fueron menos acentuadas en el producto asado. La mayor

pérdida de peso correspondió al calamar A2 (36,34 %), seguido por el calamar T1 (35,70 %). Los productos con menores mermas fueron los calamares control (23,63 %) y R1-R2 (26,13-27,80 %). Como era de esperar, las pérdidas por cocción fueron inferiores (5-14 %) para el producto *sous vide* que para el asado a la plancha, ya que el primero favorece la retención de jugos. El calamar control fue de nuevo el que menos jugos perdió (12,77 %), seguido también de nuevo por el calamar macerado con extractos de romero (19,49-22,34 %) y de tocoferol (21,23-24,40 %). Al igual que sucedió con el asado a la plancha, el calamar con menos rendimiento y con más pérdida de peso fue el macerado con acerola en polvo al 2 % (26,57 %). Por tanto, teniendo en cuenta el balance entre la ganancia de peso del producto crudo macerado y la pérdida posterior por cocinado, sustituir el citrato de sodio por estos extractos vegetales conlleva cierta pérdida de rendimiento en el producto final, sobre todo con el extracto de acerola, aunque se añadan maltodextrinas.

Tabla 36. Pérdidas por cocción (%) de los calamares macerados con diferentes ingredientes y cocinados mediante dos técnicas culinarias

	Pérdidas (%) por cocción	
	Plancha	<i>Sous vide</i>
	M	M
A1	32,60 ^{ab}	25,03 ^{ab}
A2	36,34 ^a	26,57 ^a
R1	27,80 ^{bc}	22,34 ^{bcd}
R2	26,13 ^c	19,49 ^d
T1	35,70 ^a	21,23 ^{cd}
T2	32,31 ^{ab}	24,40 ^{abc}
C	23,63 ^c	12,77 ^e
<i>ESM</i>	1,076	0,785

Abreviaturas: A1: Acerola 1,5 %; A2: Acerola 2 %; R1: Romero 1,5 %; R2: Romero 2 %; T1: Extracto de tocoferol 1,5 %; T2: Extracto de tocoferol 2 %; C: Control; M: Media; ESM: Error Estándar de la Media. Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Tal y como se muestra en la **tabla 37**, el calamar *sous vide* y asado obtuvieron buenos resultados sensoriales, excepto para la textura. En el calamar *sous vide*, la mayor puntuación de color correspondió al producto control (4,2), mejorando este atributo con respecto a los productos A1 y T1 (3,8). El resto presentó puntuaciones de color intermedias. Los panelistas indicaron que evaluar el color entrañaba cierta dificultad por el manto rosáceo que cubría las muestras *sous vide*, siendo

complicado distinguir si había alteraciones. En cambio, la mayor puntuación de olor correspondió al calamar T2 (4,2), por encima de los productos R2 (3,7) y R1 y C (3,8). A pesar de que el medio control no contenía ningún extracto vegetal, los catadores indicaron que su olor a calamar cocinado no era muy intenso. En lo que respecta al sabor, la puntuación más alta fue también para el calamar T2 (4,2), mientras que los medios con extracto de romero empeoraron el sabor del producto (3,5-3,8) debido a la presencia de sabores herbales, extraños al calamar cocinado. El calamar *sous vide* control tenía una textura firme y elástica, obteniendo una puntuación de 4,3, bastante por encima del resto. Los panelistas indicaron que, a excepción del producto control, los calamares *sous vide* “Clean Label” tenían una textura blanda, poco firme, sobre todo al utilizar el medio A2 (2,8).

Tabla 37. Evaluación sensorial del calamar cocinado *sous vide* y asado a la plancha elaborados con diferentes medios de maceración

	A1	A2	R1	R2	T1	T2	C	
	M	M	M	M	M	M	M	ESM
<i>Sous vide</i>								
Color	3,8 ^b	4,1 ^{ab}	4,0 ^{ab}	4,0 ^{ab}	3,8 ^b	3,9 ^{ab}	4,2 ^a	0,07
Olor	3,9 ^{bcd}	4,0 ^{abc}	3,8 ^{cd}	3,7 ^d	4,1 ^{ab}	4,2 ^a	3,8 ^{cd}	0,05
Sabor	4,1 ^{ab}	4 ^{ab}	3,8 ^{bc}	3,5 ^c	4,1 ^{ab}	4,2 ^a	4,1 ^{ab}	0,07
Textura	3,4 ^{bcd}	3,5 ^{bc}	3,5 ^{bc}	3,7 ^b	3,0 ^{cd}	2,8 ^d	4,3 ^a	0,12
Asado								
Color	3,6 ^{bc}	3,9 ^{ab}	3,9 ^{ab}	4,1 ^a	3,8 ^{abc}	3,5 ^c	4,1 ^a	0,07
Olor	3,8 ^b	4,0 ^{ab}	4,0 ^{ab}	3,9 ^{ab}	4,1 ^{ab}	4,2 ^a	4,1 ^{ab}	0,07
Sabor	3,8 ^{abc}	3,9 ^{ab}	3,8 ^{abc}	3,4 ^c	3,6 ^{bc}	3,9 ^{ab}	4,1 ^a	0,09
Textura	3,2 ^{bc}	3,5 ^b	3,0 ^c	2,5 ^d	2,4 ^d	3,0 ^c	4,4 ^a	0,08

Abreviaturas: A1: Acerola 1,5 %; A2: Acerola 2 %; R1: Romero 1,5 %; R2: Romero 2 %; T1: Extracto de tocoferol 1,5 %; T2: Extracto de tocoferol 2 %; C: Control; M: Media; ESM: Error Estándar de la Media. Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Por su parte, los calamares asados también mostraron algunas diferencias sensoriales según el medio de maceración empleado. El calamar asado presentó un típico color blanco nacarado y a la vez dorado, si bien había algunas manchas rosáceas en el manto al usar algunos extractos vegetales. La puntuación más alta de color fue para el producto control y R2 (4,1) y la más baja para el producto T2 (3,5). Todos los calamares asados obtuvieron puntuaciones de olor en torno a 4, siendo la mayor, de nuevo, para el producto T2 (4,2) y la menor para el producto A1 (3,8). En cambio, el calamar asado control obtuvo una puntuación de sabor más alta (4,1) que el resto, destacando la pérdida de sabor del producto R2 (3,4). La textura del calamar asado empeoró con el uso de medios "Clean Label", especialmente al utilizar los medios T2 (2,4) y T1 (2,5). Como era de esperar, el producto control presentó una textura más firme y elástica (4,4) debido a la mayor retención de agua.

La **tabla 38** muestra los resultados microbiológicos para el calamar crudo macerado. Los recuentos microbiológicos estuvieron en todas las muestras por debajo de los límites que establece la legislación vigente (Reglamento CE nº 1441/2007). No se encontraron microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp* y *Escherichia coli* y los recuentos de enterobacterias totales y estafilococos coagulasa + fueron indetectables. Los medios de maceración también modularon las cargas microbiológicas presentes. Así, los recuentos de microorganismos aerobios mesófilos fueron claramente más altos en los calamares *sous vide* y asados que fueron macerados con extracto de tocoferol (4,63-4,96 Log UFC/g), y disminuyeron drásticamente en el producto macerado con extracto de romero (2,38-2,90 Log UFC/g). Los productos control y con acerola presentaron recuentos intermedios de mesófilos. Por tanto, la carga microbiológica de partida parece tener mucho que ver con lo que sucede en la maceración.

Tabla 38. Recuentos microbiológicos determinados en el calamar crudo macerado (Log UFC/ g)

	A1	A2	R1	R2	T1	T2	C	
	M	M	M	M	M	M	M	ESM
Aerobios mesófilos totales	3,54 ^d	3,41 ^e	2,90 ^f	2,38 ^g	4,63 ^b	4,96 ^a	3,72 ^c	0,009
Enterobacterias totales	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Estafilococos coagulasa +	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND							
<i>Salmonella spp.</i>	ND							
<i>Escherichia coli</i>	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	

Abreviaturas: A1: Acerola 1,5 %; A2: Acerola 2 %; R1: Romero 1,5 %; R2: Romero 2 %; T1: Extracto de tocoferol 1,5 %; T2: Extracto de tocoferol 2 %; C: Control; M: Media; ESM: Error Estándar de la Media; ND: No Detectado en 25 g.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

La **tabla 39** muestra los recuentos microbiológicos para el calamar *sous vide* y asado. En general, el cocinado redujo la carga de aerobios mesófilos totales, como resultado del tratamiento térmico aplicado. De nuevo, no se detectaron microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp* y *Escherichia coli* en 25g y los recuentos de enterobacterias totales y estafilococos coagulasa +, estuvieron por debajo del límite de detección. Tras el cocinado, *sous vide* o asado, los recuentos más bajos de mesófilos se dieron en el calamar control (2,07-2,33 Log UFC/g) y con extracto de romero (1,69-2,10 Log UFC/g). Por contra, los recuentos más altos de aerobios mesófilos correspondieron a los calamares macerados con extracto de tocoferol (2,98-3,78 Log UFC/g). Por tanto, macerar el calamar con extractos de romero y tocoferol mejora o empeora, respectivamente, la calidad microbiológica del calamar cocinado, aunque el producto no alcanza niveles preocupantes.

Tabla 39. Recuentos microbiológicos determinados en el calamar cocinado *sous vide* y asado a la plancha (Log UFC/ g)

	A1	A2	R1	R2	T1	T2	C	
	M	M	M	M	M	M	M	ESM
Aerobios mesófilos totales (<i>sous vide</i>)	2,95 ^b	2,76 ^b	2,03 ^{cd}	1,93 ^d	3,78 ^a	3,54 ^a	2,33 ^c	0,079
Aerobios mesófilos totales (asado)	2,78 ^{bc}	2,63 ^c	2,10 ^d	1,69 ^e	2,98 ^{ab}	3,07 ^a	2,07 ^d	0,065
Enterobacterias totales	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Estafilococos coagulasa +	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
<i>Salmonella spp.</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
<i>Escherichia coli</i>	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	

Abreviaturas: A1: Acerola 1,5 %; A2: Acerola 2 %; R1: Romero 1,5 %; R2: Romero 2 %; T1: Extracto de tocoferol 1,5 %; T2: Extracto de tocoferol 2 %; C: Control; M: Media; ESM: Error Estándar de la Media; ND: No Detectado en 25 g.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

La **tabla 40** muestra los resultados del análisis proximal del calamar crudo macerado. El contenido total de humedad estuvo en porcentajes cercanos al 80 % para todas las preparaciones. Coincidiendo con los datos de rendimiento en peso, el calamar crudo control contenía más humedad (82,25 %) que el resto. De éstos, el producto A2 fue el que menos humedad tuvo (79,99 %), por tanto, el calamar retuvo hasta un 2,5 % menos de agua según el medio de maceración empleado. Esto afectó a las proporciones relativas de otros componentes. El contenido en proteína total varió según el tratamiento de maceración aplicado en un rango del 12,45 % (R2) al 15,25 % (C y A2), el contenido en lípidos totales varió del 1,68 % (T1) al 2,52 % (R2) y el contenido total de cenizas varió de un 1,72 % (C) a un 3,68 % (R1).

Tabla 40. Composición proximal del calamar entero crudo macerado (%)

	A1	A2	R1	R2	T1	T2	C	
	M	M	M	M	M	M	M	ESM
Humedad	80,76 ^c	79,99 ^d	80,14 ^d	81,78 ^b	80,77 ^c	80,67 ^c	82,25 ^a	0,074
Proteínas	14,92 ^b	15,25 ^a	13,93 ^c	12,45 ^d	14,77 ^b	14,03 ^c	15,25 ^a	0,041
Lípidos	1,98 ^c	2,26 ^b	2,24 ^b	2,52 ^a	1,68 ^d	1,93 ^c	1,77 ^d	0,021
Cenizas	2,32 ^d	2,49 ^d	3,68 ^a	3,23 ^b	2,73 ^c	3,33 ^b	1,72 ^e	0,037

Abreviaturas: A1: Acerola 1,5 %; A2: Acerola 2 %; R1: Romero 1,5 %; R2: Romero 2 %; T1: Extracto de tocoferol 1,5 %; T2: Extracto de tocoferol 2 %; C: Control; M: Media; ESM: Error Estándar de la Media. Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Con independencia de la técnica utilizada, el cocinado disminuyó el contenido en humedad y aumentó la proporción de los otros componentes del calamar (**tabla 41**). Para el cocinado *sous vide*, el contenido en humedad del calamar disminuyó un 3-4 % con respecto al calamar crudo, siendo de nuevo el producto control el que más humedad retuvo (78,44 %). En cambio, todos los calamares *sous vide* “Clean Label” presentaron valores de humedad entre el 76 y 77 %. El mayor porcentaje proteico fue para los productos T1 y C (16,2 %) y el más bajo fue para el producto R2 (14,63 %). Los lípidos totales estuvieron en un rango entre el 2,44 % (T1) y el 3,65 % (R2), mientras que las cenizas aumentaron tras el cocinado *sous vide* hasta valores entre 2,47 % (C) y 4,68 % (T2). Como cabía esperar, el asado a la plancha intensificó la deshidratación. De nuevo, el calamar asado control tuvo más humedad (76,97 %) que el resto (74,43-75,88 %). Al igual que en el cocinado anterior, el producto control tuvo más proteínas (18,03 %) que el resto (16,66-17,66 %), excepto el producto A2 (17,96 %). El contenido lipídico estuvo en un rango del 2,02 % (T1) a 3,18 % (R1), y el de cenizas en un rango del 2,61 % (C) al 4,85 % (T1). Por tanto, emplear medios de maceración “Clean Label” proporcionó un calamar cocinado con menos agua, menos proteínas y más cenizas.

Tabla 41. Composición proximal del calamar macerado cocinado (%)

	A1	A2	R1	R2	T1	T2	C	
Sous vide (1)	M	M	M	M	M	M	M	ESM
Humedad	77,55 ^{ab}	76,91 ^{ab}	76,84 ^{ab}	77,09 ^{ab}	76,89 ^{ab}	76,25 ^b	78,44 ^a	0,435
Proteínas	15,22 ^{ab}	15,88 ^{ab}	15,22 ^{ab}	14,63 ^b	16,24 ^a	15,82 ^{ab}	16,19 ^a	0,279
Lípidos	3,15 ^{ab}	3,24 ^{ab}	3,49 ^{ab}	3,65 ^a	2,44 ^c	3,22 ^{ab}	2,89 ^{bc}	0,139
Cenizas	4,07 ^{ab}	3,96 ^b	4,44 ^{ab}	4,39 ^{ab}	4,45 ^{ab}	4,68 ^a	2,47 ^c	0,135
Asado (2)								
Humedad	75,28 ^c	74,81 ^d	74,43 ^e	75,44 ^c	75,88 ^b	75,62 ^{bc}	76,97 ^a	0,070
Proteínas	17,22 ^c	17,96 ^{ab}	17,66 ^b	16,83 ^d	17,25 ^c	16,66 ^d	18,03 ^a	0,071
Lípidos	2,98 ^{ab}	2,89 ^b	3,22 ^a	3,18 ^a	2,02 ^d	2,95 ^{ab}	2,39 ^c	0,057
Cenizas	4,36 ^{cd}	4,28 ^d	4,63 ^{ab}	4,53 ^{bc}	4,85 ^a	4,77 ^a	2,61 ^e	0,049

Abreviaturas: A1: Acerola 1,5 %; A2: Acerola 2 %; R1: Romero 1,5 %; R2: Romero 2 %; T1: Extracto de tocoferol 1,5 %; T2: Extracto de tocoferol 2 %; C: Control; M: Media; ESM: Error Estándar de la Media. Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Discusión

La utilización de ingredientes naturales en la maceración de cefalópodos supone un desafío en la industria alimentaria debido, entre otros factores, a la falta de conocimiento sobre sus efectos conservantes a largo plazo. Los beneficios de estos extractos naturales se encuentran bien documentados, como en la conservación de frutas y verduras o en la mejora del sabor de las carnes, si bien los estudios específicos sobre su utilización en calamares son muy escasos. El procesado de calamares en la industria suele llevarse a cabo utilizando aditivos que contienen ácido cítrico, citratos de sodio y sales, con el objetivo de aumentar la capacidad de retención de agua, mejorar la textura y el sabor y proporcionar cierta protección antioxidante y antibacteriana. En el presente ensayo, los calamares macerados con citrato de sodio obtuvieron un mayor rendimiento y menores pérdidas por cocción que los macerados con los 3 extractos naturales testados, con diferencias entre el 10-15 %. La mejora en el rendimiento en peso del producto se debería sobre todo a la salmuera empleada. Como se ha comentado, la adición de NaCl aporta una mayor retención de jugos durante el marinado y el

cocinado debido a la formación de complejos entre la sal y las proteínas presentes en el alimento. Cuando la sal se disuelve, los iones sodio se unen las proteínas musculares alterando su estructura tridimensional y aumentando su capacidad para retener agua, lo que resulta en una menor pérdida de jugo (Lavado, 2018). Es importante mencionar que las pérdidas por cocción son mayores para el asado a la plancha que para el cocinado *sous vide* según el tipo de macerado, circunstancia que hay que tener en cuenta a la hora de elegir el medio de maceración más idóneo.

El análisis sensorial aportó resultados positivos, aunque con matizaciones. El medio con citrato de sodio proporcionó calamares cocinados con un color, olor, sabor y textura típicos para este producto. Sin embargo, los calamares macerados con los 3 extractos vegetales presentaron más manchas rosáceas antes y después del cocinado a la plancha. Este fenómeno puede ser quizás el resultado de la oxidación de los pigmentos durante el almacenamiento en congelación previo al tratamiento y que no se habría resuelto con la adición de estos ingredientes. Las actividades antimicrobianas y antioxidantes de este tipo de extractos vegetales son bastante bien conocidas. Por ejemplo, el extracto de romero ha demostrado mejorar la estabilidad oxidativa en productos cárnicos congelados durante 9 meses (Teruel et al., 2015) debido a su contenido en diterpenos, como el ácido carnósico y rosmarínico (Birtić et al., 2015), y triterpenos, fenoles y flavonoides (Borrás-Linares et al., 2014). La acerola proporciona actividad antioxidante debido a un elevado contenido en vitamina C (Arroxelas et al., 2005) y carotenoides (Müller et al., 2010). Los tocoferoles han demostrado ser eficaces inhibidores de la oxidación lipídica (Barbosa et al., 2013). Feng et al. (2020) observaron que la adición de tocoferol (500 mg/ kg) retardó los cambios de color en salchichas de pescado refrigerados, ejerciendo efectos antioxidantes y retardando la oxidación de las proteínas. Sin embargo, los tocoferoles y la vitamina C son compuestos sensibles a la luz y a la temperatura, por lo que pueden degradarse durante el procesado (Yan y McClements., 2013).

Las diferencias de olor y sabor encontradas podrían ser debidas a la presencia de compuestos aromáticos propios con los que el consumidor no se encuentra familiarizado o no los relaciona con el calamar cocinado. Como se ha comentado, extracto de romero proporciona olores y sabores herbales característicos de esta planta. Igual ocurre con la acerola, una especie de ciruela cítrica que puede aportar sabores ligeramente ácidos.

En lo que refiere a la textura, los calamares macerados con citrato de sodio alcanzan una textura más jugosa, firme y elástica, propia de un producto turgente. Tal y como se ha mencionado, el citrato de sodio tiene un efecto tamponador, aleja el pH del punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares, aumentando su capacidad para retener agua. Teniendo en cuenta que todos los medios de

maceración contenían salmuera al 3 %, el citrato de sodio, bien sea por la aportación extra de sodio, o bien por su efecto tamponador, proporciona un efecto macerador adicional que no se consigue con los extractos de acerola, romero y tocoferol.

Los recuentos microbiológicos realizados indican que las materias primas y el método de elaboración utilizados son apropiados para garantizar la seguridad de este producto. La ausencia de microorganismos patógenos y los bajos recuentos de aerobios mesófilos, estafilococos coagulasa + y enterobacterias permiten comercializar un producto seguro para la salud de los consumidores. El extracto de romero proporcionó un efecto antimicrobiano adicional con independencia de la técnica de cocinado. La actividad antimicrobiana del romero es bien conocida, atribuyéndose sobre todo al ácido rosmarínico, ácido carnósico y el carnosol (Rožman y Jeršek, 2009) y a compuestos volátiles como 1,8-cineol, alcanfor, eugenol y α -pineno (Abdollahzadeh et al., 2014; Alves de Azeredo et al., 2011; Ojeda-Sana et al., 2013; Teixeira et al., 2013). Por ejemplo, la adición de extracto de romero, un aditivo natural registrado con número E, contribuyó a reducir la carga microbiana en hamburguesas de pollo refrigeradas (Gao et al., 2019) y en conservas de bonito mantenidas casi dos años a temperatura ambiente (Kinay y Duyar, 2021).

Algunos polifenoles de romero pueden alterar el orden de los lípidos en las membranas celulares inhibiendo el crecimiento bacteriano (Moreno et al., 2006). Por ejemplo, el carnosol disminuye el número y/o la movilidad de las moléculas de agua ubicadas en la región polar de los fosfolípidos de la membrana, alterando fuertemente el orden de los lípidos en el núcleo hidrofóbico de la membrana (Jordán et al., 2014; Pérez-Fons et al., 2010). El medio control también arrojó bajos recuentos de microorganismos aerobios mesófilos, lo que sugiere que la adición de extra de sodio con el citrato podría haber mejorado la retención osmótica de agua en el calamar, contribuyendo a controlar las cargas microbianas. La presencia de electrolitos puede alterar el equilibrio osmótico del entorno que rodea a los microorganismos, generando cierta pérdida de agua para reestablecer el equilibrio, lo que puede reducir su actividad metabólica y ralentizar su crecimiento (Cadena, 2019).

La composición proximal presentó unos valores interesantes desde el punto de vista nutricional, propios de un alimento rico en proteínas. Los calamares crudos macerados con el medio con citrato de sodio retuvieron hasta un 4 % más agua con respecto a los medios "Clean Label". El contenido en proteínas del calamar crudo macerado osciló en un rango bastante pequeño, excepto para el calamar crudo con más extracto de romero, porque la materia prima probablemente contenía más grasa. El contenido en proteínas depende de factores como el estado de maduración del calamar, tamaño de la especie y alimentación, entre otros, y, por tanto, puede variar (Cabello et al., 2004). La maceración

también puede eliminar proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares solubles en los medios salinos. Los extractos vegetales como el de romero poseen cierto contenido en proteínas (5 % aproximadamente) (Ponce et al., 2015), mientras que el contenido proteico de la acerola es bajo y depende del estado de madurez del fruto, siendo del 1,2 % aproximadamente cuando el fruto es inmaduro y disminuye hasta 0,2 % cuando llega a la madurez (Moura et al., 2018).

Por otro lado, el contenido en lípidos fue algo menor en los calamares crudos macerados con extractos de tocoferoles y citrato de sodio. En teoría, ello podría deberse a que los extractos de acerola y romero contenían un 0,5 % y 0,9 % de lípidos, respectivamente (información facilitada por el proveedor). El contenido en cenizas varió ligeramente según el extracto empleado y sería algo menor en el producto con citrato de sodio porque retuvo más agua. Durante el proceso de maceración, los minerales y compuestos inorgánicos presentes en los extractos pueden disolverse en el medio acuoso y difundir al tejido del calamar, incrementando así el contenido en cenizas. No obstante, por las cantidades adicionadas y el método de inmersión empleado, no parece que la composición de los extractos pueda tener un efecto relevante sobre la composición del calamar crudo, salvo por la mayor o menor retención de agua. El agua ganada por el calamar durante la maceración estaría débilmente retenida y puede perderse con cierta facilidad durante cocinado. Como se ha visto, se produjo cierta pérdida de jugos tras el tratamiento térmico, que incrementó la proporción relativa de proteínas, lípidos y cenizas. El calor potencia la pérdida de jugos y puede concentrar otros componentes del calamar. La pérdida de jugos fue mayor en el calamar asado que en el calamar *sous vide*.

Las pequeñas diferencias de composición observadas entre los diferentes calamares “Clean Label” podrían deberse a las materias primas. Hay que tener en cuenta que la composición proximal de los cefalópodos es variable y no siempre es posible estandarizar la materia prima. Los extractos vegetales, dependiendo de su composición y los disolventes utilizados, pueden contener más o menos sustancias higroscópicas, lo que también podría explicar las pequeñas diferencias encontradas entre productos etiqueta limpia.

Conclusión

El uso de medios con extractos de romero, acerola y tocoferoles podría ser una alternativa a los aditivos químicos empleados habitualmente en la industria para macerar el calamar, proporcionando un producto cocinado aceptable y seguro microbiológicamente. Además, probablemente aportan compuestos activos, como vitaminas y compuestos fenólicos, con potenciales efectos positivos para

la salud, cuestión en la que habrá que profundizar. Su principal limitación es que no poseen las propiedades de retención de agua que aporta el citrato de sodio en los medios convencionales, lo que le resta eficacia tecnológica. Será necesario seguir investigando para conseguir desarrollar nuevos productos “Clean label” de calamar que posean cualidades similares o mejores que los productos convencionales. No menos importante es poner en valor el precio y la disponibilidad de estos medios de maceración para implementar su uso en la fabricación industrial.

6.7. DESARROLLO DE UN NUEVO CALAMAR COCINADO Y ENVASADO AL VACÍO CON SALSA

Introducción

Como se ha comentado, los consumidores buscan soluciones de conveniencia rápidas y fáciles que satisfagan sus necesidades alimenticias. Los productos refrigerados y envasados al vacío ofrecen la ventaja de poder ser consumidos directamente del envase, sin necesidad de preparación adicional, lo que los convierte en una opción ideal para comidas rápidas. Con el envasado al vacío, estos alimentos retienen más jugos, se oxidan menos y mantienen su frescura y calidad por más tiempo, lo que los convierte en una opción atractiva para aquellos que buscan prácticas alternativas sin comprometer el sabor o los nutrientes. Estos productos ofrecen una solución conveniente para aquellos que deseen disfrutar de los beneficios de los productos de la pesca sin el esfuerzo de prepararlos. El calamar cocinado puede envasarse con diversas salsas preparadas para diversificar la oferta de este tipo de platos. Conocer algunas propiedades nutricionales, como su contenido en proteínas y grasa, o su perfil de ácidos grasos, podría ayudar a comercializar este tipo de productos.

Objetivo

Desarrollar un nuevo producto a base de calamar mediante la adición automática de diferentes salsas (preparado “vizcaína” y ajo y perejil).

Experimental

Se utilizaron calamares de tamaño homogéneo (250-350 g) que fueron descongelados y macerados. A continuación, se evisceraron conservando el manto, la parte comestible de la cabeza y los tentáculos, se pelaron mecánicamente y se cocinaron durante 35 ± 2 min a 65°C en una marmita de cocción con agua caliente (Palinox, mod. MC-1000-R, Sabadell, Barcelona, España) provista de cestas de acero inoxidable. Una vez cocinados, se enfriaron en tinas con agua y hielo durante 5 min.

La adición de salsas y el envasado al vacío se llevaron a cabo en una dosificadora automática (Teycomur, Ceutí, Murcia, España) fabricada en exclusiva para la empresa colaboradora (**figura 69**)

acoplada a una termoformadora TFS2000-MSV (ULMA Packaging, Guipúzcoa, España). La dosificadora cuenta con un depósito de capacidad de 20 L en la parte superior, que alberga el líquido y 5 inyectores (uno para cada cavidad de la termoformadora) y permite ajustar la cantidad de salsa a añadir. Los calamares cocinados se envasaron en un film microondable compuesto por ocho capas de polietileno (70 %) y poliamida (30 %) (Cryovac, Sant Boi de Llobregat, Barcelona, España), se colocaron en la termoformadora (**figura 70**), se añadió la salsa (50 ml) (2-4 °C) y, a continuación, se realizó el envasado al vacío (**figura 71**). La **figura 72** muestra el diagrama de flujos del proceso de fabricación.

Figura 69. Dosificadora automática de salsas



Figura 70. Calamares cocinados en termoformadora para su envasado al vacío



Se probaron dos formulaciones comerciales para salsa: (1) ajo y perejil deshidratado y; (2) un preparado sabor “vizcaína” compuesto por azúcar, sal, hortalizas deshidratadas, aroma, especias y extractos de especias. La composición exacta de los preparados no fue suministrada por el proveedor.

Las salsas se cocinaron en una olla doméstica con agua hirviendo (100 °C) durante 5 min, añadiendo la dosis de formulado recomendada por el fabricante (48 g/ l). El calentamiento se hizo en una placa de inducción (Balay, mod. 3EB965 LR, BSH electrodomésticos, España S.A, Zaragoza, España). Transcurrido este tiempo, la salsa se introdujo en frascos de vidrio que se enfriaron en una cámara a -3 °C. Una vez que la salsa alcanzó 2-4 °C, los frascos se almacenaron en una cámara de refrigeración manteniendo la temperatura hasta su uso (2-3 h).

Figura 71. Calamar cocinado envasado al vacío con diferentes salsas



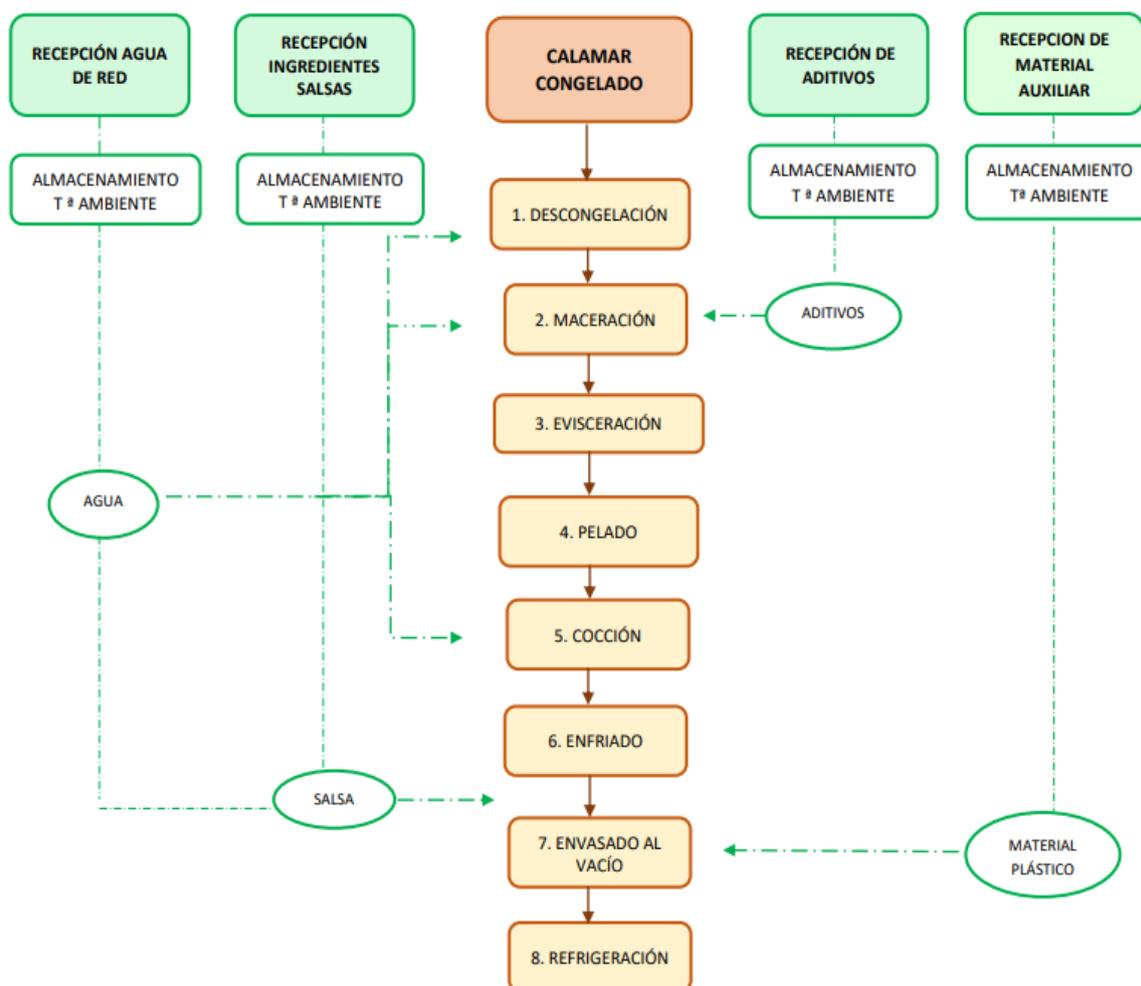
Ajo y perejil



Sabor “vizcaína”

El calamar con salsa envasado se empaquetó en cajas de Porexpan de 3 kg de capacidad y se almacenó en una cámara de refrigeración (0-4 °C). Tomando como referencia la caducidad de la sepia refrigerada (6 días) comercializada por la empresa colaboradora, se realizó un estudio de vida útil evaluando la calidad sensorial durante 0, 4, 6, 8 y 12 días de almacenamiento, junto con los controles microbiológicos preceptivos de microorganismos aerobios mesófilos, enterobacterias, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, y *Estafilococos coagulasa +*.

Figura 72. Diagrama de flujos del proceso de elaboración de calamar cocinado y envasado con salsa



Como en ensayos precedentes, la valoración sensorial de los atributos de olor, color, sabor y textura se realizó empleando una escala consensuada de 1-5 (**tabla 42**), construida a partir de muestras recién fabricadas y mantenidas a 2-4 °C hasta 12 días. Para ello, los calamares precocinados refrigerados se atemperaron a temperatura ambiente durante 30 min, se calentaron durante 2 min en un microondas doméstico a 800 W / 2460 MHz, (Mod 3C65172NZ Balay, BSH electrodomésticos España S.A, Zaragoza, España) se sacaron del envase y se cortaron en porciones para su evaluación sensorial. Finalmente, como reclamo nutricional, se identificaron los ácidos grasos mayoritarios mediante cromatografía de gases un dispositivo acoplado a un detector de ionización de llama (GC-FID) (ver material y métodos) y se calcularon algunos índices nutricionales relacionados (ver pie de tablas).

Tabla 42. Escalas sensoriales de puntuación para el calamar cocinado en salsa

Atributos	Puntuación	Descripción
Color del manto	Muy bueno (5)	Color rosáceo
	Muy deficiente (1)	Color púrpura
Sabor	Muy bueno (5)	Sabor suave, a calamar
	Muy deficiente (1)	Sabores intensos a pescado
Olor	Muy bueno (5)	Olor suave, a calamar
	Muy deficiente (1)	Olores intensos a pescado
Textura	Muy bueno (5)	Firme y elástico
	Muy deficiente (1)	Blando y gomoso

Resultados

La **tabla 43** recoge por separado la evaluación sensorial del calamar envasado al vacío con salsa de ajo y perejil (S1) o “vizcaína” (S2). Las diferencias sensoriales encontradas para ambos productos en los días 0 y 4 fueron mínimas. A partir del día 6, las puntuaciones sensoriales disminuyeron gradualmente. El color fue bastante difícil de evaluar debido a que la salsa enmascaraba los cambios en el color del manto. El color del calamar con salsa de ajo y perejil comenzó a alterarse en el día 6 (de 4,8 a 4,1), alcanzando una puntuación final de 3,5, mientras que la nota de color del calamar con salsa “vizcaína” bajó de 4,5 (día 0) a 3,9 (día 8) y 3,0 (día 12).

La puntuación de olor disminuyó partir del día 6 en ambos calamares, alcanzando valores finales muy bajos, tanto en el producto con salsa de ajo y perejil (2,0), como con salsa “vizcaína” (1,8). Los catadores detectaron que el olor era muy intenso y ligeramente ácido en el día 12. Los cambios de sabor fueron similares, aunque algo menos intensos. En el producto con ajo y perejil, la pérdida del sabor original comenzó a detectarse en el día 6 (de 4,7 a 4,2) hasta alcanzar una puntuación final de 2,7, mientras que ocurrió algo parecido en el calamar con salsa “vizcaína”, con una bajada de 4,8 a 4,1 en el día 6 y una puntuación final muy baja (1,5).

La textura se comportó de forma similar al resto de atributos sensoriales. El reblandecimiento detectado en el día 6 fue algo menor en el calamar con salsa de ajo y perejil (de 4,7 a 4,2) que con salsa “vizcaína” (de 4,7 a 3,0), alcanzando puntuaciones finales de 2,4 y 1,6, respectivamente. La

sensación en boca durante los días 0, 4 y 6 fue de un producto firme y elástico; sin embargo, a partir del día 8, la textura era blanda y ligeramente gelatinosa. En conjunto, ambos productos mantuvieron su calidad sensorial intacta hasta el sexto día en refrigeración, lo cual podría ser tomado como una referencia de su vida comercial.

Tabla 43. Evaluación sensorial del calamar cocinado envasado con diferentes salsas

Día	Ajo y perejil (S1)					ESM	"Vizcaína" (S2)					ESM
	0	4	6	8	12		0	4	6	8	12	
	M	M	M	M	M		M	M	M	M	M	
Color	4,8 ^a	4,4 ^{ab}	4,1 ^{bc}	3,8 ^{cd}	3,5 ^d	0,13	4,5 ^a	4,5 ^{ab}	4,0 ^{ab}	3,9 ^b	3,0 ^c	0,13
Olor	4,7 ^a	4,7 ^a	3,7 ^b	2,5 ^c	2,0 ^c	0,13	4,7 ^a	4,7 ^a	3,7 ^b	3,0 ^b	1,8 ^c	0,15
Sabor	4,7 ^a	4,8 ^{ab}	4,2 ^{bc}	3,7 ^c	2,7 ^d	0,12	4,8 ^a	4,4 ^{ab}	4,1 ^{bc}	3,5 ^c	1,5 ^d	0,14
Textura	4,7 ^a	4,8 ^a	4,2 ^b	3,3 ^c	2,4 ^d	0,08	4,6 ^a	4,5 ^a	3,0 ^b	2,2 ^c	1,6 ^c	0,15

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Las **tablas 44 y 45** muestran los recuentos microbiológicos realizados durante el almacenamiento del calamar cocinado y envasado con ambas salsas. Ambos productos cumplieron con los criterios microbiológicos que establece el Reglamento (CE) nº 1441/2007, ya que no contenían microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp.*, y presentaron recuentos indetectables de enterobacterias y Estafilococos coagulasa +. Solo se produjo un ligero aumento en los recuentos de microorganismos aerobios mesófilos tras los 12 días de almacenamiento, con valores de 2,41 a 2,54 Log UFC/g y de 2,08 a 2,48 Log UFC/g para el calamar con salsa de ajo y perejil y "vizcaína", respectivamente. Por tanto, la carga de microorganismos alterantes estuvo controlada en todo momento por el cocinado, el envasado y la refrigeración.

La evaluación conjunta indicó que la vida útil (fecha de consumo preferente) del calamar cocinado, envasado al vacío en salsa y mantenido en refrigeración, estaría limitada sobre todo por el deterioro sensorial, a partir de los 6-8 días, debido a alteraciones en su apariencia, olor, sabor y textura.

Tabla 44. Recuentos microbiológicos del calamar cocinado envasado con salsa de ajo y perejil

Calamar elaborado con salsa de ajo y perejil (S1)						
Tiempo (días)	0	4	6	8	12	
	M	M	M	M	M	ESM
Aerobios mesófilos (Log UFC/g)	2,41 ^d	2,46 ^{bc}	2,48 ^b	2,45 ^c	2,54 ^a	0,005
Enterobacterias (Log UFC/g)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
<i>Salmonella spp.</i>	ND	ND	ND	ND	ND	
<i>L. monocytogenes</i>	ND	ND	ND	ND	ND	
<i>E. coli</i> (Log UFC/g)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Estafilococos coagulasa + (Log UFC/g)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media; ND: No Detectado; UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Tabla 45. Recuentos microbiológicos del calamar cocinado envasado con salsa "vizcaína"

Calamar elaborado con salsa "vizcaína" (S2)						
Tiempo (días)	0	4	6	8	12	
	M	M	M	M	M	ESM
Aerobios mesófilos(Log UFC/g)	2,08 ^c	2,40 ^b	2,43 ^b	2,43 ^b	2,48 ^a	0,008
Enterobacterias (Log UFC/g)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
<i>Salmonella spp.</i>	ND	ND	ND	ND	ND	
<i>L. monocytogenes</i>	ND	ND	ND	ND	ND	
<i>E. coli</i> (Log UFC/g)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Estafilococos coagulasa + (Log UFC/g)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media; ND: No Detectado; UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Las **tablas 46 y 47** muestran los resultados del perfil de ácidos grasos del calamar cocinado sin salsa y con salsas de ajo y perejil y "vizcaína". Considerando todos los ácidos grasos cuantificados como el 100 %, los lípidos contenían un 34-36 % de ácidos grasos saturados, con un mayor porcentaje para el calamar con ajo y perejil (36,04 %), por un 7-10 % de ácidos grasos monoinsaturados, siendo de nuevo el mayor valor para el calamar con ajo y perejil (10,05 %) y, como grupo mayoritario, por un 53-57 % de ácidos grasos poliinsaturados, con un mayor porcentaje para el calamar con salsa "vizcaína" (56,67 %). Los ácidos grasos saturados más abundantes fueron palmítico (26-27 %), esteárico (5,39 para S0, 5,10 para S1 y 4,5 para S2) y mirístico, encontrándose la mayor cantidad en S1 (3,52) seguido de S0 (3,21) y S2 (2,53). Los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes fueron oleico (4,82 para S0 3,73 para S1 y 3,26 y para S2), gondoico (sobre el 3,5 %) y vaccénico (sobre el 1,5 %) para todas las preparaciones. Los ácidos grasos poliinsaturados mayoritarios fueron dosahexaenoico (DHA), con valores entre el 33-36 %, siendo mayor para S2 (35,72); eicosapentaenoico (EPA), con un 16-18 %, encontrándose en mayor proporción en S2 (17,73); y el ácido araquidónico con un 1-2 %. La suma de los ácidos grasos n-3 y n-6 supuso entre el 53-57 % del total, encontrándose mayor cantidad de n-3 (51-55 %) que de n-6 (2 % aproximadamente). La relación n-6/ n-3 fue del 0,03-0,05, un valor muy aconsejable desde un punto de vista nutricional.

Tabla 46. Perfil de ácidos grasos del calamar cocinado sin salsa y con ajo y perejil y "vizcaína"

Grupos de ácidos grasos	Sin salsa	Ajo y perejil	"Vizcaína"	ESM
	M	M	M	
Σ AGS (%)	35,22 ^b	36,04 ^a	34,23 ^c	0,147
Σ AGM (%)	7,76 ^a	10,05 ^a	9,09 ^a	1,785
Σ AGP (%)	54,09 ^b	53,73 ^b	56,67 ^a	0,194
Σ AGP/ Σ AGS	1,54 ^b	1,49 ^c	1,66 ^a	0,007
Σ n-3 (%)	51,63 ^b	51,47 ^b	54,76 ^a	0,167
Σ n-6 (%)	2,31 ^a	2,19 ^a	1,94 ^a	0,111
Σ n-6/n-3	0,05 ^a	0,04 ^a	0,03 ^b	0,001

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Tabla 47. Ácidos grasos mayoritarios (abundancia relativa) en calamar cocinado sin salsa y envasado con salsa de ajo y perejil y "vizcaína"

Ácidos grasos	Sin salsa	Ajo y perejil	"Vizcaína"	ESM
	M	M	M	
C14:0 (ácido mirístico)	3,21 ^a	3,52 ^a	2,53 ^b	0,073
C14: 1n-5c (ácido miristoleico)	< 0,01	0,19	< 0,01	
C15:0 (ácido pentadecanoico)	0,19 ^b	0,35 ^a	< 0,01	0,009
C16:0 (ácido palmítico)	26,03 ^a	26,46 ^a	26,65 ^a	0,193
C16:1 n-7 cis (ácido palmitoleico)	0,71 ^b	0,94 ^a	0,68 ^b	0,013
C17:0 (ácido margárico)	0,40 ^b	0,61 ^a	0,50 ^{ab}	0,042
C17: 1 n-7c (ácido cis-10-heptadecenoico)	< 0,01	0,18	< 0,01	
C18:0 (ácido esteárico)	5,39 ^a	5,10 ^a	4,5 ^b	0,106
C18:1 n-12c (ácido petroselinico)	0,10 ^b	< 0,01	0,16 ^a	0,004
C18:1 (ácidos trans)	< 0,01	0,18	< 0,01	
C18:1 n-9c (ácido oleico)	4,82 ^a	3,73 ^b	3,26 ^b	0,174
C18:1n-7c (ácido vaccénico)	1,46 ^a	1,51 ^a	1,48 ^a	0,017
C18:2 n-6c (ácido linoleico)	0,38 ^b	0,40 ^b	0,59 ^b	0,007
C20:1 n-9c (ácido gondoico)	3,57 ^a	3,50 ^a	3,51 ^a	0,148
C20:2 n-6c (ácido cis-11,14-eicosadienoico)	0,11 ^b	0,16 ^a	0,15 ^a	0,007
C20:3 n-3c (ácido eicosatrienoico)	0,13 ^a	0,13 ^a	0,13 ^a	0,013
C20:4 n-6c (ácido araquidónico)	1,77 ^a	1,58 ^a	1,04 ^b	0,052
C20:5 n-3c (ácido eicosapentaenoico EPA)	16,38 ^b	16,86 ^{ab}	17,73 ^a	0,235
C22:5 n-3c (ácido docosapentaenoico DPA)	1,13 ^a	1,12 ^a	1,20 ^a	0,027
C22:6 n-3c (ácido docosahexaenoico DHA)	34,12 ^{ab}	33,49 ^b	35,72 ^a	0,407
C24:1 n-9n (ácido nervónico)	0,10 ^a	< 0,01	< 0,01	

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Límite de cuantificación (LC): 0,01 g/ 100 g grasa.

Discusión

Las referencias al producto objeto de este ensayo son muy escasas. En los mercados, es más común encontrar productos crudos refrigerados envasados al vacío, principalmente pescados, pero también se ofertan cefalópodos cocidos, como patas de pulpo y dados de calamar. Es bien conocido que los tratamientos combinados de cocinado, envasado al vacío y refrigeración previenen el desarrollo de bacterias patógenas y alterantes en los alimentos (González-Fandos et al., 2005). El tratamiento tecnológico aplicado garantiza la seguridad microbiológica del calamar cocinado en salsa durante al menos 12 días en refrigeración. La carga microbiológica inicial del producto puede proceder del calamar o de la salsa, aunque también puede haber contaminación ambiental. Los microorganismos estarían fuertemente inhibidos en este producto debido a diversas razones. El producto se pasteurizó durante 35 min. Las salsas deshidratadas probablemente también fueron tratadas térmicamente en origen, cuestión no revelada por el proveedor. Además, el envasado sin oxígeno inhibe la proliferación de microorganismos aerobios alterantes, mientras que la refrigeración ralentiza el crecimiento microbiológico general.

Otros autores han reportado que el pescado cocinado y envasado presenta un amplio margen de seguridad microbiológica. Por ejemplo, se ha visto que el salmón cocinado al vacío en bolsa (a 50 °C durante 60 min) puede ser almacenado hasta 10 semanas en refrigeración sin que se produzca el crecimiento de bacterias patógenas o alterantes (Díaz, 2009). En el presente ensayo, el calamar no se pasteurizó una vez envasado, por lo tanto, no son resultados comparables. Martínez (2020), encontraron recuentos de microorganismos aerobios mesófilos menores de 4,3 Log UFC/g en patas de pulpo cocidas (100 °C durante 50 min), y envasadas al vacío, por debajo del límite máximo (6 Log UFC/g) recomendado para mariscos cocidos y refrigerados, aunque muy superiores a los presentados en este ensayo. Erdem et al. (2022) tampoco encontraron enterobacterias (< 1 Log UFC/g), *E. coli* (< 1 Log UFC/g) y estafilococos coagulasa + (< 1 Log UFC/g) en calamar cocinado *sous vide* a 95 °C durante 10 min y almacenado a 4 °C. A pesar de que el envasado al vacío reduce el crecimiento microbiano debido a la baja presión parcial de oxígeno, los cambios no se detienen y el oxígeno residual podría permitir el crecimiento de bacterias aerobias o microaerófilas, así como de mohos y levaduras (Coşansu y Haskaraca, 2022).

Los componentes utilizados en las salsas eran especias e ingredientes deshidratados. Las especias pueden ser utilizadas como condimentos e incluso como conservantes gracias a sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes. Poseen metabolitos secundarios como alcaloides, compuestos

fenólicos, terpenoides o flavonoides y otros compuestos bioactivos que proporcionan aroma, sabor y propiedades medicinales (Moulick et al., 2023). La utilización de hortalizas deshidratadas puede reducir la baja actividad de agua y, por tanto, la actividad microbiológica (Pellissery et al., 2020), siendo una alternativa al uso de verduras frescas perecederas (Noor et al., 2024; Shah et al., 2022;). La combinación de ajo y perejil aporta un sabor reconocible, ampliamente utilizado en la dieta mediterránea en diversas preparaciones. Gracias a la alicina, un derivado del aminoácido cisteína, el ajo posee numerosos beneficios para la salud debido a su poder antioxidante, antitumoral, antimicrobiano y antiviral (Amagase, 2006). El perejil, además de aportar aroma y sabor, posee propiedades antioxidantes, antimicrobianas, citoprotectoras y analgésicas, entre otras (Farag et al., 2021) por su contenido en flavonoides, cumarinas, carotenoides, ácido ascórbico y ácido α -linolénico (Essa et al., 2024). Otro ingrediente utilizado es la sal que, como se ha comentado anteriormente, potencia el sabor de los alimentos, mejora la textura (Rybicka et al., 2022; Saavedra et al., 2022) y tiene acción bacteriostática (Gomes et al., 2021; Tahergorabi et al., 2012). La incorporación de mezclas de especias y/o sal con propiedades antioxidantes y antimicrobianas no sólo mejora el sabor, sino que también podrían estabilizar el calamar y presentar beneficios para la salud.

Una vez garantizada la calidad microbiológica, la vida útil o fecha de consumo preferente del calamar viene determinada por su deterioro sensorial debido a los procesos oxidativos. Durante el almacenamiento en refrigeración se producen cambios en la estructura del pescado como la desnaturalización de proteínas (Cropotova et al., 2018) y la oxidación de las grasas, favorecida por la alta insaturación de ésta. Estos procesos pueden alterar la textura, el color, el olor y el sabor, resultando en una pérdida de firmeza, cambios en el color, rancidez y sabores anómalos, que reducen su aceptación (Díaz, 2009). Mol y Conşansu, (2012) observaron una pérdida progresiva de la calidad sensorial en bonito cocinado al vacío (70 °C durante 10 min) y almacenado a 4 °C, arrojando valores inaceptables en el día 18. Resultados similares fueron presentados por Pongsetkul et al., (2021), quienes estudiaron el almacenamiento en refrigeración (4 °C) de filetes de tilapia cocinados al vacío a diferentes temperaturas y tiempos. Para todas las muestras, la puntuación de los atributos sensoriales disminuyó a partir del día 14 de almacenamiento. Otro factor a tener en cuenta son las condiciones de cocinado. Por ejemplo, Faxhom et al. (2018) observaron que los calamares cocidos al vacío durante un tiempo excesivo (55 °C durante 90 min) presentaban una textura más blanda y deficiente que al emplear menos tiempo (30 min). Además, los tiempos de cocción prolongados generan un sabor amargo y una sensación de sobrecocido.

El músculo del calamar posee un bajo contenido en lípidos, compuesto en gran medida por ácidos grasos poliinsaturados que pueden ser incorporados con la dieta y transferidos al músculo sin sufrir modificaciones (Phillips et al., 2001). La composición varía según la especie, hábitat, edad, alimentación y época de captura, entre otros factores (Aubourg et al., 2021a; Zhang et al., 2020). Algunos ácidos grasos poliinsaturados solo pueden ser sintetizados por organismos específicos, como ciertas especies de fitoplancton y microalgas y no pueden ser sintetizados por la mayoría de los organismos heterotróficos (Fluckiger et al., 2008). No obstante, algunos lípidos del calamar cumplen funciones estructurales específicas y éste puede modificar su composición en el músculo según sus necesidades.

El calamar cocinado con y sin salsa, alcanza porcentajes de ácidos grasos poliinsaturados de más del 50 % del total. Destaca el alto contenido en DHA (33-35 %) y EPA (16-18 %). Los resultados de DHA del presente ensayo concuerdan con los publicados por otros autores en otras especies de calamar crudo refrigerado como *Moroteuthis ingens* (35 %) (Phillips et al., 2001) y en *Loligo vulgaris* (32 %) (Salman et al., 2007; Zlatanov et al., 2006) y 32-39 % en condiciones de congelación (Atayeter y Erkoşkun, 2011). Sin embargo, en otros estudios publicados sobre calamar frito con aceite de girasol, los valores de DHA son inferiores, arrojando cantidades de DHA del 1,68 % (Czech et al., 2014) en especies de *Todarodes pacificus* y del 10,1 % en *Loligo vulgaris* (Kalogeropoulos et al., 2004). Ello podría explicarse porque las altas temperaturas (> 170 °C) y el contacto con el oxígeno provoca la degradación térmica por oxidación y la lixiviación de los lípidos al medio de cocción (Martelli et al., 2013; Ozogul et al., 2015). También por la impregnación con el aceite de girasol, que es más pobre en ácidos grasos poliinsaturados. Respecto al EPA, los valores presentados en este ensayo son parecidos a los publicados por otros autores en calamar crudo. Por ejemplo, Zlatanov et al. (2016) obtuvieron valores de 13,96 % en *Loligo vulgaris*, similares a los obtenidos por Salman et al. (2007) (14,6 %). Al igual que sucede con el DHA, los valores de EPA en calamares fritos fueron inferiores a los presentados, siendo de 0,46 % en especímenes de *Todarodes pacificus* (Czech et al., 2014) y 4,78 % en *Loligo vulgaris* (Kalogeropoulos et al., 2004).

Los ácidos grasos saturados supusieron entre el 34-36 % del total, siendo el ácido palmítico el mayoritario. Resultados similares han sido encontrados en mantos crudos de *Loligo vulgaris* (28-29 %) (Salman et al., 2007; Zlatanov et al., 2006). En calamares fritos, los valores de ácido palmítico presentados por otros investigadores fueron inferiores, siendo de 7,96 % en mantos de *Todarodes pacificus* (Czech et al., 2014) y 15,58 % en *Loligo vulgaris* (Kalogeropoulos et al., 2004). El ácido graso monoinsaturado más abundante fue el ácido oleico (3-5 %), resultados que concuerdan con el calamar

crudo analizado por otros autores (2,72-4,4 %) (Salman et al., 2007; Zlatanos et al., 2006). Sin embargo, existen grandes diferencias en el contenido de ácido oleico en los calamares fritos con aceite de girasol, con valores en torno al 21 % (Czech et al., 2014), al igual que ocurre con el ácido linoleico. Ello se explicaría por la riqueza en ácido oleico y linoleico del aceite de girasol empleado para cocinar. Los calamares cocinados en salsa apenas contenían ácido linoleico (0,3-0,6 %), coincidiendo con algunos trabajos sobre calamar crudo (0,15-0,2 %) (Salman et al., 2007; Zlatanos et al., 2006). Sin embargo, Czech et al. (2014), reportaron valores del 56,81 % en especímenes de *Todarodes pacificus*. En el presente estudio, el calamar se cocinó a baja temperatura (por debajo el punto de ebullición del agua) reduciendo la descomposición térmica de los ácidos grasos, por ello el perfil se parece al del producto crudo.

Desde un punto de vista nutricional, la ingesta de alimentos con un alto contenido en ácidos grasos n-3 y un adecuado ratio n-3/ n-6 se asocia con la prevención y tratamiento de ciertas patologías como el cáncer, hipertensión y enfermedades cardiovasculares (Akpınar et al., 2015), así como propiedades antiaterogénicas y antitrombogénicas (Henderson et al., 2008). La relación n-3/ n-6 presentada en el calamar cocinado con y sin salsas se encuentra comprendido entre 0,03-0,05, valores muy por encima de los recomendados por la Sociedad Europea de nutrición que establece que una relación 1:5 o mayor podría tener beneficios para la salud (Aubourg et al., 2021a). El consumo de alimentos ricos en ácidos grasos saturados se asocia a un aumento de la concentración de colesterol LDL y pueden facilitar el desarrollo de ciertas neoplasias en humanos y otros mamíferos, por lo que se recomienda que la ingesta diaria en AGS sea inferior al 10 % (Czech et al., 2014).

La relación AGP/ AGS indica el grado de insaturación y la estabilidad frente a la oxidación de los lípidos. En el presente ensayo, la proporción fue de 1,5-1,7, valores superiores al mínimo establecido por el Departamento de Salud Británico para la dieta humana (0,45) (Shin et al., 2021). La reducción de la ingesta de ácidos grasos saturados mejora el perfil lipídico de la sangre y aumenta la longevidad (Zheng et al., 2023).

De hecho, la Organización para Agricultura y Alimentación y la Organización Mundial de la Salud en su informe del año 2003 sobre dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas recomiendan una ingesta de grasas saturadas menor al 10 % y de grasa monoinsaturada del 15 al 30 % de la energía total.

Conclusión

La fabricación de calamar cocinado y envasado al vacío con diferentes salsas contribuye a diversificar la oferta existente en el mercado y ofrece a los consumidores una solución conveniente, práctica y saludable. No obstante, será necesario hacer un estudio sensorial de mercado con consumidores para conocer su aceptación y sus verdaderas posibilidades de comercialización. El calamar en salsa apenas alcanza una vida útil de 6-8 días, por lo que se recomienda aplicar técnicas *sous vide* u otros métodos que mejoren su estabilidad oxidativa.

6.8. DESARROLLO DE NUEVAS RABAS DE CALAMAR CRUDO ENHARINADAS SIN GLUTEN

Introducción

Los productos de la pesca enharinados son muy populares entre los consumidores gracias a su excelente calidad sensorial y su fácil y rápido modo de empleo. El rebozado con harina proporciona una textura crujiente y dorada, aporta sabores a tostado o caramelo que complementan la suavidad y el sabor natural de estos productos, proporcionando una barrera protectora durante el cocinado que ayuda a retener la humedad y preservar la jugosidad, y los hace más atractivos visualmente. Además, se trata de productos versátiles que se pueden disfrutar solos, con salsas complementarias o como parte de platos principales. Debido a estos beneficios, esta clase de productos ha experimentado un auge en los últimos años, encontrándose ampliamente distribuidos en los lineales de los supermercados, principalmente como productos congelados, lo que facilita el almacenamiento en el hogar. Sin embargo, este tipo de productos suelen estar elaborados con harina de trigo, lo que supone un problema para la población celíaca intolerante al gluten. La preocupación por este tipo de consumidores ha llevado a las industrias a desarrollar nuevos productos elaborados sin gluten que se adapten a las necesidades actuales.

Además de lo anterior, el empleo de reclamos nutricionales, como producto “bajo en grasa” o “rico en ácidos grasos n-3 u ω -3” puede ayudar a comercializar este tipo de productos de calamar. El perfil de ácidos grasos de los alimentos tiene interés nutricional y tecnológico. Las materias primas de pescado y marisco suelen tener un perfil lipídico rico en lípidos poliinsaturados, a priori más saludables, pero también más oxidables, de modo que se pueden degradar en mayor medida durante el procesado o la vida comercial. Incluso se pueden generar más compuestos tipo carbonilo y otros lípidos oxidados que presentan ciertos riesgos toxicológicos.

Objetivo

Desarrollar un nuevo producto a base de rabas de calamar enharinadas con diferentes rebozados sin gluten y encolantes aptos para la fritura y/o horneado.

Experimental

Para elaborar las rabas, se cortaron tiras de manto crudo-macerado de 1 cm (ancho) x 8 cm (largo) con un equipo Palinox CA-2000-CONG (Palinox, Sabadell, Barcelona, España) y se trataron con diversos encolantes y preparados para el enharinado (**tabla 48**).

Tabla 48. Composición de las harinas de garbanzo y texturizado de guisante

Composición proximal	Harina de garbanzo (HG)	Harina de guisante (HT)
Valor energético (kJ/kcal)	1627/386	1458/347
Grasas (g)	6,5	1,3
de las cuales saturadas (g)	0,8	0,2
Hidratos de carbono (g)	55,7	58,0
de los cuáles azúcares (g)	7,4	2,2
Fibra alimentaria (g)	9,7	12,0
Proteínas (g)	21,3	22,0
Sal (g)	<0,1	<0,1
Cenizas (g)	2,9	2,9

Los encolantes (1 l de agua + 250 g de encolante en polvo) utilizados fueron:

- E82: fécula y almidones, proteína de soja, sal, harina de altramuz, emulgentes (E-451i y E-412), conservante (E-200) y colorantes (E-160c y E-101ii)
- E76: Almidones, leche en polvo desnatada y emulgentes (E-451i, E-412 y E-415), sal y antiespumante (E-900).

La composición exacta de ambos preparados no fue suministrada por el proveedor.

Las coberturas utilizadas en cada ensayo fueron:

- Rebozado en 3 capas (primer ensayo): capa interna de harina de garbanzo (HG), capa intermedia de encolante líquido (E82 o E76) y capa externa de harina de guisante (HT).
- Rebozado simple (segundo ensayo): capa única de harina de garbanzo (HG) o guisante (HT) sin encolante.

Una vez preparadas, las rabas de calamar rebozadas se congelaron en formato IQF en un túnel espiral y se congelaron a -18 °C. Las muestras congeladas se cocinaron mediante fritura a 180 °C durante 5

min o mediante horneado doméstico a 210 °C durante 15 min, en ambos casos, hasta que quedaron doradas. A continuación, un panel formado por 10 trabajadores de la empresa realizó una evaluación sensorial de los productos. Se consensó evaluar los atributos de color, sabor, olor, crujibilidad y jugosidad en una escala de 1 a 5 construida con muestras de referencia (**tabla 49**).

Tabla 49. Escalas sensoriales de puntuación para evaluar las rabas de calamar enharinadas

Atributos	Puntuación	Descripción
Color	Muy bueno (5)	Color dorado
	Muy deficiente (1)	Color amarillo pálido o marrón
Sabor	Muy bueno (5)	Sabor suave, a calamar
	Muy deficiente (1)	Sabores rancios, aceitoso
Olor	Muy bueno (5)	Olor suave, a calamar
	Muy deficiente (1)	Olores rancios, aceitoso
Crujibilidad	Muy bueno (5)	Crujiente
	Muy deficiente (1)	Pastoso o blando
Jugosidad	Muy bueno (5)	Húmedo
	Muy deficiente (1)	Seco
Adhesividad	Muy bueno (5)	Enharinado intacto
	Muy deficiente (1)	Enharinado despegado

Una vez que se decidió el método de rebozado, se realizó un análisis de los parámetros obligatorios a declarar en la información nutricional del etiquetado según indica el Real Decreto 1334/1999. Por último, como posible reclamo nutricional, se determinó el perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases en un equipo acoplado a un detector de ionización de llama (GC-FID) y se calcularon los índices nutricionales relacionados (ver material y métodos).

Resultados

En el primer ensayo, las rabas cocinadas presentaron un aspecto homogéneo, un color dorado, un olor y sabor más o menos típico, y una textura crujiente a la vez que jugosa (**tabla 50**). Todas las muestras presentaban una coloración dorada o tostada, típica de estos productos enharinados

sometidos a un calentamiento fuerte. Las rabas horneadas obtuvieron una mayor puntuación de color (4,5) que las fritas (4,0), porque las condiciones de cocinado no proporcionaron el mismo grado de tostado. El tipo de encolante no afectó a la puntuación del color del producto cocinado por el mismo procedimiento. Algo similar sucedió para la puntuación de olor, de nuevo, las rabas fritas presentaron puntuaciones algo más bajas (3,1 y 3,5) que las horneadas (4,1 y 4,6). El tipo de encolante tampoco afectó a este atributo. Las diferencias de sabor entre tratamientos fueron todavía menos apreciables.

La puntuación de crujibilidad fue en cambio algo mayor en las rabas fritas (4,5 y 4,7) que en las horneadas (3,5 y 3,7), sin diferencias entre encolantes. La jugosidad también obtuvo mayores puntuaciones para las rabas fritas (4,2 y 4,5) que las horneadas (3,5 y 3,7), posiblemente por la absorción de aceite, de nuevo, sin diferencias entre encolantes. Por último, durante la fritura se desprendió más cantidad de harina (2,7 y 3,5) que con el horneado (4,5), lo que quizás se deba a la manipulación. En este caso, el encolante E76 con leche en polvo proporcionó más adhesividad (3,5) que el encolante E87 con proteína de soja (2,7), si bien ambos encolantes poseían características bastante similares, por lo que cualquiera de ellos podría ser válido para elaborar las rabas.

Tabla 50. Evaluación sensorial de rabas de calamar rebozadas en 3 capas con dos harinas (guisante HT y garbanzo HG) y dos encolantes (con soja E76 y leche E82) sometidas a fritura u horneado.

Tratamientos	Color	Olor	Sabor	Crujibilidad	Jugosidad	Adhesividad
	M	M	M	M	M	M
HG+E82+HT	4,0 ^b	3,5 ^b	3,8 ^b	4,5 ^{ab}	4,2 ^a	3,5 ^b
Fritura						
HG+E76+HT	3,9 ^b	3,1 ^b	4,0 ^{ab}	4,7 ^a	4,5 ^a	2,7 ^c
HG+ E82+HT	4,5 ^a	4,6 ^a	4,3 ^a	4,2 ^{bc}	3,7 ^b	4,5 ^a
Horneado						
HG+E76+HT	4,2 ^{ab}	4,1 ^a	4,1 ^{ab}	4,0 ^c	3,5 ^b	4,5 ^a
<i>ESM</i>	<i>0,12</i>	<i>0,14</i>	<i>0,13</i>	<i>0,13</i>	<i>0,11</i>	<i>0,15</i>

Abreviaturas: ESM: Error Estándar de la Media; M: Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

La **tabla 51** (segundo ensayo) recoge la evaluación sensorial de las rabas de calamar con rebozado simple. Las diferencias entre tratamientos para el color típico dorado fueron escasas, si bien las rabas horneadas presentaron una menor puntuación (3,5) que el resto (4,0-4,4). La puntuación de olor fue más alta en ambas rabas horneadas (4,1 y 4,3) que en las rabas fritas HT (3,5) y HG (3,0), ya que el preparado con guisante mejoró el olor en éstas últimas, y no hubo diferencias de sabor entre ambos tratamientos (3,8-4,1). La puntuación de crujibilidad fue bastante similar entre tratamientos, destacando las rabas fritas HT como valor más alto (4,5). Los catadores comentaron que el gránulo de la harina de guisante es ligeramente más grueso que el de la harina de garbanzo, lo que aporta una textura más crujiente. La puntuación de jugosidad fue también más alta en las rabas fritas HT (4,4). Por último, la adhesividad siguió el mismo patrón que con el uso de encolante, siendo mayor en el producto horneado (3,9 y 4,6) que frito (3,3 y 3,8), en este caso, usar harina de guisante mejoró este atributo en las rabas fritas y horneadas. Por tanto, si no se usa encolante, el preparado a base de harina de guisante tendría mejores propiedades de adhesión, un aspecto a tener en cuenta en estos productos de calamar.

Tabla 51. Análisis sensorial de las rabas de calamar fritas y horneadas preparadas con un rebozado simple sin encolante

	Color	Olor	Sabor	Crujibilidad	Jugosidad	Adhesividad
	M	M	M	M	M	M
HG + Fritura	4,0 ^a	3,0 ^c	4,0	3,6 ^c	4,0 ^{ab}	3,3 ^c
HT + Fritura	4,1 ^a	3,5 ^b	3,8	4,5 ^a	4,4 ^a	3,8 ^b
HG + Horno	3,5 ^b	4,1 ^a	4,1	3,8 ^{bc}	3,0 ^c	3,9 ^b
HT + Horno	4,4 ^a	4,5 ^a	4,3	4,2 ^{ab}	3,9 ^b	4,6 ^a
<i>ESM</i>	<i>0,12</i>	<i>0,11</i>	<i>0,14</i>	<i>0,14</i>	<i>0,12</i>	<i>0,12</i>

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (Test de Tukey).

Los resultados obtenidos permitieron desarrollar un nuevo producto de rabas de calamar enharinadas sin gluten (**figuras 73 y 74**). La eliminación del encolante proporcionó al producto una etiqueta libre de alérgenos, siendo apto para toda la población.

Figura 73. Línea de enharinado y congelación



Figura 74. Rabas de calamar enharinadas con harina de guisante crudas y cocinadas.



A continuación (**tabla 52**) se muestra la declaración nutricional recogida en la etiqueta del producto con harina de guisante, que, como puede comprobarse, presentaba un alto contenido en proteínas, una considerable cantidad de hidratos de carbono que procedía sobre todo del rebozado, y un bajo contenido en grasas, la mayor parte insaturadas.

Tabla 52. Información nutricional de rabas enharinadas sin gluten únicamente con harina de guisante (precocinadas)

Valores medios por 100 g	
Energía (Kcal/kJ)	117 / 496
Proteínas (g)	16,0
Hidratos de carbono (g)	10,0
De los cuáles azúcares (g)	1,3
Lípidos (g)	1,4
De los cuales saturados (g)	0,3
Sal (g)	0,8

Las **tablas 53 y 54** muestran los resultados del perfil de ácidos grasos en las rabas de calamar enharinadas solamente con harina de guisante. Considerando todos los ácidos grasos cuantificados como el 100 %, la grasa del producto contenía un 39 % de ácidos grasos saturados, un 28 % de ácidos grasos monoinsaturados y un 33% de ácidos grasos poliinsaturados. Los ácidos grasos saturados más abundantes fueron, en orden descendente, palmítico (21,61), esteárico (4,98) y mirístico (2,77); los principales ácidos grasos monoinsaturados fueron oleico (12,16), gondoico (1,84) y vaccénico (1,17), y los ácidos grasos poliinsaturados mayoritarios fueron docosahexaenoico (DHA) (22,01), linoleico (17,91), eicosapentaenoico (9,29), linolénico (3,03) y araquidónico (1,14). De éstos, a excepción del ácido linoleico, todos eran ácidos grasos poliinsaturados altamente peroxidables (36,05 %), y, por tanto, muy propensos a la oxidación. Los ácidos grasos n-3 y n-6 sumaron casi un del 54 % del total, encontrándose más cantidad de ácidos grasos n-3 (35,15) que de ácidos grasos n-6 (19,02). La grasa de las rabas de calamar presentó una relación n-6/n-3 de 0,54, un valor muy recomendable.

Tabla 53. Ácidos grasos mayoritarios (abundancia relativa) en las rabas de calamar enharinadas con harina de guisante

Ácidos grasos	%	
	M	ESM
C14:0 (ácido mirístico)	2,77	0,034
C14:1 <i>n</i>-5c (ácido miristoleico)	0,12	0,005
C15:0 (ácido pentadecaenoico)	0,18	0,005
C16:0 (ácido palmítico)	21,61	0,034
C16:1 <i>n</i>-7 cis (ácido palmitoleico)	0,30	0,006
C17:0 (ácido margárico)	0,40	0,006
C18:0 (ácido esteárico)	4,98	0,006
C18:1 <i>n</i>-9c (ácido oleico)	12,16	0,006
C18:1<i>n</i>-7c (ácido vaccénico)	1,17	0,006
C18:2 <i>n</i>-6c (ácido linoleico)	17,91	0,034
C18:3 <i>n</i>-3c (ácido linolénico)	3,03	0,007
C20:0 (ácido araquídico)	0,24	0,006
C20:1 <i>n</i>-9c (ácido gondoico)	1,84	0,034
C24:0 (ácido lignocérico)	0,10	0,006
C20:4 <i>n</i>-6c (ácido araquidónico)	1,14	0,034
C20:5 <i>n</i>-3c (ácido eicosapentaenoico EPA)	9,29	0,006
C22:5 <i>n</i>-3c (ácido docosapentaenoico DPA)	0,81	0,006
C22:6 <i>n</i>-3c (ácido docosahexaenoico DHA)	22,01	0,006

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Límite de cuantificación (LC): 0,01 g/ 100 g grasa.

Tabla 54. Perfil de ácidos grasos de las rabas de calamar elaboradas con harina de guisante

Grupos de ácidos grasos		
	M	ESM
Σ AGS (%)	30,33	0,034
Σ AGM (%)	15,59	0,005
Σ AGP (%)	54,16	0,335
Σ AGP/ Σ AGS	1,79	0,005
Σ n-3 (%)	35,15	0,007
Σ n-6 (%)	19,02	0,006
Σ n-6/n-3	0,54	0,034

Abreviaturas: M: Media; ESM: Error Estándar de la Media.

Σ AGS= C10:0, C12:0, C13:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0, y C22:0

Σ AGM = C14:1, C16:1, C17:1, C18:1, y C20:1

Σ AGP = C18:2, C18:3, C20:4, C20:5, C22:4, C22:5, y C22:6

Σ n-6/n-3 = Σ n-6 AGP / Σ n-3 AGP

Discusión

Existen pocos estudios científicos sobre productos enharinados a base de calamar. Los productos similares que se comercializan contienen trozos íntegros de calamar o anillas reestructuradas mediante extrusión a partir de mezclas de calamar, agua, harina de trigo, aglutinantes, proteínas, especias y otros ingredientes (Janjic et al., 2015). La calidad sensorial es clave para cualquier desarrollo alimentario. Como no se hizo un estudio de preferencia-aceptación con consumidores, su posible viabilidad comercial se basó en el seguimiento posterior de la demanda. El producto fue bien recibido por los clientes, a pesar de ser una propuesta de sabor novedosa. Sin embargo, las ventas se vieron limitadas durante su lanzamiento debido al desconocimiento. Su presentación en ferias de

alimentación fue fundamental para superar este obstáculo y permitió transmitir información detallada sobre las cualidades distintivas del producto, tanto a los comerciales encargados de la venta, como a los interesados del sector. Como resultado de una estrategia de promoción efectiva, las ventas del producto experimentaron un incremento del 20 % durante el primer año respecto al inicio del lanzamiento. Además, se identificó una potencial demanda para expandir esta línea de productos, por ejemplo, elaborando anillas de calamar.

Los encolantes mejoran la adherencia de la harina proporcionando una cobertura más completa y uniforme, y ayudan a que ésta se desprenda menos durante el cocinado, mejorando la textura exterior, siendo más crujiente y agradable al paladar. Sin embargo, en el presente ensayo, la valoración del producto terminado estuvo más influida por el método de cocinado que por el uso de encolantes. La fritura requiere más manipulación (pinzas, volteo, etc.) y se desprende más cantidad de rebozado que durante el horneado donde el producto se mantiene inmóvil. Además, el horneado aporta un sabor y olor menos graso al no utilizar aceite.

La posibilidad de poder utilizar un enharinado que no aporte ningún alérgeno es una ventaja para los consumidores vulnerables a alergias o intolerancias alimentarias. La intolerancia al gluten es la segunda intolerancia más frecuente seguida de la lactosa, afectando al 1 % de la población, aunque cada año se diagnostican más casos de celiaquía (De la Calle et al., 2020). Se ha visto que puede provocar desórdenes gastrointestinales caracterizados por inflamación crónica intestinal, encontrándose influida por factores genéticos y ambientales (Guzmán et al., 2023). A pesar de que la fabricación de productos libres de gluten está aumentando en los últimos años, su calidad sensorial no llega a ser como la de los productos elaborados con harina de trigo, ya que el gluten actúa en la estructura de la masa atrapando el dióxido de carbono, proporcionando una mejor textura, sabor y jugosidad, especialmente en productos de panificación (Miranda-Villa et al., 2018). El objetivo no era comparar un producto elaborado con harinas de trigo y alternativas, sino desarrollar directamente un producto apto para toda la población.

El análisis nutricional confirmó que se trata de un producto alto en proteínas y bajo en grasa. Se puede catalogar como fuente de proteínas según el Reglamento (CE) nº 1924/2006, que establece valores superiores a los 12 g/ 100 g para recibir esta denominación. Es bien conocido que los productos de la pesca poseen proteínas de alto valor biológico, desempeñando un papel fundamental en numerosos procesos biológicos como la producción de enzimas, regulación de hormonas y anticuerpos, siendo fundamentales para el metabolismo y la regulación del sistema inmunológico. Además, mejoran la

función de ciertos órganos y células debido a los péptidos activos que forman las proteínas y se liberan tras la absorción gastrointestinal (Nirmal et al., 2024). La utilización de harina de guisante eleva el contenido proteico del calamar enharinado. Se trata de proteínas que cuentan con aminoácidos esenciales como la lisina y arginina (Paniagua, 2021; Reinkensmeier et al., 2015).

Un estudio similar sobre calamar enharinado (Janjic et al., 2015) arrojó valores nutricionales diferentes a los del presente ensayo. En este estudio, el valor energético fue superior (865 kJ), al igual que la cantidad total de grasa (8,33 %), sin embargo, la cantidad total de proteínas fue más baja, situándose en valores cercanos a 11 %, probablemente porque la proteína de guisante mejora este parámetro. Estos calamares se enharinaron con harina de trigo y se adicionaron otros ingredientes como agua, sal, aceites, almidón, derivados lácteos y vegetales, levadura y azúcares, lo que justifica las diferencias observadas. Los productos comercializados como anillas de calamar enharinadas o rebozadas suelen incluir estos ingredientes para mejorar sus propiedades tecnológicas y sensoriales. Por ejemplo, la utilización de levaduras o gasificantes junto con el agua liberan ácido carbónico que queda retenido por el gluten de la harina de trigo que, al calentarse, se dilata y proporciona una textura esponjosa. También se utilizan proteínas y almidones para mejorar la textura crujiente del enharinado, especialmente favoreciendo la adherencia y formando una corteza fina y rígida (Boatella et al., 2004).

El contenido en lípidos indica que se trata de un producto bajo en grasa, con valores de 1,3 g/ 100 g, si no consume frito. Su perfil rico en ácidos grasos poliinsaturados es otro elemento que se puede emplear como reclamo nutricional. Por los ingredientes utilizados, la grasa del producto procedía sobre todo del calamar, aunque no es posible asegurarlo, ya que no se sabía la composición exacta del preparado. Por ejemplo, la harina de guisante o la leche desnatada puede contener restos de grasa. El perfil de ácidos grasos de las rabas se corresponde con los valores típicos del pescado y marisco. Los animales marinos consumen fitoplancton rico en ácidos grasos poliinsaturados, especialmente n-3, que pasan a la cadena trófica y se acumulan en los tejidos (Rosli et al., 2012). Los ácidos grasos insaturados forman triglicéridos con consistencia de aceite, lo que regula su densidad y favorece su movilidad en el medio marino al modificar su flotabilidad (Bokov et al., 2022).

En las rabas, los ácidos grasos saturados representaron el 39 % del total y el ácido palmítico fue de largo el ácido graso saturado más abundante (21,6 %). Estos resultados son parecidos a los encontrados por otros autores en *Loligo vulgaris* (22,1 %) (Navarro y Villanueva, 2000), y en otras especies de calamar como *Lolinguncula brevis* (24,13 %) (Stowasser et al., 2006) y *Stenoteuthis oualaniensis* (25,7 %) (Ohsimo et al., 2023). Los resultados obtenidos para DHA concuerdan con los publicados en manto de calamar para *Loligo vulgaris* (29,3 %) (Navarro y Villanueva, 2000), sin

embargo, se han reportado valores superiores de DHA para otras especies de calamar como *Stenoteutis oualaniensis* o *Todarodes pacificus* (44 %) (Ohsimo et al., 2023), *Lolinguncula brevis* (33 %) (Stowasser et al., 2006), y *Heterololigo bleekeri* (40%) (Shin et al., 2021). Con respecto al EPA, los valores disponibles son en general más altos, con un 15 % (Navarro y Villanueva, 2000), un 16 % (Stowasser et al., 2006) y un 13 % (Shin et al., 2021), excepto el contenido en EPA publicado para *Stenoteutis oualaniensis* (9 %). Por su parte, el ácido linoleico también es muy abundante en las rabas (17,91 %), y, sin embargo, no se citan porcentajes superiores a 0,4 % en la literatura disponible sobre calamar. Igualmente, el ácido oleico llega al 12,16 % en las rabas y, al igual que el ácido linoleico, apenas se recogen valores del 1,5-3,8 % para *Loligo vulgaris* (2,8 %) (Navarro y Villanueva., 2000) y otras especies de calamar (Ohsimo et al., 2023; Shin et al., 2021; Stowasser et al., 2006). Ambos ácidos forman parte de los lípidos de muchos vegetales y podrían estar presentes en las harinas y los encolantes utilizados. En todo caso, en lo que se refiere al perfil lipídico, no es lo mismo comparar calamares enteros que productos transformados que contienen otros ingredientes.

El perfil lipídico de los cefalópodos puede variar según la disponibilidad y tipo de alimento, la temperatura del medio y el hábitat (Gong et al., 2020; Lazo-Andrado et al., 2021; Quispe-Machaca et al., 2021). El contenido lipídico varía entre especies oceánicas y neríticas, pudiendo cambiar el modo de depósito tisular de los lípidos y su recambio metabólico, lo que afecta al contenido de ácidos grasos (Stowasser et al., 2006). También se ha observado que las especies salvajes poseen más cantidad de fosfolípidos y ácidos grasos n-3 y n-6 que los calamares procedentes de la acuicultura (Satjarak et al., 2022). De esto se deduce que la dieta es fundamental para la composición de la grasa corporal. Los calamares son, generalmente, depredadores oportunistas durante su ciclo de vida, por lo que sus ácidos grasos dependen en gran medida de sus presas (Stowasser et al., 2006). Por tanto, el perfil lipídico informa sobre el origen de la dieta y podría utilizarse como indicador del origen, pesca extractiva o acuicultura.

Como se ha visto, las rabas de calamar son ricas en ácidos grasos poliinsaturados n-3 como EPA y DHA. Además, los ácidos grasos poliinsaturados totales han de representar un 61 % y los ácidos grasos n-3 en particular un 0,5-2 % de la energía total (FAO/FINUT, 2012). La relación AGP/ AGS es un indicador del grado de insaturación y de la estabilidad oxidativa de los lípidos. Las rabas objeto de estudio presentaban una proporción muy adecuada, tanto de AGP/ AGT (1,79), como de n-6/ n-3 (0,54). La importancia de los diferentes índices lipídicos y sus implicaciones para la salud ya se han expuesto en el ensayo anterior.

Conclusión

La fabricación industrial de rabas de calamar enharinadas sin gluten permite extender la oferta de este tipo de productos a la población celíaca. La harina de guisante proporciona una mejor cobertura que la de garbanzo. Estas rabas se pueden hornear o freír, lo que influye en su calidad sensorial y nutricional. Es un producto bajo en grasa y rico en proteínas que podría cumplir con las expectativas de aquellos consumidores que demandan alimentos más saludables y convenientes. La congelación permite su almacenamiento en el hogar y facilita su preparación. En principio, se trataría de un producto nuevo y atractivo, aunque sería conveniente realizar un estudio sensorial de mercado para ajustar mejor sus características.

6.9. DESARROLLO DE UN NUEVO EMBUTIDO ESCALDADO A BASE DE TENTÁCULOS Y RECORTES DE CALAMAR

Introducción

El procesado industrial del calamar genera una variedad de subproductos, incluyendo tentáculos, cabezas, pieles, vísceras y otros recortes que, si no se gestionan adecuadamente, pueden convertirse en un problema medioambiental y económico. Manejar de manera eficiente grandes volúmenes supone un desafío logístico y económico para la industria, ya que la descomposición del material orgánico puede generar malos olores, contaminar el agua y contribuir a la proliferación de microorganismos. La gestión de los subproductos puede suponer un problema, pero también ofrece oportunidades para la innovación y la sostenibilidad. Los recortes y otros subproductos del calamar pueden ser revalorizados y utilizados para fabricar nuevos productos transformados con mayor valor añadido. Con un enfoque adecuado, es posible transformarlos en recursos valiosos, contribuyendo a una industria alimentaria más eficiente y respetuosa con el medio ambiente. En respuesta a estos desafíos y oportunidades, las industrias deben aplicar estrategias que permitan reducir al mínimo los residuos generados y aprovechar de manera más eficiente los recursos disponibles en la cadena de producción.

Objetivo

Desarrollar un nuevo producto tratado por el calor que permita aprovechar y revalorizar los subproductos de calamar comestibles generados en la factoría.

Experimental

La materia prima utilizada eran recortes de manto del calamar y de las partes comestibles de la cabeza y los tentáculos, descartados durante la elaboración de las rabas. Estos recortes no cumplen con las dimensiones mínimas requeridas para las rabas, y las partes de la cabeza y los tentáculos no se utilizan para este propósito, por lo que se desechaban o se vendían como bloques congelados. Los subproductos se colocaron conjuntamente en cajas de plástico dispuestas en palés, se congelaron a -

18 °C en un túnel estático (Delta T, Madrid, España) durante 24 h y se almacenaron en una cámara en congelación hasta su procesado o venta.

Para el presente ensayo, se contó con la colaboración de una empresa de formulados alimentarios ubicada en Molina de Segura, Murcia, España, que aportó su planta piloto y proporcionó la maquinaria y los ingredientes adicionales necesarios para fabricar el embutido de calamar. Tras unos ensayos preliminares, se optó por dos formulaciones: la primera (F1) constaba de subproductos de calamar, saborizante, carragenano, proteína de guisante y agua; y la segunda (F2) incluía los mismos ingredientes, pero se sustituyó parte del calamar por fécula de patata. La cantidad empleada de ingredientes para 10 kg embutido se detalla en la **tabla 55**.

Tabla 55. Ingredientes del embutido de calamar congelado (10 kg)

Lista de ingredientes	F1	F2
	kg	kg
Subproductos de calamar	6,75	5,55
Fécula de patata	-	1,2
Aceite de oliva	0,25	0,25
Agua	2,603	2,603
Saborizante*	0,3	0,3
K-Carragenano	0,023	0,023
Proteína de guisante	0,07	0,07

*Saborizante: sal, glutamato monosódico, ajo blanco granulado, perejil triturado, pimienta negra molida, cebolla granulada, dextrosa, ascorbato sódico y citrato sódico. La composición exacta de los ingredientes no fue suministrada por el proveedor.

La **figura 75** muestra el diagrama de flujos del proceso de elaboración del embutido de calamar. Los bloques congelados de subproducto se atemperaron (-3 °C durante 48 h) en una cámara con aire forzado y después se cortaron en dados (1 x 1 cm) (FAM Stumabo Ibérica S.L, Paterna, Valencia, España) (**figura 76**). Los dados se trasladaron en cajas de Porexpan con hielo a la planta piloto de la empresa de formulados. Una vez allí, el producto se terminó de descongelar en una cámara (3 °C durante 24 h). Los dados de calamar descongelados se homogeneizaron en un cúter de plato rotatorio (Mainca CM-14, Equipamientos Cárnicos S.L, Granollers, Barcelona, España) junto con los ingredientes

sólidos (con y sin fécula) y líquidos (aceite y agua). La pasta se emulsionó durante 5 min a una temperatura máxima de 5 °C (**figura 77**) y se embutió en una tripa de plástico (poliamida) de 20 cm de longitud x 3 cm de diámetro en un equipo atmosférico (Mainca F-30) (**figura 78**). El tratamiento térmico se realizó en un horno eléctrico (Rational, mod. iCombi Pro 20-2/1, RATIONAL Ibérica Cooking Systems S.L, Cornellà de Llobregat, Barcelona, España) en dos etapas: (1) precocción a 75 °C durante 30 min hasta que alcanzar dicha temperatura en el centro del producto, y (2) mantenimiento a 75 °C durante 30 min adicionales hasta completar su cocinado. Finalmente, el embutido cocido se enfrió en tinas con agua y hielo (10 min) y se congeló a -18 °C en un túnel estático (Delta T, Madrid, España) durante 24 h.

Figura 75. Diagrama de flujos del proceso de elaboración del embutido escaldado de calamar

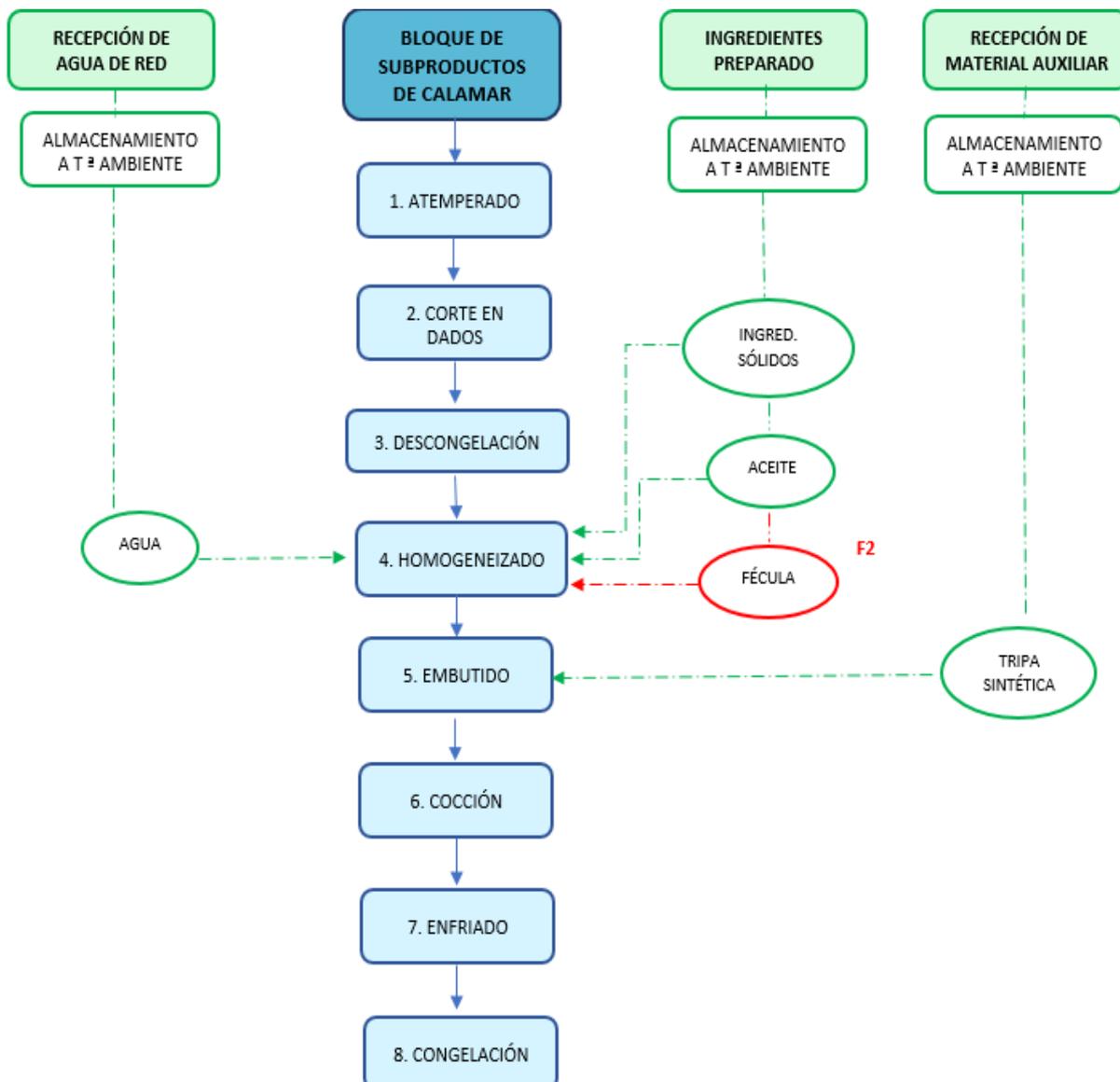


Figura 76. Máquina cortadora de dados



Figura 77. Emulsión de la pasta del embutido de calamar



Figura 78. Embutido crudo a base de subproductos de calamar



Una vez fabricado el embutido, se determinó la composición proximal (humedad, grasas, proteínas, carbohidratos y cenizas), el rendimiento en peso tras la cocción, y se realizaron los recuentos microbiológicos establecidos en la legislación (aerobios mesófilos, enterobacterias, estafilococos coagulasa +, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*).

Finalmente, se hizo una validación sensorial por un panel entrenado compuesto por 10 trabajadores de la empresa. Para ello, las muestras se descongelaron (3 °C durante 24 h) y se cortaron en lonchas de 0,5 cm de espesor (**figura 79**). Tras el entrenamiento, se optó por emplear una escala de intensidad de 1-5 para los atributos de apariencia, olor, sabor y textura (**tabla 56**) construida a partir de muestras calificadas como 1 y 5.

Tabla 56. Escala de puntuación para los atributos sensoriales del embutido escaldado de calamar

Atributos	Puntuación	Descripción
Apariencia	Muy bueno (5)	Homogéneo, ingredientes integrados
	Muy deficiente (1)	Heterogéneo, ingredientes dispersos
Olor	Muy bueno (5)	Olor suave, a calamar cocinado
	Muy deficiente (1)	Olores intensos a pescado o especias
Sabor	Muy bueno (5)	Sabor suave, a calamar cocinado
	Muy deficiente (1)	Sabores intensos a pescado o especias
Textura	Muy bueno (5)	Firme y elástico
	Muy deficiente (1)	Blando y viscoso

Figura 79. Rodajas de embutido escaldado de calamar preparadas para el análisis sensorial



Resultados

La composición proximal del embutido se presenta en la **tabla 57**. Como era de esperar, el contenido en humedad fue un 9,7 % mayor para las muestras elaboradas sin fécula (81,2 %) que con fécula (74,0 %), lo que afectó a las proporciones relativas del resto de componentes. La cantidad total de proteína fue casi un 2 % mayor para la formulación F1 (9,9 %) que para la F2 (8,1 %), la cantidad de lípidos totales fue similar para las formulaciones F1 (3,5 %) y F2 (3,3 %), así como el contenido en cenizas, con un 2,9 % y 2,7 % para F1 y F2, respectivamente. El resto de la composición del producto correspondería a la estimación de los carbohidratos presentes en otros ingredientes, principalmente fécula de patata y, en mucho menor medida, carragenano, siendo de 2,1 % para F1 y 11,6 % para F2.

Tabla 57. Composición proximal del embutido escaldado de calamar con y sin fécula de patata

	F1 Sin fécula	F2 Con fécula	
	M	M	ESM
Humedad (%)	81,2 ^a	74,0 ^b	0,23
Proteína total (%)	9,9 ^a	8,1 ^b	0,15
Lípidos totales (%)	3,5 ^a	3,3 ^a	0,06
Cenizas (%)	2,9 ^a	2,7 ^a	0,11
Carbohidratos (%)*	2,1 ^b	11,7 ^a	0,08

Abreviaturas: ESM: Error Estándar de la Media; M: Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (test de Tukey).

* Por estimación.

El análisis microbiológico (**tabla 58**) confirmó la ausencia de microorganismos patógenos como *Salmonella spp.* y *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes* en el embutido preparado con ambas formulaciones. Los recuentos de enterobacterias y estafilococos coagulasa + estuvieron por debajo de 1 Log UFC/g, mientras que los recuentos de microorganismos aerobios mesófilos totales fueron más altos en las muestras F1 (3,82 Log UFC/ g) que en las F1 (3,41 Log UFC/ g). A pesar de estas variaciones,

ambas formulaciones cumplían de largo con los criterios microbiológicos que establece la legislación vigente para este tipo de productos.

Tabla 58. Recuentos microbiológicos para el embutido cocinado de calamar con y sin fécula de patata

	F1 Sin fécula	F2 Con fécula	
	M	M	ESM
Aerobios mesófilos totales	3,82 Log UFC/g ^a	3,41 Log UFC/g ^b	0,05
Enterobacterias totales	< 1 Log UFC/g	< 1 Log UFC/g	
Estafilococos coagulasa +	< 1 Log UFC/g	< 1 Log UFC/g	
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND en 25 g	ND en 25 g	
<i>Salmonella spp.</i>	ND en 25 g	ND en 25 g	
<i>Escherichia coli</i>	< 1 Log UFC/g	< 1 Log UFC/g	

Abreviaturas: ESM: Error Estándar de la Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (test de Tukey).

ND: No detectado en 25 g.

La **tabla 59** recoge la evaluación sensorial del embutido de calamar. En general, se obtuvieron mejores puntuaciones para la formulación con fécula de patata. La apariencia fue más homogénea (color, huecos y separación de la emulsión) en el embutido con fécula con una puntuación de 3,7, mientras que el embutido sin fécula obtuvo peor puntuación (2,1), debido a que los ingredientes estaban peor integrados y a que se podía apreciar cierta falta de unión en la mezcla. La valoración del olor se situó por encima de 4 para ambas formulaciones, con puntuaciones ligeramente inferiores para F1 que para F2 (4 y 4,4, respectivamente). El embutido con fécula obtuvo una mayor puntuación de sabor (4,2) que las muestras sin fécula (3,7), indicando los participantes que el sabor a calamar era más perceptible en esta última. La evaluación de la textura fue determinante a la hora de elegir la formulación que se emplearía finalmente. Para el embutido sin fécula, la textura era blanda, viscosa, y untuosa, con una sensación desagradable en boca, obteniendo una puntuación muy baja de 1,4. En cambio, para el

embutido con fécula, la textura era ligeramente pegajosa, pero bastante más firme, con una sensación más agradable en boca, alcanzando una puntuación de 3,0. Como muestra la **Figura 80**, el embutido sin fécula presentaba algunas hendiduras por la manipulación, debido a su textura blanda, mientras que, en cambio, el embutido con fécula era más compacto.

Tabla 59. Evaluación sensorial del embutido escaldado de calamar con y sin fécula de patata

	F1 Sin fécula	F2 Con fécula	
	M	M	ESM
Apariencia	2,1 ^b	3,7 ^a	0,11
Olor	4,0 ^b	4,4 ^a	0,07
Sabor	3,7 ^b	4,2 ^a	0,06
Textura	1,4 ^b	3,0 ^a	0,12

Abreviaturas: ESM: Error Estándar de la Media; M: Media.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (test de Tukey).

Figura 80. Apariencia del embutido escaldado descongelado de calamar tras retirar la tripa de plástico



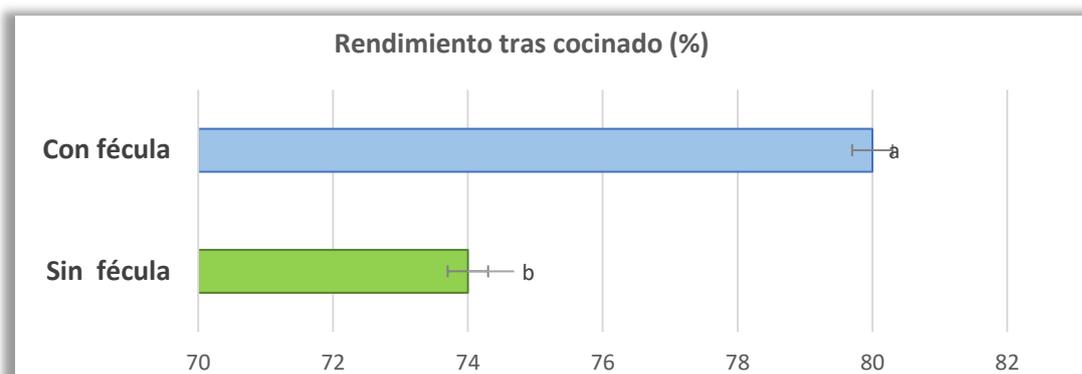
Embutido sin fécula (F1)



Embutido con fécula (F2)

Por último, el embutido de calamar elaborado con fécula obtuvo un rendimiento en peso mayor (80 %) que el embutido elaborado sin fécula (74 %) (**figura 81**), demostrando que este ingrediente también contribuye a mejorar la capacidad de retención de agua.

Figura 81. Rendimiento del embutido cocinado de calamar con y sin fécula añadida



Error estándar medio: 0,30.

Medias con diferentes superíndices son diferentes para $p < 0,05$ (test de Tukey).

Discusión

En la actualidad, la oferta de embutidos de pescado y/o marisco es mucho menor que la de productos cárnicos tradicionales. Los embutidos a base de pescado y/o marisco tienen un sabor característico y pueden ser menos atractivos o desconocidos para muchos consumidores. Sin embargo, estos embutidos pueden ser una alternativa a los embutidos cárnicos tradicionales al contener lípidos más saludables y menos grasa. La consistencia más blanda y el sabor más delicado de estos productos pueden requerir de ajustes específicos en el procesado y condimentación para que puedan ser mejor aceptados por los consumidores.

Los ingredientes utilizados en la formulación de embutidos de pescado y marisco incluyen sal, especias, féculas, proteínas, emulsionantes, gelificantes, aceites y agua, entre otros. Prácticamente, son los mismos que los empleados en los productos cárnicos comunes, con algunas salvedades. Las propiedades de gelificación de la carne de animales marinos son diferentes, ya que su tejido conectivo es más laxo y proporciona geles más blandos. Los productos cárnicos precisan temperaturas de 65 °C para gelatinizar el colágeno (Panea y Ripoll, 2019), mientras que los productos de la pesca solo necesitan temperaturas entre 30-40 °C (Suárez et al., 2007).

Los productos de pescado y marisco pueden requerir de una aromatización específica y de aceite vegetal si la formulación resulta excesivamente magra o poco jugosa. La sal potencia el sabor, mientras que las especias aportan sabores conocidos y pueden actuar como agentes antioxidantes y antimicrobianos (Vivas y Morillo, 2017). La fécula de patata actúa como agente de relleno y gelificante sin aportar proteínas, optimizando características como la retención de agua, la jugosidad, la textura y la facilidad para el loncheado (Loor, 2012). Su capacidad para retener agua contribuye a estabilizar la emulsión, manteniendo equilibrados los niveles de humedad, grasa y proteína. Este efecto estabilizador es fundamental para asegurar la calidad y la consistencia de los embutidos (Loor, 2012). Además, las féculas son conocidas por su capacidad para mejorar la apariencia, el sabor y la textura del producto final (Loor, 2012). La fécula de patata, compuesta básicamente por almidón, es un polvo blanquecino bastante compatible con el color blanco del calamar, tiene un sabor poco marcado, y es capaz de formar un gel mixto con la proteína muscular aumentando la consistencia y contribuyendo a que el embutido no sufra fenómenos de sinéresis una vez cocinado. La temperatura óptima de gelificación del almidón suele coincidir con las temperaturas normales de escaldado y pasteurización que se usan para elaborar estos embutidos. Además, la fécula es un ingrediente barato y disponible.

Los carragenanos también se usan para mejorar la capacidad gelificante de las proteínas cárnicas. Diversos estudios han demostrado que los carragenanos no solo mejoran el rendimiento de la cocción, sino que también incrementan la jugosidad y mejoran la textura de los productos emulsionados a base de músculo (Ayadi et al., 2009; Hunt y Park, 2013; Jiang et al., 2019). El κ -carragenano empleado en este ensayo es un hidrocoloide lineal extraído de algas marinas, utilizado en preparados cárnicos gracias a su capacidad de retención de agua y gelificación (Dong et al., 2021). También actúa como estabilizante, ayudando a mantener la integridad de la emulsión cuando se dispersan ingredientes como agua, aceite y proteína, previniendo la separación de fases y asegurando una distribución más homogénea de la emulsión. La proteína de guisante actúa como emulsionante y gelificante ayudando a mantener la integridad y la cohesión del embutido (Mongi y Gomezulu, 2022). Además, gracias a sus cualidades no alergénicas, se presenta como una proteína prometedora para reemplazar las proteínas de leche o de soja en los alimentos preparados (Lam et al., 2018).

La composición proximal del embutido arrojó resultados interesantes desde de un punto de vista tecnológico y nutricional. El elevado contenido en humedad (74-81,2 %), parecido al del manto de calamar macerado cocinado, confiere al producto cierta jugosidad; añadir fécula reduce la proporción de agua, si bien ésta continúa siendo muy alta porque permite retener más agua añadida, y, como se

ha visto, mejora otras propiedades del embutido. El contenido proteico del embutido disminuyó en un 1,8 % con la adición de fécula y la retención de agua asociada, mientras que la cantidad de lípidos totales entre ambas formulaciones apenas varió, debido quizás a que la cantidad de aceite añadida atenuó las posibles diferencias. El aceite de oliva se viene usando en otros productos, como el paté de pescado, confiere palatabilidad y jugosidad, aportando sobre todo ácidos grasos monoinsaturados y cierta cantidad de vitamina E (Carreto et al., 2002). Los resultados obtenidos difieren en algunos aspectos con los publicados por Aguilera (2020) para salchichas de potón y camarón elaboradas con sal, especias, fécula de patata y aceite vegetal, entre otros ingredientes, cuya composición fue la siguiente: humedad: 74,77 %, lípidos: 4,39 %, proteínas: 13,55 % y cenizas 2,26 %.

Los controles microbiológicos realizados han demostrado que las materias primas y los procedimientos de elaboración seguidos en este ensayo son adecuados para garantizar la calidad microbiológica de este producto. Como se ha visto, la ausencia de bacterias patógenas como *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* y los bajos recuentos de microorganismos aerobios mesófilos, enterobacterias y estafilococos, garantizan que este embutido pueda ser consumido sin riesgos microbiológicos para la salud. Ello probablemente se debe al procedimiento de elaboración empleado. Por un lado, los subproductos de calamar, que, pese a las medidas de higiene, aportan cierta carga microbiana, se congelaron con relativa rapidez en la factoría para estabilizarlos frente a los microorganismos y la oxidación, se trituraron después medio congelados en el cúter y se homogeneizaron rápidamente. Por último, el tratamiento térmico aplicado, con sendas etapas de calentamiento y mantenimiento a temperatura controlada, fue eficiente para pasteurizar este embutido.

Sin embargo, respecto a los microorganismos aerobios mesófilos, los resultados de este ensayo son diferentes a los presentados en otros estudios. Gonzáles y Palacios (2016), reportaron recuentos de aerobios mesófilos de 2,80 Log UFC/g en salchichas elaboradas a base de potón y caballa, junto con otros ingredientes como almidón de patata, azúcar, carragenanos, especias, sal, proteína de soja, polifosfatos y ácido ascórbico entre otros; Aguilera (2020) no encontró aerobios mesófilos hasta el día 32 de almacenamiento en refrigeración (2,13 Log UFC/g) de las salchichas elaboradas a base de calamar y camarón porque utilizó la nisina como antimicrobiano natural. Por otro lado, Álvarez y Casas (2016), elaboraron hamburguesas a base de potón cuyos ingredientes también incluían carragenanos, fécula de patata, glutamato monosódico, sal, tripolifosfato de sodio, sacarosa y ácido ascórbico. Los recuentos de aerobios mesófilos por estos autores fueron de 3,25 Log UFC/g, equiparables a los del presente ensayo y los resultados fueron similares para el resto de los microorganismos analizados. Las

diferencias encontradas sugieren que incorporar antimicrobianos como la nisina podría reducir la carga microbiana en este tipo de productos escaldados, prolongando su vida útil.

La adición de un 12 % de fécula contribuyó a reducir la carga de bacterias mesófilas, lo cual es otra cualidad positiva de este ingrediente. Los microorganismos, en particular, las bacterias, necesitan de altos valores de actividad de agua para poder proliferar en los alimentos, más en productos cocinados a base de músculo no sujetos a procesos de fermentación cuyo pH no es ácido. Adicionar almidón disminuye la proporción de agua en el producto, además, es un hidrocoloide que, una vez gelatinizado, contribuye a fijar el agua y disminuir la presión de vapor. Durante la gelatinización, la estructura del almidón se ve alterada debido a una pérdida de integridad de los enlaces dentro del dominio cristalino (Fan et al., 2024). Al aplicar altas temperaturas, los gránulos del almidón pierden su típica estructura cristalina, absorben agua y se hinchan, formando una estructura parecida a un gel (Ai y Jane, 2015). El almidón estaba en cantidades considerables del embutido de calamar y podría haber contribuido a su reducir el valor de actividad de agua, lo que explicaría por qué los microorganismos tienen más dificultad para proliferar en el producto formulado con fécula.

La evaluación sensorial demostró que la adición de fécula de patata aporta jugosidad, firmeza y estabilidad al embutido, mejorando su textura. El embutido preparado sin fécula fue peor valorado por los panelistas, sobre todo porque su textura era blanda y viscosa, de modo que el gel formado carecía de la firmeza deseable, pese a contener carragenano y proteína de guisante. Además, su apariencia no era demasiado homogénea, como cabría esperar para una emulsión de carne de calamar fabricada con un cúter. En cambio, el embutido elaborado con fécula de patata destacó por su buen sabor y olor, su apariencia era bastante homogénea, y, sobre todo, porque el almidón contribuyó a mejorar la firmeza del gel y a fijar los componentes emulsionados. Desde un punto de vista sensorial, con la formulación y tecnología adecuadas, parece posible obtener un producto de este tipo tratado por el calor con una buena aceptación entre el público.

Conclusión

Los subproductos de manto, cabeza y tentáculos de calamar pueden aprovecharse para fabricar embutidos tratados por el calor de mayor valor añadido. Se trata de materias primas con una calidad microbiológica adecuada que pueden ser procesadas sin adicionar conservantes. El tratamiento mecánico contribuye a obtener una emulsión homogénea que hay que gelificar adecuadamente. Por tanto, se debe emplear un formulado específico para este producto. El aceite de oliva aporta textura

y sabor. La adición de pequeñas cantidades de proteína vegetal y espesantes no parece proporcionar una firmeza adecuada. En cambio, la estabilización con almidón de patata mejora su apariencia y sus propiedades gelificantes, corrigiendo los defectos de textura. El producto propuesto podría ser viable como una alternativa innovadora y atractiva, aunque será necesario realizar un estudio de mercado sensorial con consumidores para determinar su aceptación.

7. CONCLUSIONES GENERALES

Primera. La remodelación de las instalaciones y la línea de fabricación de productos transformados de calamar ha permitido mejorar el proceso productivo en aspectos tales como el pelado, la maceración, el cocinado, la congelación y el envasado. Esta mejora ha facilitado el desarrollo de nuevos productos de calamar, posicionando a la empresa de manera competitiva en el mercado.

Segunda. Los calamares comunes de origen atlántico provienen de aguas con una baja contaminación microbiológica y poseen bajos niveles de minerales contaminantes tóxicos. Esto favorece que los productos transformados sean más seguros, lo cual es crucial para mantener la confianza del consumidor en este tipo de productos, tan denostada en ocasiones.

Tercera. Los controles realizados a lo largo del proceso confirman que se mantiene un alto nivel de higiene, garantizando la seguridad de los productos para el consumidor. Es vital que cualquier cambio en el proceso productivo se lleve a cabo de manera controlada y supervisada, para no comprometer estos estándares de seguridad y calidad.

Cuarta. Existe un amplio margen de mejora en la tecnología de fabricación de productos transformados de calamar. Se deberían implementar nuevos métodos de control para detectar y corregir tratamientos inadecuados en origen, emplear técnicas de maceración más saludables y eficaces, mejorar los tratamientos térmicos y frigoríficos, adecuar los sistemas y materiales de envasado, aprovechar mejor los subproductos y desarrollar reclamos nutricionales adaptados a las actuales exigencias del mercado.

Quinta. Existe un gran potencial para desarrollar nuevos productos a base de calamar, así como para aprovechar sus subproductos en la industria alimentaria. Esta capacidad de diversificación no solo amplía el catálogo de productos, sino que también aporta beneficios económicos al optimizar el uso de recursos y reducir desperdicios.

Conclusiones específicas:

Las conclusiones específicas se recogen al final de cada uno de los nueve ensayos que componen la sección de Resultados y Discusión.

8. RESUMEN

El mercado de los productos transformados de la pesca se expande y la industria necesita renovar su tecnología. La presente tesis doctoral corresponde a una investigación industrial cuyo objetivo fue mejorar la tecnología de fabricación y desarrollar nuevos productos transformados a base de calamar común (*Loligo vulgaris*). Para ello, se identificaron posibles retos tecnológicos y se investigaron diferentes aspectos: Corrección de defectos por la congelación en origen; Pelado manual, mecánico y químico; Ajuste de la concentración de citrato sódico en el medio de maceración; Monitorización del contenido mineral; Desarrollo de nuevos productos, como calamar cocinado *sous vide*, con etiqueta "Clean Label", con salsas de cobertura, rabas de calamar enharinadas sin gluten, y embutido escaldado a base de subproductos. Se remodeló la planta de elaboración y su tecnología. En función del ensayo, se hicieron diferentes determinaciones: rendimiento en peso, composición proximal, nitrógeno básico volátil, macro y micro minerales, incluyendo contaminantes, análisis sensorial cuantitativo, textura instrumental, color CIELab, ácidos grasos, y recuentos de microorganismos aerobios mesófilos, enterobacterias, estafilococos coagulasa +, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *Listeria monocytogenes*). También se calcularon índices nutricionales relacionados con la ingesta de minerales y lípidos. Las actividades de investigación y desarrollo realizadas permitieron avanzar hacia el objetivo marcado. La combinación de bateo, hielo y sal mejora la apariencia y la textura del calamar macerado, tanto crudo, como cocido, corrigiendo la calidad de las materias primas precongeladas. Las técnicas mecánicas y químicas de pelado proporcionan un producto limpio y listo para enharinar, con un proceso escalable industrialmente. La maceración con sales de sodio, aunque incrementa su ingesta, mantiene la ganancia de agua tras el cocinado, mejorando la jugosidad y el rendimiento en peso. La maceración y el cocinado promueven la absorción y/o lixiviación de minerales, incluyendo peligrosos contaminantes. El uso de medios de maceración "Clean label" con extractos de romero, acerola y tocoferoles aporta propiedades conservantes, aunque son menos eficientes que los medios con citrato de sodio. El cocinado *sous vide* mejora la retención de jugos, proporcionando un producto más tierno y jugoso, aunque se necesita optimizar los tratamientos. En todo caso, es una técnica culinaria muy recomendable para este producto. La oferta de productos de calamar puede ampliarse con el tipo de cocinado, el envasado, el empleo de salsas de cobertura y rebozados sin gluten. Los subproductos de calamar pueden aprovecharse para elaborar embutidos de mayor valor añadido. Los controles de calidad realizados confirmaron que todos estos productos son seguros para el consumidor. De todo lo anterior se desprende que, pese a las mejoras introducidas, la industrialización de los productos transformados de calamar admite todavía una amplia renovación tecnológica para adaptarse mejor a las actuales exigencias del mercado.

ABSTRACT

The market for processed fishery products is expanding, and the industry needs to update its technology. The present thesis corresponds to an industrial research project which aimed at improving manufacturing technology and developing new processed products based on common squid (*Loligo vulgaris*). In order to do this, feasible technological challenges were identified, and various aspects were identified: Correction of defects caused by freezing at the source; Manual, mechanical, and chemical peeling; Adjustment of sodium citrate concentration in the maceration medium; Monitoring of mineral content; Development of new products such as *sous vide* cooked squid, with “Clean Label” certification, with covering sauces, gluten-free breaded squid rings, and scalded sausage made from by-products. The processing plant and its technology were reshaped. With the information gathered in the research, several determinations were made: weight yield, proximal composition; basic volatile nitrogen, macro and micro minerals, including pollutants, quantitative sensorial analysis, instrumental texture, CIELab colour, fatty acids, and countings of mesophilic aerobic microorganisms, enterobacteria, coagulase-positive Staphylococci, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, and *Listeria monocytogenes*. Moreover, nutritional indices related to the intake of minerals and lipids were calculated. The research and development activities carried out allowed us to progress towards the set goal. The combination of tumbling, ice and salt improves the appearance and texture of macerated squid, raw as well as cooked, mending the quality of pre-frozen raw materials. Mechanical and technical peeling techniques provide a clean product ready for flouring, with an industrially scalable process. The maceration with sodium salts, albeit it increases its intake, it maintains water retention after cooking, improving juiciness and weight yield. Maceration and cooking promote the absorption and/or leaching of minerals, including hazardous pollutants. The use of “Clean Label” maceration media with rosemary, acerola, and tocopherol extracts provide preservative properties, although they are less efficient than the media with citrate sodium. *Sous vide* cooked improves the retention of juices, providing a more tender and juicier product, although it needs to optimise treatments. In any case, it is fair to say that it is a cooking technique highly recommended for this product. The range of squid products can be increased by different cooking techniques, packaging, the use of covering sauces, and gluten-free breading. Squid by-product can be used to produce higher value-added sausages. The undertaken quality controls confirmed that all these products are safe enough for consumers. All things considered, it can be concluded that, despite the improvements introduced, the industrialization of processed squid products still allows for significant technological renewal to better meet current market demands.

9. REFERENCIAS

Abdallahi, L. (2017). *Análisis de evolución de las pesquerías demersales de Mauritania (1990-2015)*. [Tesis de Máster, Universidad de Alicante]. <http://hdl.handle.net/10045/78068>

Abdollahzadeh, E., Rezaei, M. y Hosseini, H. (2014). Antibacterial activity of plant essential oils and extracts: The role of thyme essential oil, nisin, and their combination to control *Listeria monocytogenes* inoculated in minced fish meat. *Food Control*, 35(1), 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.07.004>

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2011). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación al uso del peróxido de hidrógeno como coadyuvante tecnológico en el procesado de hemoderivados y cefalópodos. *Revista del Comité científico* nº15. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/AGUA_OXIGENADA.pdf

Agrafioti, P. T. y Katsanidis, E. (2012). Effects of additives on the selected quality attributes and cooking yield of squid: Modelling and optimization. *International Journal of Food Properties*, 15(3), 579–589. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.494755>

Aguilera, D. J. (2020). *Vida útil de producto marino tipo embutido almacenado en refrigeración, con la adición de un antimicrobiano natural*. [Proyecto de título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/72c9ca64-4fe9-49fa-8f38-1d22474be854/content>

Ai, Y. y Jane, J. L. (2015). Gelatinization and rheological properties of starch. *Starch/Staerke*, 67(3-4), 213-224. <https://doi.org/10.1002/star.201400201>

Akpınar, N., Akpınar, M. A., Gorgun, S. y Akpınar, A. E. (2015). Fatty acid composition and ω 3/ ω 6 ratios in the muscle of wild and reared *Oncorhynchus mykiss*. *Chemistry of Natural Compounds*, 51(1), 22–25. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1194-y>

Aldoradín, E., Solari, A. y Albrecht-Ruiz, M. (2013). Caracterización e hidrólisis enzimática de las pieles de pota (*Dosidicus gigas*). *Boletín investigación Instituto tecnológico Pesquero Perú*, 11, 59 - 65. https://biblioteca.imarpe.gob.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=1087

Alizadeh, E., Chapleau, N., de Lamballerie, M. y LeBail, A. (2007). Effects of Freezing and Thawing Processes on the Quality of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Fillets. *Journal of Food Science*, 72(5). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00355.x>

Almache, F. (2007). *El estudio de crioprotectores en el almacenamiento congelado de trucha (*Oncorhynchus*) y tilapia (*Oreochromis sp.*)*. [Proyecto de Investigación previo a la obtención de Título de Ingeniero de Alimentos, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3363>

- Álvarez, M. A. y Casas, L.F. (2016). *Elaboración de hamburguesas a base de pota (*Dosidicus gigas*) y carragenina*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Pesquero, Universidad Nacional del Callao]. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1766>
- Alves-Costa, M., Sales-Junior, R.A. y Vale-Souza, de Oliveira., A. (2019). Tecnologias de embalagens no pescado: aplicações e tendências. *Pubvet*, 13(05). <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n5a333.1-8>
- Alves de Azeredo, G. A., Stamford, T. L. M., Nunes, P. C., Gomes Neto, N. J., de Oliveira, M. E. G. y de Souza, E. L. (2011). Combined application of essential oils from *Origanum vulgare* L. and *Rosmarinus officinalis* L. to inhibit bacteria and autochthonous microflora associated with minimally processed vegetables. *Food Research International*, 44(5), 1541–1548. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.012>
- Amagase, H. (2006). Clarifying the Real Bioactive Constituents of Garlic. *The Journal of Nutrition*, 136(3), 716S-725S. <https://doi.org/10.1093/jn/136.3.716S>
- Anadón, R. (2019). Functional Histology: The Tissues of Common Coleoid Cephalopods. En: C. Gestal, S. Pascual, A. Guerra, G. Fiorito y J. M. Vieites (eds.). *Handbook of Pathogens and Diseases in Cephalopods* (pp. 39-85). Springer Open. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-11330-8_4
- André, J., Grist, E. P. M., Semmens, J. M., Pecl, G. T. y Segawa, S. (2009). Effects of temperature on energetics and the growth pattern of benthic octopuses. *Marine Ecology Progress Series*, 374, 167–179. <https://doi.org/10.3354/meps07736>
- Arias-MoscOSO, J. L., Maldonado-Arce, A., Rouzaud-Sandez, O., Márquez-Ríos, E., Torres-Arreola, W., Santacruz-Ortega, H., Gaxiola-Cortés, M. G. y Ezquerro-Brauer, J. M. (2015). Physicochemical Characterization of Protein Hydrolysates Produced by Autolysis of Jumbo Squid (*Dosidicus gigas*) Byproducts. *Food Biophysics*, 10(2), 145–154. <https://doi.org/10.1007/s11483-014-9374-z>
- Arkhipkin, A., Argüelles, J., Shcherbich, Z. y Yamashiro, C. (2015). Ambient temperature influences adult size and life span in jumbo squid (*Dosidicus gigas*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72(3), 400–409. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0386>
- Arroxelas, V. L., Melo, E., Sucupira, M. I., Prazeres, F. G., dos Santos, R. y Vângela, D. (2005). Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. *Food Chemistry*, 90(4), 565–568. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.014>
- Arvanitoyannis, I. S. y Kassaveti, A. (2008). Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(4), 726–745. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01513.x>
- Åsli, M. y Mørkøre, T. (2012). Brines added sodium bicarbonate improve liquid retention and sensory attributes of lightly salted Atlantic cod. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.007>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2010). *Análisis sensorial. Vocabulario. Modificación 1*. (ISO 5492:2008/Amd 1:2016).
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2013). *Análisis sensorial. Directrices para la utilización de escalas de respuestas cuantitativas*. (ISO 4121:2003)

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2013). *Mezclas de polvos metálicos y lubricante. Determinación del contenido de lubricante. Método de extracción de Soxhlet*. (ISO 13944:2012).

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2014). *Microbiología de la cadena alimentaria. Método horizontal para el recuento de microorganismos. Parte 1: Recuento de colonias a 30 °C mediante la técnica de siembra en profundidad*. (ISO 4833-1:2014).

Asociación Española de Normalización. (2018). *Microbiología de la cadena alimentaria Método horizontal para la detección y el recuento de Enterobacteriaceae Parte 2: Técnica para el recuento de colonias (ISO 21528-2:2017, Versión corregida 2018-06-01)*.

Asociación Española de Normalización. (2021). *Combustibles sólidos recuperados. Determinación del contenido de humedad por el método de secado en estufa. Parte 3: Humedad de la muestra para análisis general*. (ISO 21660-3:2021).

Asociación Española de Normalización. (2022). *Microbiología de la cadena alimentaria Método horizontal para el recuento de estafilococos coagulasa positivos (Staphylococcus aureus y otras especies) Parte 1: Método que utiliza un medio de agar Baird-Parker (ISO 6888-1:2021)*

Astorga, M., Rodríguez, E. y Díaz, C. (2007). Comparison of minerals and trace element concentration in two mollusks from the Strait of Magellan (Chile). *Journal of Food Composition Annual*, 20, 273-279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2006.06.007>

Atayeter, S. y Ercoşkun, H. (2011). Chemical composition of European squid and effects of different frozen storage temperatures on oxidative stability and fatty acid composition. *Journal of Food Science and Technology*, 48(1), 83–89. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0139-5>

Aubourg, S. P., Pérez-Alonso, F. y Gallardo, J. M. (2004). Studies on rancidity inhibition in frozen horse mackerel (*Trachurus trachurus*) by citric and ascorbic acids. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106(4), 232–240. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200400937>

Aubourg, S. P., Trigo, M., Prego, R., Cobelo-García, A. y Medina, I. (2021a). Nutritional and healthy value of chemical constituents obtained from Patagonian squid (*Doryteuthis gahi*) by-products captured at different seasons. *Foods*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/foods10092144>

Aubourg, S. P., Trigo, M., González, M. J., Lois, S., y Medina, S. (2021b). Obtención de lípidos de alto valor nutricional a partir de productos de desecho resultantes de la comercialización de chipirón (*Loligo gahi*). *Investigación, Cultura, Ciencia y Tecnología*, 13 (26), 20-23. <http://hdl.handle.net/10261/264814>

Ayadi, M. A., Kechaou, A., Makni, I. y Attia, H. (2009). Influence of carrageenan addition on turkey meat sausages properties. *Journal of Food Engineering*, 93(3), 278–283. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.033>

Backi, C. J. (2018). Methods for (industrial) thawing of fish blocks: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 41(1). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12598>

Badui, D. (2005). *Química de los Alimentos* (4 ed., pp. 119-244). Pearson Addison Wesley. <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>

- Baldwin, D. E. (2012). Sous vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1(1), 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2011.11.002>
- Bañón, R., Otero, J., Campelos-Álvarez, J. M., Garazo, A., & Alonso-Fernández, A. (2018). The traditional small-scale octopus trap fishery off the Galician coast (Northeastern Atlantic): Historical notes and current fishery dynamics. *Fisheries Research*, 206, 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.05.005>
- Bao, Y., Ertbjerg, P., Estévez, M., Yuan, L. y Gao, R. (2021). Freezing of meat and aquatic food: Underlying mechanisms and implications on protein oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20 (6), 5548-5569. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12841>
- Barbosa-Pereira, L., Cruz, J. M., Sendón, R., Rodríguez Bernaldo de Quirós, A., Ares, A., Castro-López, M., Abad, M. J., Maroto, J. y Paseiro-Losada, P. (2013). Development of antioxidant active films containing tocopherols to extend the shelf life of fish. *Food Control*, 31(1), 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.036>
- Barreiro, J.A. y Sandoval, A.J. (2006). *Operaciones de conservación de los alimentos por bajas temperaturas* (1 ed.). Equinocio. https://www.researchgate.net/publication/299461004_Operaciones_de_Conservacion_de_Alimentos_por_Bajas_Temperaturas#fullTextFileContent
- Bazzino, G. y Quiñones, R. A. (2001). Alimentación del calamar *Illex argentinus* (cephalopoda, ommastrephidae) en la zona común de pesca Argentino-Uruguaya. *Gayana (Concepción)*, 65(2). <https://doi.org/10.4067/S0717-65382001000200010>
- Becker, A., Boulaaba, A., Pinggen, S., Krischek, C. y Klein, G. (2016). Low temperature cooking of pork meat. Physicochemical and sensory aspects. *Meat Science*, 118, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.026>
- Bekhit, A. A., Hopkins, D. L., Geesink, G., Bekhit, A. A. y Franks, P. (2014). Exogenous Proteases for Meat Tenderization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(8), 1012–1031. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.623247>
- Bertoglio, G. M. y Peralta, N. (2023). *Elaboración de bocaditos de pescado rebozado como alternativa comercial para el aprovechamiento de la especie Cyphocharax voga (sabalito)*. [Tesis de Grado Doctoral, Universidad de la República]. <https://www.fvet.edu.uy/defensa-de-tesis-de-grado-gianina-bertoglio-y-nicolas-peralta/>
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L. y Bekhit, A. E. D. A. (2018). Applied and Emerging Methods for Meat Tenderization: A Comparative Perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 841-859. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12356>
- Birtić, S., Dussort, P., Pierre, F.-X., Bily, A. C. y Roller, M. (2015). Carnosic acid. *Phytochemistry*, 115, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.12.026>
- Boatella Riera, J., Codony Salcedo, R. y López Alegret, P. (2004). *Química y bioquímica de los alimentos II*. (pp. 36-57). Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona. <https://es.slideshare.net/slideshow/quimica-y-bioquimica-de-los-alimentos/242598754>

- Bokov, D. O., Makarenko, M. A., Paleeva, M. A., Rusinova, M. B. y Bessonov, V. v. (2022). Squid fat as a promising source of polyunsaturated fatty acids. *Voprosy Pitaniia*, 91(5), 116–123. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-5-116-123>
- Bonfim, R. C., de oliveira, F. A., Godoy, R. L. de O. y Rosenthal, A. (2019). A review on high hydrostatic pressure for bivalve mollusk processing: Relevant aspects concerning safety and quality. *Food Science and Technology (Brazil)* 39(3), 515–523. <https://doi.org/10.1590/fst.26918>
- Borrás-Linares, I., Stojanović, Z., Quirantes-Piné, R., Arráez-Román, D., Švarc-Gajić, J., Fernández-Gutiérrez, A. y Segura-Carretero, A. (2014). Rosmarinus Officinalis Leaves as a Natural Source of Bioactive Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(11), 20585–20606. <https://doi.org/10.3390/ijms151120585>
- Boselli, E., Caboni, M. F., Rodriguez-Estrada, M. T., Toschi, T. G., Daniel, M. y Lercker, G. (2005). Photooxidation of cholesterol and lipids of turkey meat during storage under commercial retail conditions. *Food Chemistry*, 91(4), 705–713. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.043>
- Boskou, G. y Debevere, J. (2000). Shelf-life extension of cod fillets with an acetate buffer spray prior to packaging under modified atmospheres. *Food Additives and Contaminants*, 17(1), 17–25. <https://doi.org/10.1080/026520300283559>
- Botella-Romero, F., Alfaro-Martínez, J. J. y Hernández-López, A. (2015). Uso y abuso de la sal en la alimentación humana. *Nutrición Clínica de Medicina*, 9(3), 189-203. <https://www.aulamedica.es/nutricionclinicamedicina/pdf/5030.pdf>
- Boyle, P. y Rodhouse, P. (2005). Biodiversidad y zoogeografía. En: P. Boyle y P. Rodhouse (eds.). *Cephalopods: Ecology and Fisheries* (1 ed., pp. 62-79). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470995310>
- Cabello, A. M., Villarroel-Lezama, R. V., Figuera-García, B. E., Ramos-Marcano, M. C., Márquez-Figueroa, Y. V. y Vallenilla-González, O. M. (2004). Parámetros de frescura de moluscos. *Revista científica*, 16(5) 457-466. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95914512>
- Cabrera-Barjas, G., González, C., Nestic, A., Marrugo, K. P., Gómez, O., Delattre, C., Valdes, O., Yin, H., Bravo, G. y Cea, J. (2021). Utilization of marine waste to obtain β -chitin nanofibers and films from Giant Humboldt Squid *Dosidicus gigas*. *Marine Drugs*, 19(4), 184. <https://doi.org/10.3390/md19040184>
- Cadena, R. A. (2019). *Evaluación del efecto antimicrobiano del cloruro de sodio empleado en salmuera para el enfriamiento de salchichas*. [Trabajo de Grado para optar el título de microbióloga, Universidad de Pamplona, Colombia]. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5935>
- Cadun, A., Kışla, D. y Çaklı, Ş. (2008). Marination of deep-water pink shrimp with rosemary extract and the determination of its shelf-life. *Food Chemistry*, 109(1), 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.021>
- Cai, L., Cao, M., Regenstein, J., y Cao, A. (2019). Recent Advances in Food Thawing Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 953–970. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12458>

- Calvo-Carrillo, M. C., Carranco-Jáuregui, M. E., López-Méndez, O. X., de Lourdes Solano, M. y Coronel-Flores, F. (2023). Alternative use of squid (*Dosidicus gigas*) flour as a protein source to improve the nutritional quality of baguette bread. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 73(3), 191–200. <https://doi.org/10.37527/2023.73.3.003>
- Campañone, L. A., Roche, L. A., Salvadori, V. O. y Mascheroni, R. H. (2002). Monitoring of Weight Losses in Meat Products during Freezing and Frozen Storage. *Food Science and Technology International*, 8(4), 229–238. <https://doi.org/10.1177/1082013202008004555>
- Campo, M. M., Muela, E., Olleta, J. L., Moreno, L. A., Santaliestra-Pasías, A. M., Mesana, M. I. y Sañudo, C. (2013). Influence of cooking method on the nutrient composition of Spanish light lamb. *Journal of Food Composition and Analysis*, 31(2), 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.05.010>
- Candogan, K. y Kolsarici, N. (2003). Storage stability of low-fat beef frankfurters formulated with carrageenan or carrageenan with pectin. *Meat Science*, 64(2), 207–214. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00182-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00182-1)
- Cao, M., Cao, A., Wang, J., Cai, L., Regenstien, J., Ruan, Y. y Li, X. (2018). Effect of magnetic nanoparticles plus microwave or far-infrared thawing on protein conformation changes and moisture migration of red seabream (*Pagrus Major*) fillets. *Food Chemistry*, 266, 498–507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.057>
- Cárdenas, L. C. (2020). *Materiales para el envasado activo de alimentos basados en pla o phbv*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/151489>
- Cardenia, V., Massimini, M., Poerio, A., Venturini, M. C., Rodriguez-Estrada, M. T., Vecchia, P. y Lercker, G. (2015). Effect of dietary supplementation on lipid photooxidation in beef meat, during storage under commercial retail conditions. *Meat Science*, 105, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.02.010>
- Carrera-Quintana, S. C. y Jiménez-Perdomo, L. (2022). Caracterización fisicoquímica de productos derivados de pescado. *Revista de Investigaciones Agroempresariales*, 7. <https://doi.org/10.23850/25004468.4652>
- Carretto, M. V., Cuervo, M. P., Dirienzo, M. G. y Di Vito, M. V. (2002). Aceite de oliva: beneficios en la salud. *Invenio*, 5(8), 141-149. <https://www.redalyc.org/pdf/877/87750812.pdf>
- Castillo, M. G., Salazar, K. A. y Joffe, N. R. (2015). The immune response of cephalopods from head to foot. *Fish and Shellfish Immunology*, Volumen 46(1), 145–160. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.05.029>
- Castro-Requena, M. I., Calle-Díaz, J. E., García-Rodríguez, L. L., y Huamán-Díaz, J. (2021). *Estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta de filete de pescado congelado envasado al vacío en Piura-Perú*. [Informe de Investigación, Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2627>
- Capúz, N. (2014). *Sustitución parcial de harina de trigo por harina de amaranto variedad iniap-alegría (Amaranthus caudatus) y su incidencia en las características fisicoquímicas y sensoriales de salchicha escaldada*. [Tesis Ingeniería en alimentos, Universidad Nacional de Chimborazo-Ecuador]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/8444>

- Chan, S. S., Rotabakk, B. T., Løvdal, T., Lerfall, J. y Roth, B. (2021). Skin and vacuum packaging of portioned Atlantic salmon originating from refrigerated seawater or traditional ice storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100767>
- Chaparro, Lydia. (2014). *Sin mala espina: guía del consumo responsable de pescado y marisco*. Libros en acción. <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/adjuntos-spip/pdf/guia-sin-mala-espina.pdf>
- Chaves-Quesada, J. y Acosta-Montoya, O. (2023). Isochoric freezing: advantages and research opportunities in the food industry. *Agronomía Mesoamericana*, 34(3). <https://doi.org/10.15517/am.2023.52879>
- Chen, H., Zhang, M. y Fang, Z. (2014). Vacuum Frying of Desalted Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) Fillets. *Drying Technology*, 32(7), 820–828. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.868812>
- Chen, L., Jiao, D., Yu, X., Zhu, C., Sun, Y., Liu, M. y Liu, H. (2022). Effect of high pressure processing on the physicochemical and sensorial properties of scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) during iced storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(2), 1226–1236. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15505>
- Choi, M. J., Min, S. G. y Hong, G. P. (2016). Effects of pressure-shift freezing conditions on the quality characteristics and histological changes of pork. *LWT- Food Science and Technology*, 67, 194–199. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.054>
- Christensen, L., Gunvig, A., Tørrngren, M. A., Aaslyng, M. D., Knøchel, S. y Christensen, M. (2012). Sensory characteristics of meat cooked for prolonged times at low temperature. *Meat Science*, 90(2), 485–489. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.09.012>
- Christensen, L., Ertbjerg, P., Løje, H., Risbo, J., van den Berg, F. W. J. y Christensen, M. (2013). Relationship between meat toughness and properties of connective tissue from cows and young bulls heat treated at low temperatures for prolonged times. *Meat Science*, 93(4), 787–795. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.12.001>
- Coma, V. (2008). Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. *Meat Science*, 78(1–2), 90–103. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.035>
- Comisión Europea. (2002). *Reglamento (CE) nº 796/2002 de la Comisión de 6 de mayo de 2002 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) nº 2419/2001 del Consejo en lo que se refiere a las medidas de control aplicables en virtud del sistema integrado de gestión y control de determinados regímenes de ayudas comunitarias establecidas en el marco de la política agrícola común*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 128, 1-24. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32002R0796>
- Comisión Europea. (2005). *Reglamento (CE) nº 2074/2005 de la Comisión de 5 de diciembre de 2005 por el que se establecen medidas de aplicación para determinados productos de conformidad con el Reglamento (CE) nº 853/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo y para la organización de controles oficiales de conformidad con los Reglamentos (CE) nº 854/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo y (CE) nº 882/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se derogan determinadas medidas de aplicación del Reglamento (CE) nº 854/2004*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 338, 27-59. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32005R2074>

- Comisión Europea. (2006). *Reglamento (CE) nº 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 404, 9-25. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32006R1924>
- Comisión Europea. (2007). *Reglamento (CE) nº 1441/2007 de la Comisión de 5 de diciembre de 2007 por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 2073/2005 relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 322, 12-29. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32007R1441>
- European Commission. (2008). EC Regulation No 629/2008 of 2 July 2008. Setting Maximum Levels for Certain Contaminants in Foodstuffs. OJEU L. 173: 6-9. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:173:0006:0009:EN:PDF>
- Comisión Europea. (2011). *Reglamento (UE) nº 10/2011 de la Comisión de 14 de enero de 2011 sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 12, 1-89. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32011R0010>
- Comisión Europea. (2023). *Reglamento (UE) nº 2023/915 de la Comisión de 25 de abril de 2023 sobre límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 1881/2006*. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2023-80614>
- Condori, L. J. (2019). *Determinación de parámetros tecnológicos para el pelado químico de filetes de pota (*Dosidicus gigas*) congelada con baño alcalino de hidróxido de sodio*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Pesquero, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8396>
- Conejo, A. (2019). *Evaluación de las nuevas tecnologías en el desarrollo de productos cárnicos sostenibles*. [Trabajo Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/56983/>
- Córdova-Ramos, J. S., Gonzales-Barron, U. y Cerrón-Mallqui, L. M. (2018). Physicochemical and sensory properties of yogurt as affected by the incorporation of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) powder. *LWT*, 93, 506–510. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.082>
- Cortés-Ruiz, J. A., Pacheco-Aguilar, R., Elena Lugo-Sánchez, M., Gisela Carvallo-Ruiz, M. y García-Sánchez, G. (2008). Production and functional evaluation of a protein concentrate from giant squid (*Dosidicus gigas*) by acid dissolution and isoelectric precipitation. *Food Chemistry*, 110(2), 486–492. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.030>
- Craig, S. y Overnell, J. (2003). Metals in squid, *Loligo forbesi*, adults, eggs and hatchlings. No evidence for a role for Cu- or Zn-metallothionein. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 134(3), 311–317. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(02\)00274-0](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(02)00274-0)
- Cropotova, J., Mozuraityte, R., Standal, I. B. y Rustad, T. (2018). A non-invasive approach to assess texture changes in sous-vide cooked Atlantic mackerel during chilled storage by fluorescence imaging. *Food Control*, 92, 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.060>
- Coşansu, S., Mol, S. y Haskaraca, G. (2022). Sous-vide cooking: Effects on seafood quality and combination with other hurdles. In *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100586>

- Cozza, N., Bonani, W., Motta, A. y Migliaresi, C. (2016). Evaluation of alternative sources of collagen fractions from *Loligo vulgaris* squid mantle. *International Journal of Biological Macromolecules*, 87, 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.03.013>
- Csirke, J., Argüelles, J., Alegre, A., Ayón, P., Bouchon, M., Castillo, G., Castillo, R., Cisneros, R., Guevara-Carrasco, R., Lau, L., Mariátegui, L., Salazar, C., Tafur, R., Torrejón, J. y Yamashiro, C. (2018). Biología, estructura poblacional y pesquería de pota o calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Perú. *Boletín Instituto Mar del Perú*, 33(2). <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/46>
- Cui, Z., Dubova, H. y Mo H. (2019). Effects of sous vide cooking on physicochemical properties of squid. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 29, 35-40. <https://keypublishing.org/jhed/jhed-volumes/jhed-volume-29-fpp-1-zhenkun-cui-halyna-dubova-haizhen-mo-2019-effects-of-sous-vide-cooking-on-physicochemical-properties-of-squid/>
- Cui, Z., Manoli, T., Nikitchina, T. y Mo, H. (2020a). Trends of processed products of squid. *Food Science and Technology*, 14(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v14i1.1650>
- Cui, Z., Yan, H., Manoli, T., Mo, H., Li, H. y Zhang, H. (2020b). Changes in the volatile components of squid (*Illex argentinus*) for different cooking methods via headspace–gas chromatography–ion mobility spectrometry. *Food Science and Nutrition*, 8(10), 5748–5762. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1877>
- Cui, Z., Manoli, T., Nikitchina, T. y Mo, H. (2020c). Trends in the manufacture of processed squid products. *Food science and technology*, 14(1):89-97 <https://doi.org/10.15673/fst.v14i1.1650>
- Cui, Z., Zhang, N., Lou, W. y Manoli, T. (2022). Application of sous vide cooking to aquatic food products. *Food Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.108021>
- Czech, A. y Stachyra, K. (2013). Effect of processing treatments (frozen, frying) on contents of minerals in tissues of “frutti di mare.” *International Journal of Food Science and Technology*, 48(2), 238–245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03179.x>
- Czech, A., R Grela, E. y Ognik, K. (2014). Effect of Frying on Nutrients Content and Fatty Acid Composition of Muscles of Selected Freezing Seafoods. *Journal of Food and Nutrition Research*, 3(1), 9–14. <https://doi.org/10.12691/jfnr-3-1-2>
- De la Calle, I., Ros, G., Peñalver, R. y Nieto, G. (2020). Celiac disease: Causes, pathology, and nutritional assessment of gluten-free diet. a review. *Nutricion Hospitalaria*, 37(5), 1043–1051. <https://doi.org/10.20960/nh.02913>
- Deng, Y., Wang, Y., Yue, J., Liu, Z., Zheng, Y., Qian, B., Zhong, Y. y Zhao, Y. (2014). Thermal behavior, microstructure and protein quality of squid fillets dried by far-infrared assisted heat pump drying. *Food Control*, 36(1), 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.006>
- Devatkal, S. K., Narsaiah, K. y Borah, A. (2010). Anti-oxidant effect of extracts of kinnow rind, pomegranate rind and seed powders in cooked goat meat patties. *Meat Science*, 85(1), 155–159. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.019>
- Devesa, V., Macho, M. L., Jalón, M., Urieta, I., Muñoz, O., Súñer, M. A., López, F., Vélez, D. y Montoro, R. (2001). Arsenic in cooked seafood products: Study on the effect of cooking on total and inorganic

arsenic contents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 4132–4140. <https://doi.org/10.1021/jf010274l>

Díaz, P. (2009). *Calidad y deterioro de platos “sous vide” preparados a base de carne y pescado y almacenados en refrigeración*. [Tesis Doctoral, Universidad de Murcia]. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/4413>

Diezma, B. y Correa, E.C. (2018). Biosensores y sistemas ópticos y de visión avanzados: su aplicación en la evaluación de la calidad de productos IV gama. *Agrociencia Uruguay*, 22(1), 13-25 <https://doi.org/10.31285/agro.22.1.2>

Dihort-García, G., Ocano-Higuera, V. M., Ezquerro-Brauer, J. M., Lugo-Sánchez, M. E., Pacheco-Aguilar, R., Barrales-Heredia, S. M. y Márquez-Ríos, E. (2011). Producción y evaluación funcional de un concentrado proteico de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) obtenido mediante disolución alcalina. *CYTA - Journal of Food*, 9(3), 171–179. <https://doi.org/10.1080/19476337.2010.503905>.

Djekic, I., Ilic, J., Lorenzo, J. M. y Tomasevic, I. (2021). How do culinary methods affect quality and oral processing characteristics of pork ham? *Journal of Texture Studies*, 52(1), 36–44. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12557>

Dogruyol, H., Mol, S. y Cosansu, S. (2020). Increased thermal sensitivity of *Listeria monocytogenes* in sous-vide salmon by oregano essential oil and citric acid. *Food Microbiology*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103496>

Domínguez-Hernández, E., Salaseviciene, A. y Ertbjerg, P. (2018). Low-temperature long-time cooking of meat: Eating quality and underlying mechanisms. *Meat Science*, 143, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.032>

Dong, Y., Wei, Z. y Xue, C. (2021). Recent advances in carrageenan-based delivery systems for bioactive ingredients: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 348–361. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.012>

Doubleday, Z. A., Prowse, T. A. A., Arkhipkin, A., Pierce, G. J., Semmens, J., Steer, M., Leporati, S. C., Lourenço, S., Quetglas, A., Sauer, W. y Gillanders, B. M. (2016). Current Biology Global proliferation of cephalopods. *Current Biology*, 26, 387–407. <https://doi.org/10.1016/j>

Dublán-García, O., Cruz-Camarillo, R., Guerrero-Legarreta, I. y Ponce-Alquicira, E. (2006). Effect of refrigerated storage on proteolytic activity and physicochemical and microstructural properties of giant squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle. *Journal of Muscle Foods* 17 (2006) 291–310. [10.1111/j.1745-4573.2006.00051.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2006.00051.x)

Duysak, Ö. y Uğurlu, E. (2017). Metal accumulations in different tissues of cuttlefish (*Sepia officinalis* L., 1758) in the Eastern Mediterranean coasts of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10), 9614–9623. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8685-2>

Elbarbary, N. K., Abdelmotilib, N. M., Gomaa, R. A., Elnamany, F., Fotouh, A., Noseer, E. A. y Zaki, R. S. (2023). Impact of thawing techniques on the microstructure, microbiological analysis, and antioxidants activity of *Lates niloticus* and *Mormyrus kannume* fish fillets. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 49(4), 530–536. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2023.10.004>

- Engelmo, M. E. (2021). *Sistemas de envasado que preservan en el tiempo la composición química y organoléptica de los alimentos*. [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Sevilla]. <https://hdl.handle.net/11441/133227>
- Erdem, N., Karakaya, M., Babaoğlu, A. S. y Unal, K. (2022). Effects of Sous Vide Cooking on Physicochemical, Structural, and Microbiological Characteristics of Cuttlefish, Octopus, and Squid. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 31(7), 636–648. <https://doi.org/10.1080/10498850.2022.2092433>
- Ersoy, B. y Özeren, A. (2009). The effect of cooking methods on mineral and vitamin contents of African catfish. *Food Chemistry*, 115(2), 419–422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.018>
- EPA de EE. UU. 2007. Método 3015A (SW-846): digestión ácida asistida por microondas de muestras y extractos acuosos, revisión 1. Washington, DC
- Essa, H. A., el Shebini, S. M., Moaty, M. I. A., Ahmed, N. H., Hussein, A. M. S. y Mohamed, M. S. (2024). Efficacy of parsley seed-supplemented bread in improving serum osteopontin level and renal health in obese women: A nutritional intervention study. *Clinical Nutrition ESPEN*, 59, 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.12.022>
- European Food Safety Authority. 2006. Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals. https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/efsa_rep/blobserver_assets/ndatolerableuil.pdf
- European Food Safety Authority (EFSA) (2017). Overview on dietary reference values for the EU population as derived by the EFSA panel on dietetic products, nutrition and allergies. https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/assets/DRV_Summary_tables_jan_17.pdf
- European Food Safety Authority (EFSA). (2010). Scientific Opinion on Lead in Food. Lead, occurrence, dietary exposure, food consumption, risk assessment, adults, children, margin of exposure. *EFSA J.* 8: 1570. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1570>.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2011. Scientific Opinion. Statement on Tolerable Weekly Intake for Cadmium. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/1975.pdf>
- European Food Safety Authority (EFSA). (2017). Overview on Dietary Reference Values for the EU Population as Derived by the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/assets/DRV_Summary_tables_jan_17.pdf.
- Fan, C., Cheng, L., Hong, Y., Li, Z., Li, C., Ban, X. y Gu, Z. (2024). Study on the gelatinization and digestive characteristics of wheat starch and potato starch under low moisture conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132192>
- Fang, X., Xie, N., Chen, X., Yu, H. y Chen, J. (2012). Optimization of antioxidant hydrolysate production from flying squid muscle protein using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 90(4), 676–682. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.001>
- Fang, Z., Zhao, Y., Warner, R. D. y Johnson, S. K. (2017). Active and intelligent packaging in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.002>
- FAO/FINUT. (2012). Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. Consulta de expertos. <https://www.fao.org/4/i1953s/i1953s.pdf>

- FAO. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/26cd480f-6cf1-40bf-a565-200d11e01ef1/content>
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- FAO. (2024). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd0683es>
- Farag, M. R., Alagawany, M., Taha, H. S. A., Ismail, T. A., Khalil, S. R. y Abou-Zeid, S. M. (2021). Immune response and susceptibility of Nile tilapia fish to *Aeromonas hydrophila* infection following the exposure to Bifenthrin and/or supplementation with *Petroselinum crispum* essential oil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 216, 112205. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112205>
- Farajzadeh, F., Motamedzadegan, A., Shahidi, S.-A. y Hamzeh, S. (2016). The effect of chitosan-gelatin coating on the quality of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under refrigerated condition. *Food Control*, 67, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.02.040>
- Farouk, M. M., Wieliczko, K. J. y Merts, I. (2004). Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Science*, 66(1), 171–179. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00081-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00081-0)
- Faxholm, P. L., Schmidt, C. V., Brønnum, L. B., Sun, Y. T., Clausen, M. P., Flore, R., Olsen, K. y Mouritsen, O. G. (2018). Squids of the North: Gastronomy and gastrophysics of Danish squid. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 14, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2018.11.002>
- Félix-Armenta, A., Ramirez-Suarez, J. C., Pacheco-Aguilar, R., Díaz-Cinco, M. E., Cumplido-Barbeitia, G. y Carvallo-Ruiz, G. (2009). Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle gelled-emulsified type product: Formulation, processing and physicochemical characteristics. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(8), 1517–1524. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01709.x>
- Feng, X., Tjia, J. Y. Y., Zhou, Y., Liu, Q., Fu, C. y Yang, H. (2020). Effects of tocopherol nanoemulsion addition on fish sausage properties and fatty acid oxidation. *LWT*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108737>
- Fernández-Molina, J. J., Barbosa-Cánovas, G. V. y Swanson, B. G. (2001). Tecnologías emergentes para la conservación de alimentos sin calor. *Arbor*, 168(661), 155–170. <https://doi.org/10.3989/arbor.2001.i661.827>
- Fernandez, F., Lucas, C., y Bañón, S. (2021). Mineral composition of raw and marinated-cooked arms from Pacific giant squid (*Dosidicus gigas*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 33(1), 20–28. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2021.v33.i1.2355>
- Fernández, F. (2023). *Mejora tecnológica de la fabricación industrial de tentáculos de potón (Dosidicus gigas) cocinado y congelado*. [Tesis Doctoral, Universidad de Murcia].
- Fernández-Polanco, J. M., Llorente, I., Luna, L. y Fernández-Sánchez, J. L. (2012). El mercado de productos pesqueros en España: Efectos de la crisis en la producción y el consumo. *Globefish research*

programme, 106. Roma, FAO 2012 (p. 73).
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/92d3ddc5-71f5-4de9-a917-37ad92c163ca/content>

Flores-Hernández, A., García-Barrientos, R. y Minor-Pérez, H. (2017). Procesos de conservación de calamar gigante (*Dosidicus gigas*): tecnologías tradicionales y empleo de inhibidores enzimáticos. *TecnoCultura*, 11. <https://tecnocultura.org/index.php/Tecnocultura/article/view/241>

Fluckiger, M., Jackson, G. D., Nichols, P., Virtue, P., Daw, A. y Wotherspoon, S. (2008). An experimental study of the effect of diet on the fatty acid profiles of the European Cuttlefish (*Sepia officinalis*). *Marine Biology*, 154(2), 363–372. <https://doi.org/10.1007/s00227-008-0932-0>

Fonseca-Rodríguez, C. y Chavarría-Solera, F. (2017). Composición proximal en algunas especies de pescado y mariscos disponibles en el pacífico costarricense. *Uniciencia*, 31(1), 23. <https://doi.org/10.15359/ru.31-1.3>

Forsythe, J. W. (2004). Accounting for the effect of temperature on squid growth in nature: from hypothesis to practice. *Marine and Freshwater Research*, 55(4), 331–339. <https://doi.org/10.1071/MF03146>

Fuentes, A. (2007). *Desarrollo de Productos Ahumados a partir de Lubina (Dicentrarchus labrax L.)*. [Tesis Doctoral, Universidad de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/7201>

Fuentes, A., Fernández-Segovia, I., Escriche, I. y Serra, J. A. (2009). Comparison of physico-chemical parameters and composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) from different Spanish origins. *Food Chemistry*, 112(2), 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.064>

Galiana, L. (2017). *Nuevos materiales para el envasado activo de alimentos: antimicrobianos*. [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Alicante]. <http://hdl.handle.net/10045/67234>

Gámez-Villazana, J., Ojeda-Ojeda, L. y Fernández-Molina, J. (2021). Principios de la tecnología de obstáculos en productos pesqueros. *Revista de Ciencia y Tecnología/ Agrollanía*, 20, 12-22. https://www.researchgate.net/publication/353765046_PRINCIPIOS_DE_LA_TECNOLOGIA_DE_OBSTACULOS_EN_PRODUCTOS_PESQUEROS#fullTextFileContent

García, R., García, H.M., Sánchez, M.L., Espinosa, V., Coronel, L.P. y González, M.C. (2018). Calidad alimentaria y bioactividad del calamar. En: L. Guerrero, M. R. Rosmini, y R. E. Armenta (eds.). *Utilización de pescados y mariscos: Tecnologías e innovación* (pp. 77-98). Editorial Académica Española. https://www.researchgate.net/publication/326079755_CALIDAD_ALIMENTARIA_Y_BIOACTIVIDAD_DEL_CALAMAR

García, M. (2020). *Un enfoque integrado para la valorización de los subproductos de la lubina: Obtención de compuestos con valor añadido y bacterias ácido-lácticas*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/151679>

Gao, Y., Zhuang, H., Yeh, H. Y., Bowker, B. y Zhang, J. (2019). Effect of rosemary extract on microbial growth, pH, color, and lipid oxidation in cold plasma-processed ground chicken patties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.05.007>

- Gibis, M. (2016). Heterocyclic Aromatic Amines in Cooked Meat Products: Causes, Formation, Occurrence, and Risk Assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 269–302. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12186>
- Giménez, B., Alemán, A., Montero, P. y Gómez-Guillén, M. C. (2009). Antioxidant and functional properties of gelatin hydrolysates obtained from skin of sole and squid. *Food Chemistry*, 114(3), 976–983. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.050>
- Giro, T. M., Beloglazova, K. E., Rysmukhambetova, G. E., Simakova, I. v., Karpunina, L. V., Rogojin, A. A., Kulikovskiy, A. V. y Andreeva, S. V. (2020). Xanthan-based biodegradable packaging for fish and meat products. *Foods and Raw Materials*, 8(1). <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-67-75>
- Głuchowski, A., Czarniecka-Skubina, E., Wasiak-Zys, G., y Nowak, D. (2019). Effect of various cooking methods on technological and sensory quality of atlantic salmon (*Salmo salar*). *Foods*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/foods8080323>
- Gokoglu, N., Yerlikaya, P. y Cengiz, E. (2004). Effects of cooking methods on the proximate composition and mineral contents of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Chemistry*, 84(1), 19–22. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00161-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00161-4)
- Gokoglu, N., Topuz, O. K., Gokoglu, M. y Tokay, F. G. (2017). Characterization of protein functionality and texture of tumbled squid, octopus and cuttlefish muscles. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1699–1705. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9550-1>
- Gomes, M. da S. A., Kato, L. S., Carvalho, A. P. A., Almeida, A. E. C. C. y Conte-Junior, C. A. (2021). Sodium replacement on fish meat products – A systematic review of microbiological, physicochemical and sensory effects. *Trends in Food Science and Technology*, 118, 639-657. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.028>
- Gómez, B., Munekata, P. E. S., Gavahian, M., Barba, F. J., Martí-Quijal, F. J., Bolumar, T., Campagnol, P. C. B., Tomasevic, I. y Lorenzo, J. M. (2019). Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food Research International*, 123, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.047>
- Gómez-Guillén, M. C., Martínez-Alvarez, O. y Montero, P. (2003). Functional and Thermal Gelation Properties of Squid Mantle Proteins Affected by Chilled and Frozen Storage. *Journal of Food Science*, 68(6), 1962–1967. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb07002.x>
- Gómez-Sánchez, A. I., Cerón-Carrillo, T. G., Rodríguez-Martínez, V. y Vázquez-Aguilar, M. M. (2007). Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 1* (pp. 80-96). https://www.researchgate.net/publication/267156083_Aspectos_tecnologicos_de_la_congelacion_en_alimentos
- Gong, Y., Li, Y., Chen, X. y Yu, W. (2020). Trophic Niche and Diversity of a Pelagic Squid (*Dosidicus gigas*): A Comparative Study Using Stable Isotope, Fatty Acid, and Feeding Apparatus Morphology. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00642>
- González, B. y Palacios, R. (2016). *Formulación y obtención de una salchicha de pescado a base de surimi de caballa (*Scomber japonicus*) y surimi de pota*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://api->

repositorio.unia.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a5dde2fa-05aa-458c-9aa7-a67f634ebbac/content

González, A.J, Luque, A., Sosa, H., Medina, L., Otxoa, E. (2001). La Pesca. En: A. J. González, A. Luque, L. Medina y E. Otxoa *Memoria informativa y estudios complementarios del Plan Insular de Ordenación de Gran Canaria*. Capítulo 5. https://www.researchgate.net/publication/270451810_La_Pesca

González-Fandos, E., Villarino-Rodríguez, A., García-Linares, M. C., García-Arias, M. T., y García-Fernández, M. C. (2005). Microbiological safety and sensory characteristics of salmon slices processed by the sous vide method. *Food Control*, 16(1), 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2003.11.011>

González-Laxe, F. (2018). Estructura del consumo de pescado en España. *Boletín Económico de ICE*, n.º 3105: 51-67. <https://doi.org/10.32796/bice.2018.3105.6625>.

González, L. W. (2021). *La pesca del calamar o luria Loligo spp en Venezuela*. Boletín “COFA Convivencia Pesquera” (pp. 12-14). https://issuu.com/fundatun/docs/2021_03_rev_cofa/s/11993138

González, R. (2017). *Envases activos para productos alimentarios: Estudio de los sistemas autocalentables*. [Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid]. <https://oa.upm.es/45485/>

Gou, J., Lee, H. Y. y Ahn, J. (2010). Effect of high pressure processing on the quality of squid (*Todarodes pacificus*) during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 119(2), 471–476. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.042>

Grillo, A., Salvi, L., Coruzzi, P., Salvi, P. y Parati, G. (2019). Sodium intake and hypertension. *Nutrients*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/nu11091970>

Groot, E. y Albisu, L. M. (2014). ¿Pescado de sobremesa o en bandejas? La preferencia de los consumidores en Zaragoza, España. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 18(35) 911-921. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14131676001.pdf>

Grummer, J., Bobowski, N., Karalus, M., Vickers, Z. y Schoenfuss, T. (2013). Use of potassium chloride and flavor enhancers in low sodium Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 96(3), 1401–1418. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6057>

Guerra, A. (2006). Cephalopod Essential Habitats to Ecosystem Based Fisheries. *Investigación y ciencia*. <https://www.researchgate.net/publication/269103777>

Guldás, M. y Hecer, C. (2012). Influences of the selected additives on the weight loss and organoleptic properties of marinated mussels and squids. *Acta Veterinaria Brno*, 81(3), 263–267. <https://doi.org/10.2754/avb201281030263>

Guzmán-Rodríguez, M. F., Cortez-Guardiola, S. A., Garza-Valverde, E., García, M. C. J. y García-Gómez, C. (2023). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 572-579 <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.77>

Henderson, G. C., Fattor, J. A., Horning, M. A., Faghihnia, N., Johnson, M. L., Mau, T. L., Luke-Zeitoun, M., y Brooks, G. A. (2007). Lipolysis and fatty acid metabolism in men and women during the postexercise recovery period. *The Journal of Physiology*, 584(3), 963–981. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.137331>

- Hernández-Andrés, A., Guillén, C. G., Montero, P. y Pérez-Mateos, M. (2006). Partial Characterization of Protease Activity in Squid (*Todaropsis eblanae*) Mantle: Modification by High-pressure Treatment. *Journal of Food Science*, 70(4), 239–245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07166.x>
- Hoving, H. J. T. y Robison, B. H. (2017). The pace of life in deep-dwelling squids. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 126, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2017.05.005>
- Howes, B. D., Milazzo, L., Droghetti, E., Nocentini, M. y Smulevich, G. (2019). Addition of sodium ascorbate to extend the shelf-life of tuna meat fish: A risk or a benefit for consumers? *Journal of Inorganic Biochemistry*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2019.110813>
- Huazano, A. (2019). *Huertos familiares con un enfoque nutricional en las formas de cocción*. [Tesina de Licenciatura, Universidad Vasco de Quiroja]. <http://doi.org/10.15359/prne.22-43.10>
- Hunt, A. y Park, J. W. (2013). Alaska Pollock Fish Protein Gels as Affected by Refined Carrageenan and Various Salts. *Journal of Food Quality*, 36(1), 51–58. <https://doi.org/10.1111/jfq.12010>
- Ibáñez, C. M., Díaz-Santana-Iturrios, M., López-Córdova, D. A., Carrasco, S. A., Pardo-Gandarillas, M. C., Rocha, F. y Vidal, E. A. G. (2021). A phylogenetic approach to understand the evolution of reproduction in coleoid cephalopods. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 155, 106972. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106972>
- Ibrahim Sallam, K. (2007). Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. *Food Control*, 18(5), 566–575. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.02.002>
- Internacional Organization for Standardization. (1998). Meat and meat products. Determination of total ash (ISO 936:1998).
- International Organization for Standardization. (2001). *Microbiology of food and animal feeding stuffs. Horizontal method for the enumeration of beta-glucuronidase-positive Escherichia coli*. (ISO 16649-2:2001).
- International Organization for Standardization. (2012). Sensory analysis. General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors. (ISO 8586:2012).
- Izquierdo-Domínguez, F. (2020). *Métodos innovadores de conservación de productos pesqueros*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Jaén]. <https://crea.ujaen.es/jspui/bitstream/10953.1/21411/1/TFMFelixIzquierdoDominguez.pdf>
- Jackson, G. D. y Moltschaniwskyj, N. A. (2002). Spatial and temporal variation in growth rates and maturity in the Indo-Pacific squid *Sepioteuthis lessoniana* (Cephalopoda: Loliginidae). *Marine Biology*, 140(4), 747–754. <https://doi.org/10.1007/s00227-001-0746-9>
- Jackson, G. D. (2004). Advances in defining the life histories of myopsid squid. *Marine and Freshwater Research*, 55(4), 357–365. <https://doi.org/10.1071/MF03152>

- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B. y Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. In *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60-72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- James, C., Reitz, B. y James, S. J. (2015). The freezing characteristics of garlic bulbs (*Allium sativum* L.) frozen conventionally or with the assistance of an oscillating weak magnetic field. *Food and Bioprocess Technology*, 8(3), 702–708. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1438-z>
- Janjic, J., Ivanovic, J., Popovic, M., Dokmanovic, M., Boskovic, M., Glamoclija, N., Sarcevic, D. y Baltic, M. (2015). Quality of breaded fish products on the market. *Tehnologija Mesa*, 56(1), 67–74. <https://doi.org/10.5937/tehmesa1501067J>
- Jeon, E. Y., Chun, Y. G. y Kim, B. K. (2024). Investigation of carrot/squid blends as edible inks for extrusion 3D printing: Effect of hydrocolloids incorporation. *Journal of Food Engineering*, 364. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111777>
- Jereb, P. y Roper, C.F.E (eds.) (2010). Myopsid and Oegopsid Squids. En: FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. *Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of cephalopod species known to date.* (pp. 41-42). <https://www.fao.org/4/i3489e/i3489e.pdf>
- Jereb, P., Piatkowski, U., Allcock, L., Belcari, P., Garcia, M., González, A., Guerra, A., Hastie, L.C., Lefkaditou, E., Moreno, A., Pascual, S., Pereira, J., Pierce, G. J., Sánchez, P., Sartor, P., Seixas, S., Sobrino, I. y Villanueva, R. (2010). *Biology and ecology of cephalopod series commercially exploited in Europe.* En G. J. Pierce, L. Allcock, I. Bruno, P. Bustamente, A. González, A. Guerra, P. Jereb, Lefkaditou, E, S. Malham, A. Moreno, J. Pereira, Piatkowski, U. Piatkowski, M. Rasero, P. Sánchez, M. B. Santos, M. Santurtún, S. Seixas, I. Sobrino y R. Villanueva (eds.). *Cephalopod biology and fisheries in Europe.* (pp. 12-15) ICES Cooperative Research Report No. 303. <https://digital.csic.es/handle/10261/27528>
- Jeyasekaran, G., Shakila, J. R., Sukumar, D., Ganesan, P. y Anandaraj, R. (2010). Quality changes in Squid (*Loligo duvaucelli*) tubes chilled with dry ice and water ice. *Journal of Food Science and Technology*, 47(4), 401–407. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0066-5>
- Jiang, S., Cao, C., Xia, X., Liu, Q. y Kong, B. (2019). Enhancement of the Textural and Gel Properties of Frankfurters by Adding Thermo-reversible or Thermo-irreversible Curdlan Gels. *Journal of Food Science*, 84(5), 1068–1077. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14595>
- Jiao, Y., Chen, J., Li, W., Liu, Y., Xin, C. y Yang, L. (2018). Trace elements concentrations in squids consumed in Shandong Province China and their associated risks to the human health. *Marine Pollution Bulletin*, 128, 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.038>
- Jordán, M. J., Castillo, J., Bañón, S., Martínez-Conesa, C. y Sotomayor, J. A. (2014). Relevance of the carnosic acid/carnosol ratio for the level of rosemary diterpene transfer and for improving lamb meat antioxidant status. *Food Chemistry*, 151, 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.068>
- Ju, J., Chen, X., Xie, Y., Yu, H., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H. y Yao, W. (2019). Application of essential oil as a sustained release preparation in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 92, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.005>
- Jun-hui, X., Hui-juan, C., Bin, Z. y Hui, Y. (2020). The mechanistic effect of bromelain and papain on tenderization in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) muscle. *Food Research International*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.108991>

- Kaczmarek, K., Hornowski, T., Antal, I., Timko, M. y Józefczak, A. (2019). Magneto-ultrasonic heating with nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 474, 400–405. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.11.062>
- Kalogeropoulos, N., Andrikopoulos, N. K. y Hassapidou, M. (2004). Dietary evaluation of Mediterranean fish and molluscs pan-fried in virgin olive oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(13), 1750–1758. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1878>
- Kalogeropoulos, N., Karavoltos, S., Sakellari, A., Avramidou, S., Dassenakis, M. y Scoullou, M. (2012). Heavy metals in raw, fried and grilled Mediterranean finfish and shellfish. *Food and Chemical Toxicology*, 50(10), 3702–3708. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.07.012>.
- Kanatt, S. R. (2020). Development of active/intelligent food packaging film containing Amaranthus leaf extract for shelf life extension of chicken/fish during chilled storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100506>
- Karimian-Khosroshahi, N., Hosseini, H., Rezaei, M., Khaksar, R. y Mahmoudzadeh, M. (2016). Effect of Different Cooking Methods on Minerals, Vitamins, and Nutritional Quality Indices of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *International Journal of Food Properties*, 19(11), 2471–2480. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1039028>
- Kier, W. M. (2016). The musculature of coleoid cephalopod arms and tentacles. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fcell.2016.00010>
- Kilibarda, N., Brdar, I., Baltic, B., Markovic, V., Mahmutovic, H., Karabasil, N. y Stanicic, S. (2018). The Safety and Quality of Sous Vide Food. *Meat Technology*, 59(1), 38–45. <https://doi.org/10.18485/meattech.2018.59.1.5>
- Kinay, A. G. y Duyar, H. A. (2021). Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) as a Preservative Agent in Canned Bonito (*Sarda sarda*). *Marine Science and Technology Bulletin*, 10(4), 406–415. <https://doi.org/10.33714/masteb.1001401>
- Konno, K., Young-je, C., Yoshioka, T., Shinho, P. y Seki, N. (2003). Thermal denaturation and autolysis profiles of myofibrillar proteins of mantle muscle of jumbo squid *Doedicus gigas*. *Fisheries Science*, 69(1), 204–209. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2003.00607.x>
- Kugino, M., Kugino, K., Tamura, T. y Asakura, T. (2009). Relationship between tissue structural collapse and disappearance of flesh transparency during postmortem changes in squid mantles. *Journal of Food Science*, 74(9). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01351.x>
- Lacoue-Labarthe, T., Bustamante, P., Hörlin, E., Luna-Acosta, A., Bado-Nilles, A. y Thomas-Guyon, H. (2009). Phenoloxidase activation in the embryo of the common cuttlefish *Sepia officinalis* and responses to the Ag and Cu exposure. *Fish and Shellfish Immunology*, 27(3), 516–521. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2009.07.002>
- Lad, D. y Khan, N. (2018). Study on the effects of antioxidant citric acid and ascorbic acid on the quality of Indian mackerel, *Rastrelliger kanagurta*, steaks during chilled storage. *International Journal of Scientific Research*, 7 (3). <https://doi.org/10.36106/ijsr>

- Lam, A. C. Y., Can Karaca, A., Tyler, R. T. y Nickerson, M. T. (2018). Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International*, 34(2), 126–147. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1242135>
- Langreo-Navarro, A. (2001). Nuevas tendencias en el consumo de los productos de la pesca. *Distribución y consumo*, 33-53. https://www.researchgate.net/publication/28053752_Nuevas_tendencias_en_el_consumo_de_los_productos_de_la_pesca#fullTextFileContent
- Lapa-Guimarães, J., Azevedo da Silva, M. A., Eduardo de Felício, P. y Guzmán, E. C. (2002). Sensory, colour and psychrotrophic bacterial analyses of squids (*Loligo plei*) during storage in ice. *Food Science and Technology*, 35(1), 21–29. <https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0783>
- Lapa-Guimarães, J., de Felício, P. E. y Guzmán, E. S. C. (2005). Chemical and microbial analyses of squid muscle (*Loligo plei*) during storage in ice. *Food Chemistry*, 91(3), 477–483. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.038>
- Lavado, M. D. (2018). *Efecto del marinado, congelación y descongelación sobre las propiedades tecnológicas de la carne de alpaca (Vicugna pacos)*. [Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3262>
- Lazo-Andrade, J., Guzmán-Rivas, F. A., Espinoza, P., García-Huidobro, M. R., Aldana, M., Pulgar, J. y Urzúa, Á. (2021). Temporal variations in the bioenergetic reserves of *Concholepas concholepas* (Gastropoda: Muricidae) in contrasting coastal environments from the Humboldt current system. *Journal of Sea Research*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2020.101970>
- Leerahawong, A., Aarii, R., Tanaka, M. y Osako, K. (2011). Edible film from squid (*Todarodes pacificus*) mantle muscle. *Food Chemistry*, 124(1), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.005>
- León, J. G. (2018). *Evaluación de cambios microestructurales en el músculo de yamú (Brycon amazonicus) tratado con un crioprotector bajo dos condiciones de temperatura de almacenamiento*. [Tesis para optar al grado de magister de salud pública, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69400>
- Llave, Y., Mori, K., Kambayashi, D., Fukuoka, M. y Sakai, N. (2016). Dielectric properties and model food application of tylose water pastes during microwave thawing and heating. *Journal of Food Engineering*, 178, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.003>
- Llinares, L. G. (2017). *Nuevos materiales para el envasado activo de alimentos: antimicrobianos*. [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Alicante]. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/67234/1/Nuevos_materiales_para_ensado_activo_de_alimentos_GALIANA_LLINARES_LUCIA.pdf
- Loor, J. L. (2012). *Estudio de la adición de fécula de papa (Solanum Tuberosum L.) en la elaboración de chorizo escaldado de pollo*. [Tesis de grado, Universidad técnica estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/329>
- Lopes, A. F., Alfaia, C. M. M., Partidário, A. M. C. P. C., Lemos, J. P. C. y Prates, J. A. M. (2015). Influence of household cooking methods on amino acids and minerals of Barrosã-PDO veal. *Meat Science*, 99, 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.08.012>

- Lunarejo, M. C. (2021). *Estudio comparativo de la productividad del proceso de porciones congeladas de perico (Coryphaena hippurus) entre selladoras al vacío y una termoformadora*. [Trabajo de suficiencia profesional para optar el título de Ingeniero Pesquero, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4956>
- Luo, X., Hu, S., Xu, X., Du, M., Wu, C., Dong, L. y Wang, Z. (2022). Improving air-fried squid quality using high internal phase emulsion coating. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(5), 3844–3854. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01459-2>
- Lyu, C., Nastase, G., Ukpai, G., Serban, A. y Rubinsky, B. (2017). A comparison of freezing-damage during isochoric and isobaric freezing of the potato. *PeerJ*, 5. <https://doi.org/10.7717/peerj.3322>
- Ma, F., Chen, C., Zheng, L., Zhou, C., Cai, K. y Han, Z. (2013). Effect of high pressure processing on the gel properties of salt-soluble meat protein containing CaCl₂ and κ-carrageenan. *Meat Science*, 95(1), 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.025>
- Mahmoud, B. S. M., Yamazaki, K., Miyashita, K., Il-Shik, S., Dong-Suk, C. y Suzuki, T. (2004). Bacterial microflora of carp (*Cyprinus carpio*) and its shelf-life extension by essential oil compounds. *Food Microbiology*, 21(6), 657–666. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2004.03.001>
- Malhotra, B., Keshwani, A. y Kharkwal, H. (2015). Antimicrobial food packaging: potential and pitfalls. *Frontiers in Microbiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00611>
- Manimaran, U., Shakila, R. J., Shalini, R., Sivaraman, B., Sumathi, G., Selvaganapathi, R. y Jeyasekaran, G. (2016). Effect of additives in the shelflife extension of chilled and frozen stored Indian octopus (*Cistopus indicus*). *Journal of Food Science and Technology*, 53(2), 1348–1354. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1930-0>
- Martelli, R., Dalle Zotte, A., Bonelli, A., Lupi, P., Franci, O. y Parisi, G. (2013). Macronutrient and fatty acid profiles of meagre (*Argyrosomus regius*) fillets as influenced by harvesting time and boiling. *Italian Journal of Animal Science*, 12(4), 538–545. <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e88>
- <http://repositorio.ucv.cl/handle/10.4151/76940>
- Martin, A. D. (2002). *Capacidad antagonista frente a listeria monocytogenes de dos sustancias tipo bacteriocina utilizadas en combinación con NaCl y Co₂*. [Tesis para optar el grado de Licenciado en Ingeniería de alimentos, Universidad Austral de Chile]. <http://repositorio.ucv.cl/handle/10.4151/76940>
- Martínez, E. (2020). *Validación de la vida útil de las patas de pulpo cocido envasadas al vacío y pasteurizadas*. [Trabajo fin de Máster, Universidad Autónoma de Barcelona]. <https://ddd.uab.cat/record/259090>
- Martínez, M. (2022). *Uso de nuevos materiales antimicrobianos sostenibles para envasado alimentario*. [Trabajo Fin de Grado, Universidad Politécnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/185512>
- Martínez-Álvarez, O. y Gómez-Guillén, M. C. (2005). The effect of brine composition and pH on the yield and nature of water-soluble proteins extractable from brined muscle of cod (*Gadus morhua*). *Food Chemistry*, 92(1), 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.049>
- Martínez-Álvarez, O. y Gómez-Guillén, C. (2013). Influence of mono- and divalent salts on water loss and properties of dry salted cod fillets. *LWT - Food Science and Technology*, 53(2), 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.04.013>

- Martínez-Zamora, L., Ros, G. y Nieto, G. (2020). Designing a clean label fish patty with olive, citric, pomegranate, or rosemary extracts. *Plants*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/plants9050659>
- Mastromatteo, M., Danza, A., Conte, A., Muratore, G. y del Nobile, M. A. (2010). Shelf life of ready to use peeled shrimps as affected by thymol essential oil and modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Microbiology*, 144(2), 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.10.002>
- Maza, S. y Llave, Y. (2006). Mejoramiento del color de pulpa y surimi de “anchoveta peruana”, (*Engraulis ringens*). *Boletín Investigación Instituto Tecnológico Pesquero Perú*, 7, 1-10. https://www.academia.edu/55541380/Color_improvement_of_Peruvian_anchoveta_Engraulis_ringens_mince_and_surimi?uc-sb-sw=37297425
- Mei, J., Ma, X. y Xie, J. (2019). Review on natural preservatives for extending fish shelf life. *Foods*, 8 (10). <https://doi.org/10.3390/foods8100490>
- Medina, J. (2012). *Diseño e implantación de un sistema APPCC en una industria de conservas de pescado*. [Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Valladolid]. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/1809>
- Melendreras, F. (2015). *Estudio de la formación de Trihalometanos en las fases de elaboración de transformados vegetales y en procesos auxiliares de la industria alimentaria*. [Tesis Doctoral, Universidad de Murcia]. <http://hdl.handle.net/10201/47836>
- Meng, X., Bai, Y., Gao, J., Li, X. y Chen, H. (2017). Effects of high hydrostatic pressure on the structure and potential allergenicity of the major allergen bovine β -lactoglobulin. *Food Chemistry*, 219, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.153>
- Messenger, J. B. (2001). Cephalopod chromatophores: neurobiology and natural history. *Biological Reviews*, 76(4), 473–528. <https://doi.org/10.1017/S1464793101005772>
- Miranda-Villa, P. P., Mufari, J. R., Bergesse, A. E., Planchuelo, A. M. y Calandri, E. L. (2018). Nutritional quality and physical properties of gluten-free breads. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 38(3), 46–55. <https://doi.org/10.12873/383>
- Mol, S., Ozturan, S. y Cosansu, S. (2012). Determination of the quality and shelf life of sous vide packaged bonito (*Sarda sarda*, Bloch, 1793) stored at 4 and 12C. *Journal of Food Quality*, 35(2), 137–143. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2011.00430.x>
- Molloy, E. M., Hill, C., Cotter, P. D. y Ross, R. P. (2011). Bacteriocins. En J. W. Fuquay (ed.) *Encyclopedia of Dairy Sciences* (pp. 420–429). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00049-2>
- Moltschaniwskyj, N. A. (2004). Understanding the process of growth in cephalopods. *Marine and Freshwater Research*, 55(4), 379. <https://doi.org/10.1071/MF03147>
- Mongi, R. J. y Gomezulu, A. D. (2022). Descriptive sensory analysis, consumer acceptability, and conjoint analysis of beef sausages prepared from a pigeon pea protein binder. *Heliyon*, 8(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10703>
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L. y Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos*. Editorial Pirámide.

- Moreno, A., Pereira, J., & Cunha, M. (2005). Environmental influences on age and size at maturity of *Loligo vulgaris*. *Aquatic Living Resources*, 18(4), 377–384. <https://doi.org/10.1051/alr:2005023>
- Moreno, S., Scheyer, T., Romano, C. S., & Vojnov, A. A. (2006). Antioxidant and antimicrobial activities of rosemary extracts linked to their polyphenol composition. *Free Radical Research*, 40(2), 223–231. <https://doi.org/10.1080/10715760500473834>
- Moreno, A., Azevedo, M., Pereira, J., & Pierce, G. J. (2007). Growth strategies in the squid *Loligo vulgaris* from Portuguese waters. *Marine Biology Research*, 3(1), 49–59. <https://doi.org/10.1080/17451000601129115>
- Motas, M., Jiménez, S., Oliva, J., Cámara, M. Á. y Pérez-Cárceles, M. D. (2021). Heavy Metals and Trace Elements in Human Breast Milk from Industrial/Mining and Agricultural Zones of Southeastern Spain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9289. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179289>
- Moulick, S. P., Jahan, F., Mamun, M. Z. U. al, Hossain, M. I. S., Waliullah, M. y Sathee, R. A. (2023). Analysis of indigenous spices widely consumed in Bangladesh: An assessment to explore its proximate contents, minerals, phytochemical compositions, and antioxidant activities. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100720>
- Moura, C. F. H., Oliveira, L. de S., de Souza, K. O., da Franca, L. G., Ribeiro, L. B., de Souza, P. A. y de Miranda, M. R. A. (2018). Acerola— *Malpighia emarginata*. *Exotic Fruits*, 7-14. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00003-4>
- Mouritsen, O. G., y Styrbæk, K. (2014). *Umami. Unlocking the Secrets of the Fifth Taste*. New York Chichester, West Sussex: Columbia University Press. <https://doi.org/10.7312/mour16890>
- Mouritsen, O. G. y Styrbæk, K. (2018). Cephalopod Gastronomy. A Promise for the Future. *Frontiers in Communication*, 3. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2018.00038>
- Mozaffarian, D. y Rimm, E. B. (2006). Fish Intake, Contaminants, and Human Health. *JAMA*, 296(15), 1885. <https://doi.org/10.1001/jama.296.15.1885>
- Müller, L., Gnoyke, S., Popken, A. M. y Böhm, V. (2010). Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 992–999. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.004>
- Murrieta-Martínez, C. L., Ocaño-Higuera, V. M., Suárez-Jiménez, G. M. y Márquez-Ríos, E. (2016). Características de la proteína de calamar y sus posibles aplicaciones industriales. *Interciencia*, 41 (8), 520-525. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5649661>
- Nagarajarao, R. C. (2016). Recent Advances in Processing and Packaging of Fishery Products: A Review. *Aquatic Procedia*, 7, 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2016.07.028>
- Năstase, G., Lyu, C., Ukpai, G., Șerban, A, y Rubinsky, B. (2017). Isochoric and isobaric freezing of fish muscle. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 485(2), 279–283. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.02.091>

- Navarro, J. C. y Villanueva, R. (2000). Lipid and fatty acid composition of early stages of cephalopods: an approach to their lipid requirements. *Aquaculture*, 183(1-21), 161-177. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00290-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00290-2)
- Nazrul, I. y Razzaq, A. (2005). Seasonal variation of the proximate composition of freshwater gobi, *Glossogobius giuris* (Hamilton) from the River Padma. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 8 (4), 532-36. <http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2005.532.536>
- Nieto, G., Martínez-Zamora, L., Peñalver, R., Marín-Iniesta, F., Taboada-Rodríguez, A., López-Gómez, A. y Martínez-Hernández, G. B. (2024). Applications of Plant Bioactive Compounds as Replacers of Synthetic Additives in the Food Industry. *Foods*, 13(1), 47. <https://doi.org/10.3390/foods13010047>
- Nieva-Echevarría, B., Manzanos, M. J., Goicoechea, E. y Guillén, M. D. (2017). Changes provoked by boiling, steaming and sous-vide cooking in the lipid and volatile profile of European sea bass. *Food Research International*, 99, 630–640. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.043>
- Nirmal, N. P., Santivarangkna, C., Benjakul, S. y Maqsood, S. (2022). Fish protein hydrolysates as a health-promoting ingredient. *Nutrition Reviews*, 80(5), 1013–1026. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab065>
- Nishiguchi, M.K. y Mapes, R. H. (2008). Cephalopoda. En: W. Ponder (ed.). *Phylogeny and Evolution of the Mollusca*. University of California Press, (pp. 163-199). <https://doi.org/10.1525/california/9780520250925.001.0001>
- Noguera, F., Gigante, S., Menoni, C., Aude, I., Montero, D., y Peña, N. (2018). *Principios de la preparación de alimentos*. Universidad de la República. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2021/11/1282214/principios-de-la-preparacion-de-alimentos-noguera-20182.pdf>
- Noor, A., Chauhan, O. P. y Semwal, A. D. (2024). Emerging technologies for fruits and vegetables dehydration. *Food and Humanity*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100303>
- Nowak, A., Czyzowska, A., Efenberger, M. y Krala, L. (2016). Polyphenolic extracts of cherry (*Prunus cerasus* L.) and blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves as natural preservatives in meat products. *Food Microbiology*, 59, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.004>
- Ohmura, S., Nakajima, T., Yoshida, M. y Gong, J. P. (2023). Squid/synthetic polymer double-network gel: elaborated anisotropy and outstanding fracture toughness characteristics. *NPG Asia Materials*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41427-022-00454-9>
- Ohsimo, S., Hiraoka, Y., y Ando, Y. (2023). Geographical and species differences of fatty acid components of small pelagic fishes, micronekton, and squids in the northwestern pacific. *Aquaculture and Fisheries*. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2023.10.005>
- Ojeda-Sana, A. M., van Baren, C. M., Elechosa, M. A., Juárez, M. A. y Moreno, S. (2013). New insights into antibacterial and antioxidant activities of rosemary essential oils and their main components. *Food Control*, 31(1), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.022>
- Okada, T., Ushio, H. y Ohshima, T. (2004). Skin Color Changes of Squids *Todarodes pacificus* and *Loligo bleekeri* During Chilled Storage. *Journal of Food Science*, 69(9). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09959.x>

- Okuda, K., Kawauchi, A. y Yomogida, K. (2020). Quality improvements to mackerel (*Scomber japonicus*) muscle tissue frozen using a rapid freezer with the weak oscillating magnetic fields. *Cryobiology*, 95, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2020.05.005>
- Okuzumi, M. y Fujii, T. (2000). Nutritional and Functional Properties of Squid and Cuttlefish. *National Cooperative Association of Squid Processors*. <https://books.google.es/books?id=kHAZAQAIAAJ>.
- Olatunde, O. O. y Benjakul, S. (2018). Natural Preservatives for Extending the Shelf-Life of Seafood: A Revisit. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17 (6), 1595-1612. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12390>
- Oliveira, A. P., Andrade, G. F., Mateó, B. S. O. y Naozuka, J. (2017). Protein and Metalloprotein Distribution in Different Varieties of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Effects of Cooking. *International Journal of Food Science*, 2017(1). <https://doi.org/10.1155/2017/5957178>
- Onyeaka, H., Nwabor, O., Jang, S., Oibileke, K., Hart, A., Anumudu, C. y Miri, T. (2022). Sous vide processing: a viable approach for the assurance of microbial food safety. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(9), 3503–3512. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11836>
- Ormanci, H. B. y Colakoglu, F. A. (2015). Nutritional and sensory properties of salted fish product, *lakerda*. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1008348>
- Ortiz, G.S. (2019). *Solubilización, recuperación y propiedades funcionales de proteínas de calamar (Illex argentinus)*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/78919>
- Orús, A. (2022). Valor de las ventas de las principales empresas españolas de la industria de pescado congelado en 2022. <https://es.statista.com/estadisticas/491540/valor-de-ventas-principales-empresas-de-pescado-congelado-en-espana/>
- Otero, L., Bérengère, G. y Sanz, P. D. (2013). Últimos avances en tecnologías de congelación de alimentos. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos* 2, 82-90. <http://hdl.handle.net/10261/89713>
- Otero, L., Rodríguez, A. C., Morales, I., Costo, R., de la Presa, P. y Sanz, P. D. (2023). Effect of oscillating magnetic fields on freezing of a colloidal dispersion of superparamagnetic nanoparticles. *Journal of Food Engineering*, 347. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111440>
- Ouedraogo, O. y Amyot, M. (2011). Effects of various cooking methods and food components on bioaccessibility of mercury from fish. *Environmental Research*, 111(8), 1064–1069. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.09.018>
- Özden, Ö. (2010). Seasonal differences in the trace metal and macrominerals in shrimp (*Parapenaeus longirostris*) from Marmara Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 162(1–4), 191–199. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0787-y>
- Ozogul, Y., Duysak, O., Ozogul, F., Özkütük, A.S. y Türeli, C. (2008). Efectos estacionales en la calidad nutricional del tejido estructural corporal de los cefalópodos. *Food Chemistry*, 108(3), 847–852. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.048>

- Ozogul, F., Kuley, E. y Ozogul, Y. (2015). Sterol Content of Fish, Crustacea and Mollusc: Effects of Cooking Methods. *International Journal of Food Properties*, 18(9), 2026–2041. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.958770>
- Ozyalcin, Z. O. y Kipcak, A. S. (2020). The Effect of Ultrasonic Pre-Treatment on the Temperature Controlled Infrared Drying of *Loligo Vulgaris* and Comparison with the Microwave Drying. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 21(03), 135–145. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v21_3_04
- Padilla-Serrato, J. G., Nevárez-Martínez, M. O., Arizmendi-Rodríguez, D. I., Rábago-Quiroz, C. H. y Valdez-Pelayo, A. (2021). Biological aspects and habitat use of the Panama brief squid, *Lolliguncula panamensis*, captured in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 47(4), 211–225. <https://doi.org/10.7773/cm.v47i4.3143>
- Palamae, S., Temdee, W., Buatong, J., Zhang, B., Hong, H. y Benjakul, S. (2023). Enhancement of safety and quality of ready-to-cook Asian green mussel using acidic electrolyzed water depuration in combination with sous vide cooking. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 87, 103391. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103391>
- Panea, B. y Ripoll, G. (2018). Solubilidad del colágeno y textura de la carne bovina cocinada al vacío: efecto del tiempo de maduración y de la temperatura de cocinado. *Informacion Tecnica Economica Agraria*. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.034>
- Pang, Y., Tian, Y., Fu, C., Wang, B., Li, J., Ren, Y. y Wan, R. (2018). Variability of coastal cephalopods in overexploited China Seas under climate change with implications on fisheries management. *Fisheries Research*, 208, (pp. 22–33) <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.07.004>
- Paniagua, J. (2021). *Caracterización de concentrados de proteína de guisante para su utilización en la elaboración de análogos de carne*. [Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Agroalimentaria, Universidad de Salamanca]. <http://hdl.handle.net/10366/152991>
- Pastorelli, A. A., Baldini, M., Stacchini, P., Baldini, G., Morelli, S., Sagratella, E., Zaza, S. y Ciardullo, S. (2012). Human exposure to lead, cadmium and mercury through fish and seafood product consumption in Italy: a pilot evaluation. *Food Additives and Contaminants - Part A*, 29(12), 1913–1921. <https://doi.org/10.1080/19440049.2012.719644>
- Pathare, P.B. y Roskilly, A.P. (2016). Quality and energy evaluation in meat cooking. *Food Engineering Reviews*, 8, 435–447. <https://doi.org/10.1007/s12393-016-9143-5>
- Patil, A.R., Chogale, N. D., Pagarkar, A. U., Koli, J. M., Bhosale, B. P., Sharangdhar, S. T., Gaikwad, B. V. y Kulkarni, G. N. (2020). *J. Exp. Zool. India*, 23(1), 807-810.
- Pecl, G. T. y Jackson, G. D. (2008). The potential impacts of climate change on inshore squid: Biology, ecology and fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 18(4), 373–385. <https://doi.org/10.1007/s11160-007-9077-3>
- Pei, Z., Ma, T., Wen, P., Xue, C., Feng, A., Li, C., Xu, Y. y Shen, X. (2021). Effect of vacuum frying and atmospheric frying on the quality and protein oxidation of squid (*Loligo chinensis*). *Journal of Food Science*, 86(10), 4316–4329. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15906>

- Pellissery, A. J., Vinayamohan, P. G., Amalaradjou, M. A. R. y Venkitanarayanan, K. (2020). Spoilage bacteria and meat quality. *Meat Quality Analysis*, 307–334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819233-7.00017-3>
- Perello, G., Martí-Cid, R., Llobet, J. M. y Domingo, J. L. (2008). Effects of various cooking processes on the concentrations of arsenic, cadmium, mercury, and lead in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(23), 11262–11269. <https://doi.org/10.1021/jf802411q>
- Pérez-Alonso, F., Aubourg, S. P., Rodríguez, O. y Barros-Velázquez, J. (2004). Shelf life extension of Atlantic pomfret (*Brama brama*) fillets by packaging under a vacuum-skin system. *European Food Research and Technology*, 218(4), 313–317. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0831-z>
- Pérez-Fons, L., F., Garzón, M. T. y Vicente, M. (2010). Relationship between the antioxidant capacity and effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) polyphenols on membrane phospholipid order. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 161–171. <https://doi.org/10.1021/jf9026487>
- Pérez-Mateos, M. (2023). Congeladores magnéticos: ¿qué efecto tienen en la calidad de los alimentos?. [Trabajo de divulgación, Asociación The Conversation España]. <https://digital.csic.es/handle/10261/337823>
- Pérez-Palafox, X. A. (2019). *Biología reproductiva del calamar gigante Dosidicus gigas en el Golfo de California, México*. [Tesis Doctoral, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México]. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/26321>
- Phillips, K. L., Jackson, G. D. y Nichols, P. D. (2001). Predation on myctophids by the squid *Moroteuthis ingens* around Macquarie and Heard Islands: stomach contents and fatty acid analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 215, 179-189. https://www.researchgate.net/publication/250217331_Predation_on_myctophids_by_the_squid_Moroteuthis_ingens_around_Macquarie_and_Heard_Islands_Stomach_contents_and_fatty_acid_analyses#fullTextFileContent
- Pirola, S., Borges Mano, S., de Carvalho Vital, H. y Maia Franco, R. (2010). Atmosfera modificada na conservação de alimentos. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, 8(4), 437. <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v8i4.11000>
- Piyalungka, P., Sadiq, M. B., Assavarachan, R. y Nguyen, L. T. (2019). Effects of osmotic pretreatment and frying conditions on quality and storage stability of vacuum-fried pumpkin chips. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(10), 2963–2972. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14209>
- Pizarro-Oteiza, S., Briones-Labarca, V., Pérez-Won, M., Uribe, E., Lemus-Mondaca, R., Cañas-Sarazúa, R. y Tabilo-Munizaga, G. (2020). Enzymatic impregnation by high hydrostatic pressure as pretreatment for the tenderization process of Chilean abalone (*Concholepas concholepas*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102451>
- Poças, F. y Delgado, T. (2008). Embalagens activas e inteligentes: promessas à vista. *Segurança e Qualidade Alimentar*, 444-47. https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/5488/1/art-nac-arb_2008_ESB_1362_Delgado_Telma_01.pdf
- Polkinghorne, R. J., Philpott, J., Perovic, J., Lau, J., Davies, L., Mudannayake, W., Watson, R., Tarr, G. y Thompson, J. M. (2018). The effect of packaging on consumer eating quality of beef. *Meat Science*, 142, 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.002>

- Ponce, J., Guadalupe, L. F. y Arana, C. (2015). Estudio bromatológico de *Rosmarinus officinalis* L. "Romero" y obtención de aceite esencial. *Ciencia e investigación*, 18, 9-13. <https://doi.org/10.15381/ci.v18i1.13599>
- Pongsetkul, J., Benjakul, S., Boonanuntanasarn, S. y Yongsawatdigul, J. (2022). Sensory Characteristics and Microbiological Quality Changes of Nile Tilapia Fillet Processed by Various Sous-vide Conditions During Chilled Storage. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 22(9). <https://doi.org/10.4194/TRJFAS21079>
- Puerta, P., Quetglas, A. e Hidalgo, M. (2016). Seasonal variability of cephalopod populations: a spatio-temporal approach in the Western Mediterranean Sea. *Fisheries Oceanography*, 25(4), 373–389. <https://doi.org/10.1111/fog.12159>
- Qi, X., Yin, M., Qiao, Z., Li, Z., Yu, Z., Chen, M., Xiao, T, y Wang, X. (2022). Freezing and frozen storage of aquatic products: mechanism and regulation of protein oxidation. In *Food Science and Technology (Brazil)* (42). <https://doi.org/10.1590/FST.91822>
- Quispe, F. J. y Villa, Y. K. (2021). *Evaluación de la actividad sinérgica entre quitosano de pluma de pota (Dosidicus gigas) y ácido cítrico en el pardeamiento enzimático de la pulpa de chirimoya (Annona cherimola Mill.)*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeriero Agroindustrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.352>
- Quispe-Machaca, M., Guzmán-Rivas, F. A., Ibañez, C. M. y Urzúa, Á. (2021). Intra-individual variability in biochemical constituents and fatty acid composition of adult jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the southeastern Pacific Ocean. *Journal of Sea Research*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2021.102082>
- Ragnarsson, S. Ö. y Viðarsson, J. R. (2017). Overview of available methods for thawing seafood. *Skýrsluágríp Matis ohf Icelandic Food and Biotech R&D*. https://www.matis.is/media/afrakstur/Skyrsla_0417.pdf
- Raman, M. y Mathew, S. (2015). Physiochemical and Textural Alterations in Indian Squid (*Loligo duvauceli*) mantle during frozen storage and cooking. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 24(5), 454–467. <https://doi.org/10.1080/10498850.2013.787661>
- Ramírez-Soperáñez, M., Martínez-García, J., Caffarel-Méndez, S., Barrientos-García, R. y Minor-Pérez, H. (2012). Cambios Químicos durante la Descomposición de Algunos Productos de Origen Acuícola de Importancia Comercial. *TecnoCultura*, 40. <https://tecnocultura.org/index.php/Tecnocultura/article/view/214>
- Rathod, N. B., Kulawik, P., Ozogul, Y., Ozogul, F. y Bekhit, A. E. A. (2022). Recent developments in non-thermal processing for seafood and seafood products: cold plasma, pulsed electric field and high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(2), 774–790. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15392>
- Razcon, J. E., Tapia, A. E. (2015). *Cambios estructurales en las proteínas del tejido conectivo del manto, aletas y tentáculos de calamar gigante (Dosidicus gigas) durante su almacenamiento en hielo* [Tesis Doctoral, Universidad de Sonora]. <http://repositorioinstitucional.unison.mx/bitstream/20.500.12984/1647/1/razconzavalajoseenrique.pdf>

- Realini, C. E. y Marcos, B. (2014). Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*, 98(3), 404–419. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.031>
- Reinkensmeier, A., Bußler, S., Schlüter, O., Rohn, S. y Rawel, H. M. (2015). Characterization of individual proteins in pea protein isolates and air classified samples. *Food Research International*, 76, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.009>
- Rodríguez, A. (2015). *Aplicación de nuevas tecnologías en la conservación y comercialización de salmón coho (Oncorhynchus kisutch): Efecto sobre la calidad y valor agregado*. [Tesis doctoral, Unviersidad de Santiago de Compostela]. <http://hdl.handle.net/10261/129595>
- Rojas, C. y Álvarez, C. (2012). *Diseño del sistema RSW de la embarcación pesquera Atlántico IV*. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional del Santa]. <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/2301/24895.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>
- Romero, N.A. (4 de julio de 2022). *Cefalópodos-Ejemplos y características*. <https://www.expertoanimal.com/cefalopodos-ejemplos-y-caracteristicas-26113.html>
- Rong, C., Ling, Z., Huihui, S. y Qi, L. (2018). Characterization of microbial community in high-pressure treated oysters by high-throughput sequencing technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.11.001>
- Rosas, R. (2007). *Descripción de la alimentación del calamar gigante Dosidicus gigas D'Orbigny, 1835 en la costa occidental de la península de Baja California*. [Tesis Maestría en Ciencias, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.]. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/2629>
- Rosas-Romero, Z. G., Ramirez-Suarez, J. C., Pacheco-Aguilar, R., Lugo-Sánchez, M. E., Carvallo-Ruiz, G. y García-Sánchez, G. (2010). Partial characterization of an effluent produced by cooking of Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle. *Bioresource Technology*, 101(2), 600–605. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.074>
- Rosli I, W. W., Fadzlina, N., Nazri, M., Ismail, M., Bahri, S., Mohamad, W. y Imran, K. (2012). Fat content and EPA and DHA levels of selected marine, freshwater fish and shellfish species from the east coast of Peninsular Malaysia. In *International Food Research Journal*, 19(3), 815-821. [http://www.ifrj.upm.edu.my/19%20\(03\)%202012/\(5\)%20IFRJ%2019%20\(03\)%202012%20Wan%20Rosli.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/19%20(03)%202012/(5)%20IFRJ%2019%20(03)%202012%20Wan%20Rosli.pdf)
- Rožman, T. y Jeršek, B. (2009). Antimicrobial activity of rosemary extracts (*Rosmarinus officinalis* L.) against different species of *Listeria*. *Acta Agriculturae Slovenica*, 93(1). <https://doi.org/10.2478/v10014-009-0007-z>
- Ruano, M., Schmidt, C., Veiga, P., Lee-Harwood, B., Sweeting, A., Bock, M. y González Valles, C. (2022). Squid: 2021 Sector Sustainability Update. *Sustainable Fisheries Partnership (SPF)*. <https://heyzine.com/flip-book/c8d431ad47.html#page/1>
- Ruiz, H. P. (2002). *Evaluación de tres Niveles de Carragenato en la Elaboración de Chuletas de Cerdo Curada y Ahumada*. [Tesis Ingeniero Industrias Agropecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/952>

- Rybicka, I., Gonçalves, A., Oliveira, H., Marques, A. y Nunes, M. L. (2022). Salt reduction in seafood – A review. *Food Control*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108809>
- Saavedra, A. R. L., Rios-Mera, J. D., Imán, A., Vásquez, J., Saldaña, E., Sicche, R. y Tello, F. (2022). A sequential approach to reduce sodium chloride in freshwater fish burgers considering chemical, texture, and consumer sensory responses. *LWT*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113854>
- Sáez, M. I., Suárez, M. D. y Martínez, T. F. (2020). Effects of alginate coating enriched with tannins on shelf life of cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *LWT*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108767>
- Sakudo, A., Misawa, T., & Yagyu, Y. (2020). *Equipment design for cold plasma disinfection of food products*. En D. Bermúdez-Aguirre (ed.). *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation* (pp. 289–307). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00010-4>
- Salas, A., Maza Ramírez, S. y Barriga, M. (2007). Efecto de antioxidantes sobre la estabilidad de la pulpa de anchoveta durante el almacenamiento en congelación effect of antioxidants on the stability of minced anchovy during freezing storage. In *Boletín Investigación Instituto Tecnológico Pesquero Perú* (8). <https://repositorio.itp.gob.pe/backend/api/core/bitstreams/ea40db84-23ac-4b3a-a996-4779467b5c38/content>
- Salman, Y., Salman, A. y Ozkizilcik, S. (2007). The Fatty Acid Profile of the Marine Cephalopod *Loligo vulgaris*. *Israeli Journal of Aquaculture - Bamiddeh*, 59. <https://doi.org/10.46989/001c.20523>
- Sampels, S. (2015). The effects of processing technologies and preparation on the final quality of fish products. In *Trends in Food Science and Technology*, 44 (2), 131-146. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.003>
- Sánchez, G. Y. (2002). *Caracterización del sabor desagradable en el músculo de calamar gigante (Dosidicus gigas) del Golfo de California*. [Tesis Doctoral, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.]. <http://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/704>
- Sánchez, P., Demestre, M., Recasens, L., Maynou, F. y Martin, P. (2008). Combining GIS and GAMs to identify potential habitats of squid *Loligo vulgaris* in the Northwestern Mediterranean. *Hydrobiologia*, 612(1), 91–98. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9487-9>
- Sánchez, M. D. (2013). *Desarrollo de Piensos Formulados y Requerimientos Nutritivos del Pulpo de Roca (Octopus vulgaris)*. [Tesis Doctoral, Universidad de Murcia]. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/35440>
- Sanjuás, M. (2012). *Aplicación de sistemas avanzados para la mejora de la calidad de productos marinos refrigerados de interés comercial*. [Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela]. <http://hdl.handle.net/10347/6220>
- Saravacos, G. y Kostaropoulos, A. E. (2002). *Handbook of Food Processing Equipment*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25020-5>
- Satjarak, J., Thongprajukaew, K., Kaewtapee, C., Rodjan, P. y Preedaphol, K. (2022). Morphological characteristics and nutritive value of wild and cultured bigfin reef squid (*Sepioteuthis lessoniana*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104356>

- Schmidt, C. V., Poojary, M. M., Mouritsen, O. G. y Olsen, K. (2020). Umami potential of Nordic squid (*Loligo forbesii*). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100275>
- Schmidt, C. V., Plankensteiner, L., Faxholm, P. L., Olsen, K., Mouritsen, O. G. y Frøst, M. B. (2021). Physicochemical characterization of sous vide cooked squid (*Loligo forbesii* and *Loligo vulgaris*) and the relationship to selected sensory properties and hedonic response. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100298>
- Schmidt, C. V. y Mouritsen, O. G. (2022a). Umami taste as a driver for sustainable eating. *International Journal of Food Design*, 7(2), 187–203. https://doi.org/10.1386/ijfd_00045_3
- Schmidt, C. V. y Mouritsen, O. G. (2022b). Cephalopods as Challenging and Promising Blue Foods: Structure, Taste, and Culinary Highlights and Applications. *Foods* 11 (17). <https://doi.org/10.3390/foods11172559>
- Serrano, R. y Bañón, S. (2012). Reducing SO₂ in fresh pork burgers by adding chitosan. *Meat Science*, 92(4), 651–658. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.06.014>
- Sezer, P., Okur, I., Oztop, M. H. y Alpas, H. (2020). Improving the physical properties of fish gelatin by high hydrostatic pressure (HHP) and ultrasonication (US). *International Journal of Food Science and Technology*, 55(4), 1468–1476. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14487>
- Shabbir, M. A., Raza, A., Anjum, F. M., Khan, M. R. y Suleria, H. A. R. (2015). Effect of Thermal Treatment on Meat Proteins with Special Reference to Heterocyclic Aromatic Amines (HAAs). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(1), 82–93. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.647122>
- Shah, A. S., Bhat, S. V., Muzaffar, K., A. Ibrahim, S. y Dar, B. N. (2022). Processing Technology, Chemical Composition, Microbial Quality and Health Benefits of Dried Fruits. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 10(1), 71–84. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.10.1.06>
- Shahidi, F. (2006). *Maximising the value of marine by-products: an overview*. En F. Shahidi, F. (ed.) *Maximising the value of marine by-products* (pp. 21-24). Woodhead Publishing. https://www.researchgate.net/publication/282997610_Maximizing_the_value_of_marine_by-products_An_overview
- Shi, L., Yang, T., Xiong, G., Li, X., Wang, X., Ding, A., Qiao, Y., Wu, W., Liao, L. y Wang, L. (2018). Influence of frozen storage temperature on the microstructures and physicochemical properties of pre-frozen perch (*Micropterus salmoides*). *LWT*, 92, 471–476. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.063>
- Shin, J., Song, M. H., Yu, J. W., Ko, E. Y., Shang, X., Oh, J. W., Keum, Y. S. y Saini, R. K. (2021). Anticancer potential of lipophilic constituents of eleven shellfish species commonly consumed in Korea. *Antioxidants*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/antiox10101629>
- Shirahigue, L.D.; Plata-Oviedo, M.; de Alencar, S.M., Bismara Regitano d'Arce, M.A., Ferreira de Souza Vieira, T.M., Cadorin Oldoni, T.L. y Contreras-Castillo, C.J. (2010). Wine industry residue as antioxidant in cooked chicken meat. *Int. J. Food Sci. Technol.* 45, 863–870. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.017>
- Shui, S. shan, Yao, H., Jiang, Z. dong, Benjakul, S., Aubourg, S. P. y Zhang, B. (2021). The differences of muscle proteins between neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) and jumbo squid (*Dosidicus*

gigas) mantles via physicochemical and proteomic analyses. *Food Chemistry*, 364. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130374>

Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacoterapia*, 56(8), 365-379. [10.1016/s0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/s0753-3322(02)00253-6)

Singh, R. P. y Heldman, D. R. (2001). *Introduction to Food Engineering* (pp. 501-509). Elsevier. <https://essentialoil.wu.ac.th/wp-content/uploads/2019/07/Introduction-to-Food-Engineering-Fourth-Edition.pdf>

Socol, M. C. H. y Oetterer, M. (2003). Seafood as functional food. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 46(3), 443–454. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132003000300016>

Song, R., Shi, Q., Gningue, A., Wei, R. y Luo, H. (2017). Purification and identification of a novel peptide derived from by-products fermentation of spiny head croaker (*Collichthys lucidus*) with antifungal effects on phytopathogens. *Process Biochemistry*, 62, 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2017.07.024>

Souza, V. R. y Koutchma, T. (2021). Ultraviolet Light Microbial Inactivation in Liquid Foods. *Innovative Food Processing Technologies*, 146–170. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22971-5>

Srairi, A., Dridi, A., ben Mhamed, A., Boumaaz, A. y Belghyti, D. (2023). Reproduction of the squid «*Loligo vulgaris*» off the South Atlantic coast of Morocco. *Materials Today: Proceedings*, 72, 3527–3535. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.256>

Storelli, M. M. (2008). Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: Estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs). *Food and Chemical Toxicology*, 46(8), 2782–2788. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.05.011>

Storelli, M. M., Normanno, G., Barone, G., Dambrosio, A., Errico, L., Garofalo, R. y Giacomini-Stuffler, R. (2012). Toxic metals (Hg, Cd, and Pb) in fishery products imported into Italy: Suitability for human consumption. *Journal of Food Protection*, 75(1), 189–194. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-11-212>

Stowasser, G., Pierce, G. J., Moffat, C. F., Collins, M. A. y Forsythe, J. W. (2006). Experimental study on the effect of diet on fatty acid and stable isotope profiles of the squid *Lolliguncula brevis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 333(1), 97–114. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.12.00>

Suárez, H., De Francisco, A., Beirao, L. H., Pardo, S. y Cortés, M. (2007). Pérdida de textura *post mortem* de la carne de pescado durante el almacenamiento en frío. *Acta Biológica Colombiana*, 12(1). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2007000100001

Sun, Q., Zhao, X., Zhang, C., Xia, X., Sun, F. y Kong, B. (2019). Ultrasound-assisted immersion freezing accelerates the freezing process and improves the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) at different power levels. *LWT*, 108, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.042>

- Sungsri-in, R., Benjakul, S. y Kijroongrojana, K. (2011). Pink discoloration and quality changes of squid (*Loligo formosana*) during iced storage. *LWT*, 44(1), 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.022>
- Tahergorabi, R., Beamer, S. K., Matak, K. E. y Jaczynski, J. (2012). Salt substitution in surimi seafood and its effects on instrumental quality attributes. *LWT - Food Science and Technology*, 48(2), 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.004>
- Tan, M., Li, P., Yu, W., Wang, J. y Xie, J. (2019). Effects of glazing with preservatives on the quality changes of squid during frozen storage. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(18). <https://doi.org/10.3390/app9183847>
- Tang, J., Shao, S. y Tian, C. (2020). Effects of the magnetic field on the freezing process of blueberry. *International Journal of Refrigeration*, 113, 288–295. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.12.022>
- Teixeira, B., Marques, A., Ramos, C., Neng, N. R., Nogueira, J. M. F., Saraiva, J. A. y Nunes, M. L. (2013). Chemical composition and antibacterial and antioxidant properties of commercial essential oils. *Industrial Crops and Products*, 43, 587–595. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.069>
- Teruel, R., Garrido, M. D., Espinosa, M. C. y Linares, M. B. (2015). Effect of different format-solvent rosemary extracts (*Rosmarinus officinalis*) on frozen chicken nuggets quality. *Food Chemistry*, 172, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.018>
- Thanonkaew, A., Benjakul, S., Visessanguan, W. y Decker, E. A. (2006). Development of yellow pigmentation in squid (*Loligo peali*) as a result of lipid oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(3), 956–962. <https://doi.org/10.1021/jf052107h>
- Thorarinsdottir, K. A., Arason, S., Geirsdottir, M., Bogason, S. G. y Kristbergsson, K. (2002). Analytical, Nutritional and Clinical Methods Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod (*Gadus morhua*) as determined by electrophoresis and differential scanning calorimetry. *Food Chemistry*, 77 (3), 377-385. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00349-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00349-1)
- Tian, Y., Chen, Z., Zhu, Z. y Sun, D. W. (2020). Effects of tissue pre-degassing followed by ultrasound-assisted freezing on freezing efficiency and quality attributes of radishes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105162>
- Tomac, A. (2013). *Irradiación gamma en anillas de calamar (Illex argentinus) y filetes marinados de anchoíta (Engraulis anchoíta). Aspectos tecnológicos y de calidad.* [Tesis Doctoral, Universidad de Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/26324>
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70(3), 493–508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>
- Torres-Arreola, W., Ocaño-Higuera, V. M., Ezquerra-Brauer, J. M., López-Corona, B. E., Rodríguez-Felix, F., Castro-Longoria, R. y Ramírez-Guerra, H. E. (2018). Effect of cooking on physicochemical and structural properties of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) muscle. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13528>
- Torrinha, A., Gomes, F., Oliveira, M., Cruz, R., Mendes, E., Delerue-Matos, C., Casal, S. y Morais, S. (2014). Commercial Squids: Characterization, Assessment of Potential Health Benefits/Risks and

Discrimination Based on Mineral, Lipid and Vitamin E Concentrations. *Food and Chemical Toxicology* 67, 44-56. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.02.014>

Toyes-Vargas, E., Robles-Romo, A., Méndez, L., Palacios, E. y Civera, R. (2016). Changes in fatty acids, sterols, pigments, lipid classes, and heavy metals of cooked or dried meals, compared to fresh marine by-products. *Animal Feed Science and Technology*, 221, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.09.004>

Truong, B. Q., Buckow, R., Stathopoulos, C. E. y Nguyen, M. H. (2015). Advances in High-Pressure Processing of Fish Muscles. *Food Engineering Reviews*, 7(2), 109–129. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9084-9>

Tsai, Y. H., Kung, H. F., Lin, C. S., Hsieh, C. Y., Ou, T. Y., Chang, T. H., y Lee, Y. C. (2022). Impacts of high-pressure processing on quality and shelf-life of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) stored at 4°C and 15°C. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 237–251. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2029483>

Tu, J., Zhang, M., Xu, B. y Liu, H. (2015). Effects of different freezing methods on the quality and microstructure of lotus (*Nelumbo nucifera*) root. *International Journal of Refrigeration*, 52, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.12.015>

Umaraw, P., Munekata, P. E. S., Verma, A. K., Barba, F. J., Singh, V. P., Kumar, P. y Lorenzo, J. M. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 10–24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.032>

U. S. Environmental Protection Agency Supplementary Guidance for Conducting Health Risk Assessment of Chemical Mixtures. (2000). https://archive.epa.gov/raf/web/pdf/chem_mix_08_2001-2.pdf

United States Department of Agriculture. (2018). Food Composition Databases. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>

Vásquez, J. (2020). *Análisis de los contenidos y sustitutos del sodio en alimentos, desde la perspectiva de la salud pública, en el marco de la implementación de la ley 20606 sobre etiquetado de alimentos*. [Tesis de Grado de Magister de salud pública, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181036>

Vaudagna, S. R., Sánchez, G., Neira, M. S., Insani, E. M., Picallo, A. B., Gallinger, M. M. y Lasta, J. A. (2002). *Sous vide* cooked beef muscles: effects of low temperature–long time (LT–LT) treatments on their quality characteristics and storage stability. *International Journal of Food Science & Technology*, 37(4), 425–441. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00581.x>

Vaz-Pires, P. y Seixas, P. (2006). Development of new quality index method (QIM) schemes for cuttlefish (*Sepia officinalis*) and broadtail shortfin squid (*Illex coindetii*). *Food Control*, 17(12), 942–949. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.07.004>

Vaz-Pires, P., Seixas, P., Mota, M., Lapa-Guimarães, J., Pickova, J., Lindo, A. y Silva, T. (2008). Sensory, microbiological, physical and chemical properties of cuttlefish (*Sepia officinalis*) and broadtail shortfin squid (*Illex coindetii*) stored in ice. *LWT*, 41(9), 1655–1664. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.10.003>

- Vázquez, J. A., González, M. P., y Murado, M. A. (2005). Effects of lactic acid bacteria cultures on pathogenic microbiota from fish. *Aquaculture*, 245(1–4), 149–161. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.008>
- Vianna, T. C., Marinho, C. O., Marangoni Júnior, L., Ibrahim, S. A. y Vieira, R. P. (2021). Essential oils as additives in active starch-based food packaging films: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 1803–1819. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.170>
- Vieira, H. C., Rendón-von Osten, J., Soares, A. M. V. M., Morgado, F. y Abreu, S. N. (2020). Mercury bioaccumulation in the long-fin squid *Loligo forbesi* near the Mid-Atlantic Ridge: Implications to human exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110957>
- Vivas, A. R. y Morillo, M. F. (2017). *Efecto del almidón de papa y tiempo de cutterizado sobre las características físicas-químicas y organolépticas en una salchicha de calamar*. [Tesis previa la obtención del título de ingeniero agroindustrial, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/658>
- Wang, J., Xu, Z., Lu, W., Zhou, X., Liu, S., Zhu, S. y Ding, Y. (2023). Improving the texture attributes of squid meat (*Sthenoteuthis oualaniensis*) with slight oxidative and phosphate curing treatments. *Food Research International*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113829>
- WHO. (2003). Summary and Conclusions of the 61st Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives JECFA/61/ sc. World Health Organization, Rome, Italy.
- Wijaya, A. y Junianto, F. M. (2021). Fish Bone Collagen. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 33–39. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2021/v11i630222>
- Xargayó, M., Fernández, E., Borrissier, F., Trench, O. y Lagares, J. (2018). Sous vide: Una revolución en la cocción industrial. *Eurcarne: La revista internacional del sector cárnico* (pp-55-64). <https://eurocarne.com/articulos-ficha/codigo/16494/kw/Sous+vide%3A+una+revoluci%C3%B3n+en+la+cocci%C3%B3n+industrial>
- Xargayó, M., Fernández, E., Riera, B., Garcia, M., Cabezas, A. y Lagares, J. (2020). Descongelación de alto rendimiento: D-Icer. *Cárnica 200* (pp. 38-52). <https://www.americarne.com/nota/468206-descongelacion-de-alto-rendimiento>
- Xiao, H., Li, N., Yan, L. y Xue, Y. (2021). The hydration characteristics, structural properties and volatile profile of squid (*Symplectoteuthis oualaniensis*) mantle muscle: Impacts of steaming, boiling, and sous vide cooking. *Foods*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/foods10071646>
- Xuan, X. T., Fan, Y. F., Ling, J. G., Hu, Y. Q., Liu, D. H., Chen, S. G., Ye, X. Q. y Ding, T. (2017). Preservation of squid by slightly acidic electrolyzed water ice. *Food Control*, 73, 1483–1489. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.013>
- Yamsaengsung, R., Yaeed, S. y Ophithakorn, T. (2017). Vacuum frying of fish tofu and effect on oil quality usage life. *Journal of Food Process Engineering*, 40(6). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12587>
- Yang, Y. y McClements, D. J. (2013). Encapsulation of vitamin E in edible emulsions fabricated using a natural surfactant. *Food Hydrocolloids*, 30(2), 712–720. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.09.003>

- Yang, P., Wang, W., Hu, Y., Wang, Y., Xu, Z. y Liao, X. (2024). Exploring high hydrostatic pressure effects on anthocyanin binding to serum albumin and food-derived transferrins. *Food Chemistry*, 452. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139544>
- Yu, H., Mei, J. y Xie, J. (2022). New ultrasonic assisted technology of freezing, cooling and thawing in solid food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106185>
- Zakrzewski, A., Gajewska, J., Chajęcka-Wierzchowska, W. y Zadernowska, A. (2023). Effect of sous-vide processing of fish on the virulence and antibiotic resistance of *Listeria monocytogenes*. *NFS Journal*, 31, 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2023.05.003>
- Zamuz, S., Bohrer, B. M., Shariati, M. A., Rebezov, M., Kumar, M., Pateiro, M. y Lorenzo, J. M. (2023). Assessing the quality of octopus: From sea to table. *Food Frontiers*, 4(2), 733–749. <https://doi.org/10.1002/fft2.226>
- Zavadlav, S., Blažić, M., de Velde, F. van, Vignatti, C., Fenoglio, C., Piagentini, A. M., Pirovani, M. E., Perotti, C. M., Kovačević, D. B. y Putnik, P. (2020). Sous-Vide as a technique for preparing healthy and high-quality vegetable and seafood products. *Foods*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/foods9111537>
- Zhang, B., Ma, L., Deng, S., Xie, C. y Qiu, X. (2015). Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging. *Food Control*, 51, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.016>
- Zhang, Y., Wang, G., Jin, Y., Deng, Y. y Zhao, Y. (2016). Effects of high hydrostatic pressure processing on purine, taurine, cholesterol, antioxidant micronutrients and antioxidant activity of squid (*Todarodes pacificus*) muscles. *Food Control*, 60, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.044>
- Zhang, X., Ning, X., He, X., Sun, X., Yu, X., Cheng, Y., Yu, R. Q. y Wu, Y. (2020). Fatty acid composition analyses of commercially important fish species from the Pearl River Estuary, China. *PLoS ONE*, 15(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228276>
- Zhang, W., Cao, A., Shi, P., y Cai, L. (2021). Rapid evaluation of freshness of largemouth bass under different thawing methods using hyperspectral imaging. *Food Control*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108023>
- Zhang, W., Guan, W., Cai, L., Wang, X., Zhang, Z., y Ni, Z. (2022). Effects of magnetic nanometer combined with radio frequency or microwave thawing on physicochemical properties of myofibrillary protein in sea bass. *LWT*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112585>
- Zheng, Y., Xu, X., Ye, W., Yang, K., Kang, S., Zheng, J., Fang, Y. y Wang, H. (2023). Dietary saturated fatty acids increased all-cause and cardiovascular disease mortality in an elderly population: The National Health and Nutrition Examination Survey. *Nutrition Research*, 120, 99–114. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2023.10.002>
- Zhou, J., Sun, Q., Wei, S., Wang, Z., Xia, Q., Han, Z., Liu, Y. y Liu, S. (2023). Changes in microstructure, quality and water distribution of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) muscles subjected to magnetic field-assisted immersion freezing during long-term frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 354. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111566>

Zhu, W., Li, Y., Bu, Y., Li, J. y Li, X. (2020). Effects of nanowarming on water holding capacity, oxidation and protein conformation changes in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantles. *LWT*, 129, 109511. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109511>

Zhu, W., Guo, H., Han, M., Shan, C., Bu, Y., Li, J. y Li, X. (2023). Evaluating the effects of nanoparticles combined ultrasonic-microwave thawing on water holding capacity, oxidation, and protein conformation in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantles. *Food Chemistry*, 402. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134250>

Zlatanov, S., Laskaridis, K., Feist, C. y Sagredos, A. (2006). Proximate composition, fatty acid analysis and protein digestibility-corrected amino acid score of three Mediterranean cephalopods. *Molecular Nutrition and Food Research*, 50(10), 967–970. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200600003>.

