

ÍNDICE



ÍNDICE GENERAL

	Página
1. INTRODUCCIÓN	
1.1. EL JAMÓN CURADO	1
1.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DE JAMÓN CURADO	3
1.2.1. Recepción de materia prima	5
1.2.1.1. Influencia de factores genéticos en la calidad de la carne	8
1.2.1.2. Influencia de la edad y el sexo en la calidad de la carne	10
1.2.1.3. Influencia de la producción y manejo en la calidad de la carne	11
1.2.1.4. Influencia de la alimentación en la calidad de la carne	12
1.2.1.5. Influencia de factores ante mortem y post mortem en la calidad de la carne	14
1.2.2. Fase de salado	23
1.2.2.1. Inconvenientes de la fase de salado. Riesgos asociados al empleo de nitratos y nitritos	27
1.2.2.2. Inconvenientes de la fase de salado. Contenido en sal del jamón	28
1.2.3. Fase de lavado-cepillado	28
1.2.4. Fase de post salado	29
1.2.5. Fase secado-maduración	30
1.3. CALIDAD DIFERENCIADA EN JAMONES Y PALETAS. JAMONES CONVENCIONALES Y ECOLÓGICOS	37
1.4. PRODUCTOS CÁRNICOS CURADOS EN ESPAÑA. DATOS DEL SECTOR	39
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	
2.1. OBJETIVOS	43
2.2. PLAN DE TRABAJO	45
3. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. PROCEDENCIA Y TRAZABILIDAD DE LAS MUESTRAS	48
3.2. CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES DE SECADO	51
3.3. TOMA DE MUESTRAS	56
3.4. METODOLOGÍA ANALÍTICA	59
3.4.1. Recepción y tratamiento de la muestra	59
3.4.2. Determinación de los parámetros de color	59
3.4.3. Determinación de la humedad	60
3.4.4. Determinación del contenido mineral total	60
3.4.5. Determinación del contenido en grasa	61
3.4.6. Determinación del contenido en proteína	62
3.4.7. Determinación del contenido en sodio	63
3.4.8. Determinación del contenido en hierro	64
3.4.9. Determinación del perfil lipídico	64
3.4.10. Determinación del índice de aterogenicidad	65
3.4.11. Determinación del índice de trombogenicidad	66
3.4.12. Determinación de la presencia de antibióticos	66
3.4.13. Determinación del contenido en nitratos y nitritos	67
3.4.14. Determinación de la fracción volátil	68
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	69
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS	71
4.1.1. Evaluación de los parámetros del color	72

	Página	
4.1.2.	Evaluación de la humedad, grasa y proteína	87
4.1.3.	Evaluación del contenido mineral total, sodio y hierro	106
4.1.4.	Evaluación del perfil lipídico de la grasa	117
4.1.5.	Evaluación de los índices de calidad de la grasa	137
4.1.6.	Evaluación de presencia de antibióticos	151
4.1.7.	Evaluación del contenido en nitratos y nitritos	153
4.1.8.	Evaluación de los componentes volátiles	157
4.2.	RELACIONES ENTRE VARIABLES	193
4.2.1.	Relaciones entre parámetros del color	193
4.2.2.	Relaciones entre parámetros con la humedad	205
4.2.3.	Relaciones entre parámetros con la grasa	211
4.2.4.	Relaciones entre parámetros con la proteína	218
4.2.5.	Relaciones entre parámetros con el contenido en minerales totales	222
4.2.6.	Relaciones entre el ácido esteárico, oleico, linoleico, araquidónico y linolénico con la fracción aromática	225
4.3.	ANÁLISIS DISCRIMINANTE	233
4.3.1.	Clasificación del jamón en función de la procedencia	233
4.3.2.	Clasificación del jamón en función del sistema de secado	243
4.4.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	246
5.	CONCLUSIONES	253
6.	BIBLIOGRAFÍA	255

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1	Denominación de paleta y jamón curado en función del tiempo de elaboración del proceso 2
Tabla 2	Diversidad en jamón curado en países distintos de España 3
Tabla 3	Composición nutricional de la carne de cerdo 7
Tabla 4	Relación de razas de la especie porcina en función de su censo y organización 8
Tabla 5	Características más representativas de las razas integradas de cerdo blanco de España 9
Tabla 6	Relación entre sabores y precursores del aroma en la carne 21
Tabla 7	Control y formación de diferentes aspectos en jamón curado elaborado con y sin nitratos 25
Tabla 8	Exopeptidas y generación de compuestos precursores de aromas en jamón 31
Tabla 9	Actuación de catepsinas y calpaínas sobre diferentes estructuras en función del pH 32
Tabla 10	Compuestos volátiles generados en el jamón curado a partir de lípidos y su relación con la síntesis de aromas 36
Tabla 11	Compuestos volátiles generados en el jamón curado a partir de proteínas y su relación con la síntesis de aromas 37
Tabla 12	Variación (%), del año 2018 al 2019, del valor económico y volumen de consumo en función del tipo de carne 40
Tabla 13	Consumo doméstico del total de carne en España en 2019. Variación (%) del consumo entre 2019 y 2018 41
Tabla 14	Resultados de los parámetros de calidad del aire 53
Tabla 15	Codificación de las cuatro muestras, en relación del origen de la materia prima y del tipo de secado 59
Tabla 16	Resultados promedio y error estándar de los parámetros del color en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado 73
Tabla 17	Resultados promedio y error estándar de los parámetros diferenciales del color (ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* , ΔH^* y ΔE) entre el final del proceso y la recepción, en función de la procedencia y del sistema de secado 85
Tabla 18	Resultados promedio y error estándar del contenido en humedad (%), grasa (%) y proteína (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado 90
Tabla 19	Valores de humedad (%) en jamón curado según diversos autores en función de la genética, el tipo de músculo y el tiempo de secado 91
Tabla 20	Resultados promedio y error estándar del contenido en cenizas (%), hierro (mg/100 g jamón) y sodio (mg/100 g jamón) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado 108
Tabla 21	Contenido en cloruro sódico (%) en el momento final, en función de la procedencia y del sistema de secado 116
Tabla 22	Resultados promedio y error estándar del contenido en ácidos grasos saturados minoritarios (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado 118

	Página	
Tabla 23	Resultados promedio y error estándar del contenido en ácidos grasos saturados mayoritarios (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	119
Tabla 24	Resultados promedio y error estándar del contenido en ácidos grasos monoinsaturados (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	126
Tabla 25	Resultados promedio y error estándar del contenido en ácidos grasos poliinsaturados (%) en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	132
Tabla 26	Valores promedio del contenido en ácidos grasos saturados, mono y poliinsaturados (%) en función de la procedencia y del sistema de secado, en el momento de la recepción, en el momento final e incremento (%)	136
Tabla 27	Resultados promedio y error estándar de los índices de calidad de los ácidos grasos en función del sistema productivo y la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	139
Tabla 28	Resultados promedio y error estándar del contenido en nitratos y nitritos (mg/100 g) en el jamón en función del sistema productivo, la procedencia y del sistema de secado	154
Tabla 29	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los ésteres en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	161
Tabla 30	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los monoterpenos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	163
Tabla 31	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los terpenos y derivados oxigenados del benceno en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	166
Tabla 32	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los alcoholes en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	169
Tabla 33	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los aldehídos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	173
Tabla 34	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los aldehídos (continuación) en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	173
Tabla 35	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de las cetonas en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	177
Tabla 36	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los hidrocarburos alifáticos y aromáticos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	179
Tabla 37	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los alcanos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	181

	Página	
Tabla 38	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de los ácidos grasos en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	183
Tabla 39	Resultados promedio ($\cdot 10^6$) y error estándar ($\cdot 10^6$) de los componentes volátiles de la familia de heterocíclicos y otros componentes en función de la procedencia, del momento de curado y del sistema de secado	185
Tabla 40	Interacciones que presentan diferencias estadísticamente significativas, entre variables, para los componentes de la fracción volátil	187
Tabla 41	Aromas mayoritarios en el jamón secado en ventana	190
Tabla 42	Componentes aromáticos mayoritarios en el jamón en función del tipo de secado, al natural o en cámara.	191
Tabla 43	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el parámetro L* de color	194
Tabla 44	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el parámetro a* del color	197
Tabla 45	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el parámetro b* del color	199
Tabla 46	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el croma (C*) del color	202
Tabla 47	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el tono (H*) del color	204
Tabla 48	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en humedad	207
Tabla 49	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en grasa <i>versus</i> los parámetros de composición, los ácidos grasos y los ésteres, terpenos y alcoholes de la fracción volátil	212
Tabla 50	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en grasa <i>versus</i> aldehídos, cetonas, alcanos, ácidos grasos y resto de la fracción volátil	213
Tabla 51	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en AGS <i>versus</i> la fracción volátil	214
Tabla 52	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en AGMI <i>versus</i> la fracción volátil	216
Tabla 53	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en AGPI <i>versus</i> la fracción volátil	217
Tabla 54	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en proteína <i>versus</i> los parámetros de composición, los ésteres, terpenos y alcoholes de la fracción volátil	219
Tabla 55	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en proteína <i>versus</i> aldehídos, cetonas, alcanos, ácidos grasos y resto de la fracción volátil	221
Tabla 56	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en minerales totales <i>versus</i> los parámetros de composición, ésteres, terpenos, alcoholes y aldehídos de la fracción volátil	223
Tabla 57	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en proteína <i>versus</i> cetonas, alcanos, ácidos grasos y resto de la fracción volátil	224

	Página	
Tabla 58	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso esteárico <i>versus</i> la fracción volátil	226
Tabla 59	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso oleico <i>versus</i> la fracción volátil	227
Tabla 60	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso linoleico <i>versus</i> la fracción volátil	229
Tabla 61	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso linolénico <i>versus</i> la fracción volátil	230
Tabla 62	Modelos de regresión simple estadísticamente significativos para el contenido en el ácido graso araquidónico <i>versus</i> la fracción volátil	232
Tabla 63	Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con el total de 16 variables, en función de la procedencia	234
Tabla 64	Resultados de la clasificación del jamón, con el total de 16 variables, en función de la procedencia	235
Tabla 65	Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con las variables de la fracción volátil, en función de la procedencia	236
Tabla 66	Resultados de la clasificación del jamón, con el total de las variables de la fracción volátil, en función de la procedencia	236
Tabla 67	Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con las variables de los ácidos grasos, en función de la procedencia	237
Tabla 68	Resultados de la clasificación del jamón, con el total de las variables de la fracción volátil, en función de la procedencia	237
Tabla 69	Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, con las variables reducidas, en función de la procedencia	239
Tabla 70	Resultados de la clasificación del jamón, con las variables reducidas, en función de la procedencia	240
Tabla 71	Valores de la función discriminante en la clasificación del jamón, sin variables de componentes volátiles, en función de la procedencia	241
Tabla 72	Resultados de la clasificación del jamón, sin variables de componentes volátiles, en función de la procedencia	242
Tabla 73	Resultados de la clasificación del jamón, con las variables de componentes volátiles, en función de del sistema de secado y procedencia	243
Tabla 74	Resultados de la clasificación del jamón, con el total de los ácidos grasos, en función de del sistema de secado y procedencia	244
Tabla 75	Resultados de la clasificación del jamón, con parámetros de color ácidos grasos y componentes terpenoides, en función de del sistema de secado y procedencia	245

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1	4
Figura 2	16
Figura 3	18
Figura 4	19
Figura 5	23
Figura 6	27
Figura 7	34
Figura 8	46
Figura 9	52
Figura 10	57
Figura 11	58
Figura 12	58
Figura 13	74
Figura 14	74
Figura 15	76
Figura 16	77
Figura 17	79
Figura 18	80
Figura 19	81
Figura 20	83
Figura 21	83
Figura 22	86
Figura 23	92
Figura 24	93

	Página	
Figura 25	Materia seca (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia	95
Figura 26	Interacción entre el momento del proceso y el sistema de secado (izquierda) y entre la procedencia y el sistema de secado (derecha) para el contenido en humedad del jamón	96
Figura 27	Grasa (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia	97
Figura 28.	Grasa (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado	98
Figura 29	Grasa (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	99
Figura 30	Interacción entre el momento del proceso y el sistema de secado (izquierda) y entre el sistema productivo y el sistema de secado (derecha) para el contenido en grasa del jamón	100
Figura 31	Proteína (%) en la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia	101
Figura 32	Proteína (%) en la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado	102
Figura 33	Proteína (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	104
Figura 34	Proteína (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado	105
Figura 35	Cenizas (%) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado (izquierda). Interacción entre el momento del proceso y la procedencia (derecha)	108
Figura 36	Interacción entre la procedencia y el sistema de secado (izquierda) y entre el sistema productivo y el sistema de secado (derecha) para el contenido en minerales totales del jamón	110
Figura 37	Contenido en hierro (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado (izquierda). Interacción entre el momento del proceso y la procedencia (derecha)	111
Figura 38	Interacción entre el momento del proceso y el sistema de secado para el contenido en hierro del jamón	112
Figura 39	Contenido en sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-curado	113
Figura 40	Sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	114
Figura 41	Sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del sistema de secado y del momento de secado-maduración	114
Figura 42	Sodio (mg/100 g de fracción comestible) de la carne de jamón y nivel de significación en función del sistema de secado y la procedencia	115
Figura 43	Ácido graso mirístico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	120

	Página	
Figura 44	Ácido graso mirístico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	121
Figura 45	Ácido graso palmítico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	122
Figura 46	Ácido graso palmítico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	122
Figura 47	Ácido graso esteárico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	123
Figura 48	Ácido graso esteárico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	124
Figura 49	Ácido graso palmitoleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	127
Figura 50	Ácido graso palmitoleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	128
Figura 51	Ácido graso oleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	130
Figura 52	Ácido graso oleico (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	130
Figura 53	Ácidos grasos poliinsaturados (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	134
Figura 54	Ácidos grasos poliinsaturados (%) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	134
Figura 55	Distribución porcentual de las fracciones de los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de la grasa para el momento de la recepción y del jamón final para las tres procedencias	136
Figura 56	Índice de aterogenicidad (IA) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	140
Figura 57	Índice de aterogenicidad en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	141
Figura 58	Índice trombogénico (IT) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	142
Figura 59	Índice trombogénico (IT) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	143
Figura 60	Relación w6/w3 en la grasa de jamón y nivel de significación en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado	145

	Página	
Figura 61	Índice de ácidos grasos beneficiosos para la salud (AGBS) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	146
Figura 62	Índice de ácidos grasos beneficiosos para la salud (AGBS) en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	147
Figura 63	Relación AGPI/AGS en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	148
Figura 64	Relación AGPI/AGS en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	149
Figura 65	Relación linoleico/linolénico en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del momento de secado-maduración	150
Figura 66	Relación linoleico/linolénico en la grasa de jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y en función del momento de secado-maduración y del sistema de secado (derecha)	151
Figura 67	Nitratos (mg/100 g) en el jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (izquierda) y nitritos en el jamón y nivel de significación en función de la procedencia y del sistema de secado (derecha)	156
Figura 68	Generación de aromas a partir de alteraciones y degradación lipídica	158
Figura 69	Generación de aromas a partir de alteraciones y degradación proteica	159
Figura 70	Presencia de ésteres en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	162
Figura 71	Presencia de monoterpenos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	165
Figura 72	Presencia de terpenos y derivados oxigenados del benceno en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	167
Figura 73	Presencia de alcoholes en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	170
Figura 74	Presencia de aldehídos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	174
Figura 75	Presencia de aldehídos (continuación) en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	174
Figura 76	Presencia de cetonas en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	178
Figura 77	Presencia de hidrocarburos alifáticos y aromáticos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	180
Figura 78	Presencia de alcanos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	182
Figura 79	Presencia de ácidos grasos en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	184
Figura 80	Presencia de componentes heterocíclicos, alcanfor y mentona en la carne y jamón, en función de la procedencia y del sistema de secado	186

	Página
Figura 81	189
Figura 82	192
Figura 83	195
Figura 84	196
Figura 85	200
Figura 86	205
Figura 87	208
Figura 88	209
Figura 89	210
Figura 90	215
Figura 91	220
Figura 92	225
Figura 93	228
Figura 94	235
Figura 95	238
Figura 96	240
Figura 97	242
Figura 98	248
Figura 99	249

	Página
Figura 100 Gráficos de dispersión de los pesos de los componentes principales de parámetros de calidad de la grasa del jamón. Estudio global e individualizado por procedencia	250
Figura 101 Gráfico de dispersión de los pesos de los componentes principales de los compuestos volátiles	251
Figura 102 Gráficos de dispersión de los pesos de los componentes principales de los compuestos volátiles de la carne y del jamón	252