

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA

FACULTAD DE VETERINARIA

CARACTERIZACION MORFOLOGICA, COMPOSICION QUIMICA Y VALOR
NUTRITIVO DE DISTINTAS VARIEDADES DE GARROFA
(Ceratonia siliqua L.) CULTIVADAS EN ESPAÑA

TESIS DOCTORAL

Elena ALBANELL TRULLAS

Bellaterra, Septiembre de 1990



Facultatea de Medicină Veterinară

Facultat de Veterinãria

nr. 25 SET. 1990

nr. 21

Bucuresti

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA

FACULTAD DE VETERINARIA

CARACTERIZACION MORFOLOGICA, COMPOSICION QUIMICA Y VALOR
NUTRITIVO DE DISTINTAS VARIEDADES DE GARROFA
(Ceratonia siligna L.) CULTIVADAS EN ESPAÑA

TESIS DOCTORAL

Elena ALBANELL TRULLAS

Bellaterra, Septiembre de 1990

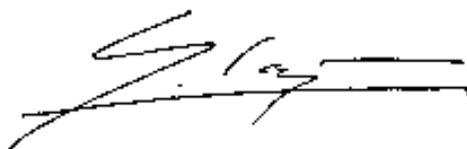
DEPARTAMENTO DE PATOLOGIA Y PRODUCCIONES ANIMALES
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA

CARACTERIZACION MORFOLOGICA, COMPOSICION QUIMICA Y VALOR
NUTRITIVO DE DISTINTAS VARIEDADES DE GARROFA
(Ceratonia siliqua L.) CULTIVADAS EN ESPAÑA

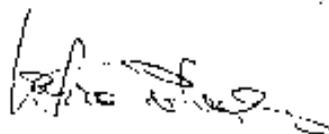
Tesis Doctoral presentada por Dña. Elena
ALBANELL TRULLAS, bajo la dirección de los
Drs. Gerardo Caja y Josefina Plaixats, del
Departamento de Patología y Producciones
Animales de la Universidad Autónoma de
Barcelona, para optar al Grado de Doctor.

Bellaterra, 25 Septiembre de 1990

Vº 8º:



Dr. G. Caja López



Dra. J. Plaixats Boixadera



A Macario

INDICE DE MATERIAS

INDICE DE MATERIAS

	<u>página</u>
I. INTRODUCCION	1
1. CONSIDERACIONES GENERALES.	2
2. CLASIFICACION BOTANICA Y ANTECEDENTES HISTORICOS DEL CULTIVO DEL ALGARROBO	3
2.1. Clasificación Botánica del Algarrobo.	3
2.2. Terminología común.	4
2.3. Origen del Algarrobo	5
2.4. Antecedentes históricos del cultivo del Algarrobo.	6
3. LA PRODUCCION Y EL CONSUMO DE GARROFA EN EL MUNDO	8
3.1. Distribución geográfica de las áreas de cultivo	8
3.2. La producción Mundial de Garrofa	9
3.3. Los países productores	11
3.4. El consumo de Garrofa en el Mundo.	13
4. LA PRODUCCION Y EL CONSUMO DE GARROFA EN ESPAÑA	15
4.1. Distribución geográfica de las áreas de cultivo en España	15
4.2. La producción de Garrofa en España	15
4.3. Comercialización y consumo de Garrofa en España.	25
5. DESCRIPCION Y BIOLOGIA DEL ALGARROBO	27
5.1. Descripción general del Algarrobo.	27
5.2. La raíz	28
5.3. El tronco y las ramas.	29
5.4. Las hojas.	30
5.5. Las flores	33
5.6. El fruto o Garrofa.	36
5.7. La semilla o Garrofin.	38
5.8. Exigencias del cultivo del Algarrobo.	40
5.8.1. Clima.	40
5.8.2. Suelo.	42
5.8.3. Agua	42
6. CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA GARROFA	43
6.1. Floración.	44
6.2. Características del polen y polinización	45
6.3. Fecundación	46
6.4. Crecimiento y desarrollo del fruto	47
6.5. Crecimiento y desarrollo de la semilla	49

	<u>página</u>
7. CLASIFICACION VARIETAL.	51
7.1. Problemática de la clasificación varietal	51
7.2. Criterios de clasificación	53
7.3. Clasificación de variedades extranjeras.	54
7.4. Clasificación de variedades españolas	56
8. RECOLECCION, PROCESADO Y OBTENCION DE PRODUCTOS DERIVADOS DE LA GARROFA	58
8.1. Recolección	58
8.2. Almacenamiento y conservación de la Garrofa	59
8.3. Troceado de la Garrofa	60
8.4. Procesado y usos de la Pulpa	62
8.5. Procesado y usos del Garrofin	67
9. COMPOSICION QUIMICA DE LA PULPA DE GARROFA	69
9.1. Análisis en Principios Inmediatos.	70
9.2. Los componentes de la Pared Celular	72
9.3. Taninos	75
9.4. Azúcares	81
9.5. Composición mineral	82
9.6. Otros componentes	84
9.6.1. Aminoácidos.	84
9.6.2. Acidos Grasos	86
9.6.3. Vitaminas	87
9.7. Valor calórico	87
10. VALOR NUTRITIVO DE LA PULPA DE GARROFA	88
10.1. Problemática del empleo de la Pulpa de Garrofa	88
10.2. Valor nutritivo en rumiantes	91
10.2.1. Bovino	93
10.2.2. Ovino y Caprino	94
10.3. Valor nutritivo en monogástricos	95
10.3.1. Porcino.	97
10.3.2. Aves.	99
10.3.3. Caballos	100
11. OBJETIVOS DE LA TESIS.	102
 II. MATERIAL Y METODOS	103
1. RECOGIDA Y MANIPULACION DEL MATERIAL EXPERIMENTAL.	104
1.1. Planteamiento experimental	104
1.2. Origen y recolección de las muestras.	104
1.3. Manipulación y conservación.	105
2. VALORACION DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES.	109
2.1. Medidas morfológicas de la Garrofa, troceado y Rendimiento en Garrofin	109
2.2. Medidas morfológicas del Garrofin y separación de sus componentes.	112

3. ACONDICIONADO Y CONSERVACION DE LA PULPA PARA EL ANALISIS	114
4. DETERMINACION DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LA PULPA DE GARROFA.	114
4.1. Análisis en Principios Inmediatos de Weende	114
4.1.1. Materia Seca	115
4.1.2. Cenizas	115
4.1.3. Proteína Bruta.	115
4.1.4. Fibra Bruta.	116
4.1.5. Grasa Bruta.	116
4.1.6. Estimación de los MELN	116
4.2. Determinación de la Fibra de Van Soest	117
4.3. Medida indirecta del contenido en Taninos	117
4.4. Determinación del contenido en Azúcares.	118
5. DETERMINACION DEL CONTENIDO EN ENERGIA BRUTA	119
6. DETERMINACION DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LA PULPA DE GARROFA POR EL METODO DE ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA EN EL INFRARROJO CERCANO (NIR).	118
7. DETERMINACION DE LA DEGRADABILIDAD RUMINAL	122
8. DETERMINACION DE LA PROTEINA DIGESTIBLE	124
9. TRATAMIENTO ESTADISTICO	124
III. RESULTADOS Y DISCUSION	126
1. CARACTERIZACION MORFOLOGICA DE LAS GARROFAS ESPAÑOLAS	127
1.1. Morfología de la Garrofa.	127
1.2. Componentes estructurales y Rendimiento en Garrofin	132
2. CARACTERIZACION MORFOLOGICA DE LOS GARROFINES	135
2.1. Morfología del Garrofin	135
2.2. Componentes estructurales y Rendimiento en Goma	135
3. TIPIFICACION DE LAS GARROFAS ESPAÑOLAS	141
3.1. Bases de realización de una tipología morfológica de variedades de Garrofas	141
3.2. Tipificación de las variedades de Garrofas españolas.	144
3.3. Estimación del Rendimiento en Garrofin	147

4. RELACION ENTRE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DE LA GARROFA Y GARROFIN	148
4.1. Correlaciones entre los parámetros morfológicos de la Garrofa y Rendimiento en Garrofin .	148
4.2. Correlaciones entre los parámetros morfológicos del Garrofin y Rendimiento en Goma . . .	151
4.3. Correlaciones entre los parámetros morfológicos de la Garrofa y del Garrofin	154
5. CARACTERIZACION ANALITICA DE LA PULPA DE GARROFA APLICANDO LA REFLECTANCIA EN EL INFRARROJO CERCANO (NIR)	156
5.1. Elección de filtros	162
5.2. Ecuaciones de predicción.	168
6. COMPOSICION QUIMICA DE LA PULPA DE GARROFA	168
6.1. Principios Inmediatos de Weende	168
6.2. Fibras detergentes y Carbohidratos estructurales	172
6.3. Taninos	174
6.4. Azúcares	175
7. VALOR CALORICO DE LA PULPA DE GARROFA.	177
7.1. Contenido en Energía Bruta	177
7.2. Determinación del factor de corrección de la fórmula de Schiemann	178
8. RELACION ENTRE LOS COMPONENTES QUIMICOS Y EL VALOR CALORICO DE LA PULPA DE GARROFA.	179
8.1. Correlaciones entre los componentes químicos .	179
8.2. Correlaciones entre la Energía Bruta y los componentes químicos	182
8.3. Ecuaciones de predicción del Valor Calórico a partir del análisis de componentes químicos .	184
9. DEGRADABILIDAD Y DIGESTIBILIDAD RUMINAL	185
IV. CONCLUSIONES	186
V. BIBLIOGRAFIA	189

INDICE DE CUADROS

INDICE DE CUADROS

página

INTRODUCCION

I.3.1. Estimación de la Producción de Garrofa en el Mundo	12
I.4.1. Evolución de la Producción de Garrofa en España .	17
I.4.2. Evolución de la Producción española de Garrofa en árboles diseminados	21
I.4.3. Análisis provincial de la superficie, rendimiento y producción del Algarrobo en España durante el año 1986	24
I.4.4. Exportación española de pulpa de Garrofa (Tm). Período 1982-1987	26
I.4.5. Importación y exportación española de Garrofin (Tm). Período 1985-1987	26
I.7.1. Principales grupos varietales extranjeros de Garrofa	55
I.7.2. Principales grupos varietales españoles de Garrofa	57
I.8.1. Principales productos derivados de la Garrofa y sus usos	65
I.9.1. Composición en Principios Inmediatos de la Pulpa de Garrofa según distintos autores	71
I.9.2. Composición en Principios Inmediatos de la Pulpa de Garrofa según su origen	73
I.9.3. Componentes de la Pared Celular de la Pulpa de Garrofa	73
I.9.4. Contenido en Taninos de la Pulpa de Garrofa según distintos autores y métodos de análisis.	80
I.9.5. Contenido en Azúcares de la Pulpa de Garrofa	80
I.9.6. Composición mineral de la Pulpa de Garrofa.	83
I.9.7. Composición en Aminoácidos de la Pulpa de Garrofa	85
I.10.1. Valor nutritivo energético de la Pulpa de Garrofa	90
I.10.2. Valor nutritivo proteico de la Pulpa de Garrofa	92

I.10.3. Coeficientes de digestibilidad de la Pulpa de Garrofa en ruminantes y monogástricos	96
---	----

MATERIAL Y METODOS

II.1.1. Relación del número de muestras recogidas en las Comunidades Autónomas productoras de Garrofa, en los distintos años	106
II.1.2. Relación de " variedades " o denominaciones locales de las muestras de Garrofa recolectadas.	107
II.5.1. Parámetros químicos asignados a cada banda de absorción observada en el InfraAnalyzer 450. . . .	120

RESULTADOS Y DISCUSION

III.1.1. Medidas morfológicas de Garrofas Españolas	128
III.1.2. Medidas morfológicas de Garrofas de las distintas Comunidades Autónomas	129
III.1.3. Medidas morfológicas de las denominaciones locales de Garrofas españolas de mayor longitud y número de Garrofines/Garrofa superior	131
III.1.4. Composición estructural en peso y Rendimiento en Garrofin de Garrofas españolas	133
III.1.5. Composición estructural en peso y Rendimiento en Garrofin de Garrofas de distintas Comunidades Autónomas	133
III.2.1. Características de los Garrofines de Garrofas españolas	136
III.2.2. Características de los Garrofines de Garrofas de distintas Comunidades Autónomas	136
III.2.3. Composición estructural y Rendimiento en Goma de los Garrofines de Garrofas españolas	138
III.2.4. Composición estructural de distintas semillas productoras de gomas industriales	139
III.2.5. Composición estructural y Rendimiento en Goma de Garrofines de distintas Comunidades Autónomas	140
III.3.1. Tipificación morfológica de distintas variedades o denominaciones locales españolas de Garrofa	145

III.4.1.Tabla de correlaciones entre los parámetros morfológicos de la Garrofa.	149
III.4.2.Tabla de correlaciones entre los parámetros morfológicos del Garrofin	152
III.4.3.Tabla de correlaciones entre los parámetros morfológicos de la Garrofa y Garrofin	155
III.5.1.Características de las muestras de Pulpa de Garrofa utilizadas en la calibración del NIR.	158
III.5.2.Características de las ecuaciones de calibración del NIR, para la Pulpa de Garrofa	163
III.5.3.Ecuaciones de calibración del NIR, para la Pulpa de Garrofa	167
III.6.1.Composición en Principios Inmediatos de la Pulpa de Garrofas Españolas	170
III.6.2.Composición en Principios Inmediatos de la Pulpa de Garrofas de distintas Comunidades Autónomas	171
III.6.3.Composición de la Pared Celular de la Pulpa de Garrofas Españolas	173
III.6.4.Composición de la Pared Celular de la Pulpa de Garrofas Españolas de distintas Comunidades Autónomas	173
III.6.5.Composición en Azúcares y Valor calórico de la Pulpa de Garrofas Españolas	176
III.6.6.Composición en Azúcares y Valor calórico de la Pulpa de Garrofas de distintas Comunidades Autónomas	176
III.8.1.Tabla de correlaciones entre los parámetros químicos de la Pulpa de Garrofa	180

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE FIGURAS

página

INTRODUCCION

I.3.1. Distribución geográfica de las áreas de cultivo del Algarrobo (<u>Ceratonia siliqua</u> L.) en la Cuenca Mediterránea	10
I.4.1. Distribución geográfica de las áreas de cultivo del Algarrobo (<u>Ceratonia siliqua</u> L.) en la Península Ibérica	16
I.4.2. Evolución de la producción de Garrofa en España (1930-86).	18
I.4.3. Evolución de la superficie de Algarrobo cultivada en España (1930-86)	20
I.4.4. Evolución de los árboles diseminados de Algarrobo en España (1930-86)	22
I.8.1. Esquema de transformación industrial de la Garrofa	63

MATERIAL Y METODOS

II.1.1. Hoja de trabajo para la identificación varietal	110
II.2.1. Medidas morfológicas de la Garrofa	111
II.2.2. Medidas morfológicas y componentes estructurales del garrofin.	113

RESULTADOS Y DISCUSION

III.3.1. Distribución del Tamaño de la Garrofa y Rendimiento en Garrofin de la población de Garrofas estudiada para su tipificación	142
III.3.2. Distribución del Peso del Garrofin y Rendimiento en Goma de la población de Garrofas estudiada para su tipificación.	143
III.4.1. Principales correlaciones entre aspectos morfológicos y Rendimiento en Garrofin de Garrofas españolas	150
III.4.2. Principales correlaciones entre las características físicas y los componentes estructurales de los Garrofines españoles	153

III.5.1. Espectro de absorción de la Pulpa de Garrofa y del Almidón.	157
III.5.2. Distribución del contenido en Principios Inmediatos, de las muestras de Pulpa de Garrofa, utilizadas en la calibración del NIR	159
III.5.3. Distribución del contenido en Fibras Detergentes de las muestras de Pulpa de Garrofa, utilizadas en la calibración del NIR	160
III.5.4. Distribución del contenido en Azúcares y Energía de las muestras de Pulpa de Garrofa, utilizadas en la calibración del NIR	161
III.5.5. Predicción del contenido en Principios Inmediatos de la Pulpa de Garrofa. Correlación de los valores analíticos del laboratorio frente a los de absorción del NIR.	164
III.5.6. Predicción del contenido en Fibras Detergentes de la Pulpa de Garrofa. Correlación de los valores analíticos del laboratorio frente a los de absorción del NIR.	165
III.5.7. Predicción del contenido en Azúcares y Energía de la Pulpa de Garrofa. Correlación de los valores analíticos del laboratorio frente a los de absorción del NIR.	166
III.8.1. Principales correlaciones entre la Materia Seca y los componentes químicos de la Pulpa de Garrofa	181
III.8.2. Principales correlaciones entre la Proteína Bruta y los componentes químicos de la Pulpa de Garrofa	183

1. INTRODUCCION

1. CONSIDERACIONES GENERALES

El Algarrobo (Ceratonia siliqua L.) es uno de los árboles más típicos de la Cuenca Mediterránea, de gran longevidad y de uso agrícola, cuyo fruto denominado Algarroba o Garrofa ha sido utilizado desde la antigüedad en la alimentación humana y animal.

A principios de siglo el cultivo del Algarrobo sufrió una grave crisis debido, fundamentalmente, a problemas sociales y económicos: los animales, fundamentalmente équidos que eran los principales consumidores, iban siendo sustituidos por maquinaria, los terrenos áridos a los que se adaptaba perfectamente fueron reconvertidos y utilizados para otros fines, los precios de sus frutos ya no eran rentables y poco a poco se fue abandonando su cultivo.

Esta situación parece haber cambiado en los últimos cuarenta años, debido a los cambios existentes en el aprovechamiento principal de la Garrofa, adquiriendo gran importancia las utilidades de la semilla o garrofin en la industria alimentaria. Estas nuevas posibilidades de utilización han creado un aumento en la demanda y consiguientemente una revalorización del fruto.

España es el primer país productor y exportador mundial de Garrofas, manteniendo una posición de dominio en el mercado internacional. Sin embargo, el progresivo abandono de su cultivo y la pérdida de interés por parte del agricultor, hacen que sean necesarias vías de actuación, con vistas a paliar la problemática situación del Algarrobo.

Como vías principales de actuación, se deberían considerar fundamentalmente las que se refieren a:

- * Mejora de la productividad del cultivo, seleccionando aquellas variedades que presenten semillas de buena calidad para su procesado industrial.
- * Revalorización de la Pulpa de la Garrofa, resultante del troceado y extracción de la semilla, para su utilización en la alimentación humana y/o animal, dado el efecto de descarga que produce en el precio final de la semilla.
- * Mejora de los rendimientos en los procesos industriales de extracción de las semillas y de sus productos derivados.
- * Búsqueda de nuevas aplicaciones de los productos derivados de la Garrofa, de forma que su demanda sea estable en el futuro.

2. CLASIFICACION BOTANICA Y ANTECEDENTES HISTORICOS DEL CULTIVO DEL ALGARROBO

2.1. CLASIFICACION BOTANICA DEL ALGARROBO

Desde un punto de vista botánico y según Cronquist (1981), el Algarrobo se sitúa en las siguientes unidades taxonómicas o niveles de clasificación:

Reino: Eukaryota

Subreino: Cormobionta

División: Spermatophyta

Subdivisión: Magnoliophytina (Angiospermas)

Clase: Magnoliatae (Dicotiledóneas)

Subclase: Rosidae

Orden: Fabales

Familia: Caesalpinaceae

Género: Ceratonia

Especie: Ceratonia siliqua L.

Otros autores como Jimenez de Embún (1962), Polunin (1974), Pignatti (1982), Font Quer (1985) y Valdés (1985), utilizan categorías taxonómicas distintas, clasificando a todas las leguminosas en la "Familia Leguminosae" y distinguiendo dentro de ésta, la "Subfamilia Caesalpinoideae" o de las Cesalpinoideas, en la que incluyen al Género Ceratonia y en consecuencia a la Especie C. siliqua L. La clasificación de Cronquist (1981) parece ser sin embargo, desde un punto de vista botánico, más satisfactoria.

Aunque el Algarrobo se ha considerado a menudo como la única especie representante del Género Ceratonia, recientemente ha sido descubierta una segunda especie por Hillcoat *et al.* (1980), localizada en Arabia y la República de Somalia, a la que se ha denominado Ceratonia oreothauma Hillc., Lewis & Verdc. y en la que se distinguen dos subespecies: C. o. oreothauma y C. o. somalensis.

Su aspecto es muy semejante al Algarrobo común, presentando el mismo número cromosómico (2n=24). Las principales diferencias entre ambas especies se limitan, casi exclusivamente, a la estructura de sus hojas y a la morfología del polen, lo que justifica su tardío descubrimiento.

El nombre botánico del Algarrobo común es la síntesis de las denominaciones griega "keration" ("kéras" = cuerno) y latina "siliqua" (vaina) que fueron propuestas por Linneo.

El Algarrobo, C. siliqua L., no debe confundirse con otra leguminosa de porte herbáceo, cuya semilla es utilizada en alimentación animal, conocida con el nombre de Algarroba (Vicia monanthos L.), o con otras especies arbóreas, igualmente leguminosas, tales como: el Algarrobo loco o Arbol del Amor (Cercis siliquastrum L.), utilizado en jardinería con fines ornamentales por la vistosidad de su floración, o con el Algarrobo blanco (Prosopis chilensis Molina) árbol cultivado en América Central y del Sur (Perú, Chile, etc.), donde se utilizan sus vainas y semillas como alimento para el ganado y para usos industriales (extracción de azúcares y gomas).

2.2. TERMINOLOGÍA COMUN

La denominación común de la especie C. siliqua L. en los distintos países y lenguas procede, de una forma general, del nombre árabe (Al Kharroub o kharroub), como es el caso del Algarrobo o Garrofero en español.

En algunos casos, la terminología común recoge la creencia de que San Juan Bautista se alimentó del fruto de este árbol durante su permanencia en el desierto, lo cual ha dado origen a la denominación de "Pan de San Juan" en muchos países.

Los nombres comunes más frecuentes de este árbol, en algunas lenguas, son los siguientes:

- * Castellano : Algarrobo, Algarrobero-a, Garrofero, A. del Libano o europeo (Argentina)
- * Catalán : Garrofer, Garrofera (Cataluña), Garrover (Baleares), Garrofera ver (Valencia)
- * Euskera : Marikoltze
- * Gallego : Alfarrobeira
- * Alemán : Johannesbrothbaum , Johannisbrothbaum , Karobenbaum
- * Árabe : Al kharroub, Kharroub
- * Francés : Caroubier , Caronge , Figuier d'Egypte
- * Griego : Karrub, Karat
- * Hebreo : Kharuv
- * Inglés : Carob tree, Locust tree, Saint John's bread tree
- * Italiano : Carrubo, Pane di San Giovanni

* Portugués : Alfarrobeira, Algarrobeira

* Esperanto : Karobarbo, Karobajo

El fruto del Algarrobo, conocido como Algarroba o Garrofa, y su semilla, conocida por el nombre de Garrofin, adoptan, en cada uno de los países y lenguas, terminologías derivadas del correspondiente nombre del árbol.

2.3. ORIGEN DEL ALGARROBO

No se puede precisar con exactitud la época en que aparece ya claramente diferenciada la especie común de Algarrobo (Ceratonia siliqua L.), aunque todo parece indicar que formaba parte de la flora tropical característica de las riberas del mar de Tetis durante la Era Terciaria (Lleó, 1901; Zohary, 1973; Mitrakos, 1988).

Al final de la Era Terciaria, durante la desecación del mar de Tetis ocurrida por los cambios climáticos del Periodo del Plioceno, el Algarrobo se extinguió de lo que actualmente es Europa, penetrando hacia el interior de Africa (Hoggar, Tibesti) y de Arabia (Mitrakos, 1988).

De una forma general debe señalarse que existe una gran disparidad de criterios sobre el origen de la especie, en particular discrepando acerca de su origen tropical o mediterráneo.

Entre las diferentes hipótesis realizadas por diversos autores, se han seleccionado algunas de las más significativas y que son las que se discuten a continuación.

Así, mientras para De Candolle (1883) y Vavilov (1950), es una especie típicamente mediterránea, su carácter termófilo y su presencia actual en la región montañosa del Yemen (Schweinfurth, 1894), hace pensar que el origen de esta especie podría situarse en la región Sur de Arabia (Liphschitz, 1987).

El descubrimiento de la nueva especie de Algarrobo Ceratonia oreothauma Hillc., Lewis & Verdc., que sobrevive en la actualidad en las montañas de Arabia y Somalia (Hillcoat et al., 1980) y su consideración como una especie más antigua que Ceratonia siliqua L., parecen apoyar esta hipótesis.

Por otro lado, Zohary (1973) considera al Algarrobo

como una "especie reliquia" de la primitiva flora Indo-Malaya xerotrópica (resistente a la sequía), de la cual han derivado el actual matorral o "maquia" del Mediterráneo y la flora que caracteriza a la región Arábigo-Somali.

En este mismo sentido, Arzee *et al.* (1977) señalan que, al estudiar la actividad de los tejidos en formación (felógeno) del Algarrobo, todo parece indicar que es un árbol de origen tropical.

En apoyo de estas hipótesis, según las cuales el Algarrobo es una planta de origen tropical, pueden citarse, entre otras características importantes: La existencia de un periodo de floración tardío (Julio-Octubre), inusual en los árboles y arbustos mediterráneos, y la presencia de un contenido enzimático fotosintético del "tipo C4", característico de plantas de clima cálido, durante las primeras etapas de desarrollo y más tarde inactivado en la planta adulta (Catarino y Bento-Pereira, 1976).

Además de la remota procedencia tropical comentada, el Algarrobo ha tenido, en su historia reciente y en particular como especie de cultivo, un área de origen localizada en los países del extremo oriental de la Cuenca del Mediterráneo y desde ésta se ha extendido, con la ayuda del hombre, a otros países y continentes.

2.4. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL CULTIVO DEL ALGARROBO

Desde un punto de vista histórico, la información disponible actualmente parece indicar que, el cultivo y utilización del Algarrobo, debió iniciarse en el Extremo-Oriente de la Cuenca del Mediterráneo, en particular en Siria o en las montañas de Palestina, hace unos 4.000 años (Mitrakos, 1988).

Darís (1966) ha recogido interesantes aspectos históricos y tradiciones relacionadas con el origen y utilización del Algarrobo, atribuyendo a los Fenicios (2.000 años a.C.) su principal difusión a todos los países de la Cuenca Mediterránea.

Los vestigios más antiguos encontrados corresponden a Israel, donde han sido identificados granos fósiles de polen de Ceratonia siligua L. que datan de 43.000 años a.C. (Weinstein, 1982).

Desde Siria o Palestina, principal zona de origen reconocida, el Algarrobo debió ser introducido en Egipto,

donde se desarrolló la técnica para obtener goma del endospermo de su semilla. Esta goma fue utilizada para el apresto de tejidos y como tal ha llegado hasta nuestros días en las vendas que cubren los cuerpos de las momias del Antiguo Egipto.

De Egipto pasó a Grecia, existiendo referencias de que el fruto del Algarrobo fue utilizado en la alimentación de las tropas de Alejandro Magno y, en particular de sus remeros, debido al alto valor nutritivo y al efecto vigorizante que proporcionaba. Diversos autores han identificado a este árbol con el "Loto" del País de los Lotófagos descrito en la Odisea de Ulises, tanto por el sabor de su fruto como por el olor de sus flores (Darís, 1964).

En Grecia, Teofrasto describió este árbol como "Kerateia" y posteriormente Dioscórides, en su obra sobre las especies vegetales aplicadas a la Medicina, le dedicó un capítulo en el que se le denomina el árbol "Keration". Font Quer (1985), en su conocida obra de "El Dioscórides renovado", recoge las principales características y propiedades medicinales del árbol y de su fruto, reconocidas desde la antigüedad.

Desde Grecia fue introducido en la actual Italia, donde los romanos lo enaltecieron al considerarlo como un árbol sagrado, símbolo de la pureza, llamándole "Siliqua graeca" y cultivándolo en las proximidades de los templos. Tanto Columela como Plinio, describen las prácticas del cultivo y utilización del Algarrobo, destacando su empleo en la alimentación del ganado porcino y en la elaboración del vino.

En el Nuevo Testamento existen también distintas citas que indican la utilización del Algarrobo como alimento para el hombre y los animales en la antigüedad. Así, se señala que el Hijo Pródigo deseó saciar su hambre con las Algarrobas que eran consumidas por los cerdos, y San Juan Bautista, durante su permanencia en el desierto, basó su alimentación en la pulpa de la Algarroba, además de miel silvestre y langostas.

Finalmente, los árabes contribuyeron igualmente en el proceso de difusión del cultivo del Algarrobo a lo largo de la costa del Norte de África y España, atribuyéndose a éstos la utilización de las semillas enteras del Algarrobo como unidad de pesada en el comercio de sustancias y materiales preciados. Resulta así que el "kilate o quilate" (0,2 g.) proviene del nombre de su semilla o "Garrofin" (Al-karat), en la que llama poderosamente la atención la relativa constancia de su peso.

De España, pasó a Portugal y al sur de Francia, de forma que, a finales de la Edad Media, el Algarrobo era cultivado en extensas áreas de clima cálido en torno al Mediterráneo y sus frutos conocidos por todos los pueblos de Europa, siendo utilizados con fines alimenticios, medicinales e industriales.

La difusión del Algarrobo en América es atribuida a los colonizadores españoles, que lo introdujeron en Méjico y en California. En fechas mas recientes, el cultivo del Algarrobo ha sido introducido en India, Pakistán y Australia, como un interesante recurso forestal y ganadero, en zonas áridas de clima análogo al Mediterráneo.

En la actualidad el cultivo del Algarrobo, aunque en recesión, está muy generalizado en el Mundo, considerándose tradicionalmente a la especie como un cultivo arbóreo extensivo, típico de secano y característico de terrenos de escaso valor agrícola o marginales, donde se cultiva a menudo en forma mixta con el Olivo (Olea europea L.), Almendro (Prunus amygdalus Stokes) o la Higuera (Ficus carica L.)

3. LA PRODUCCION Y EL CONSUMO DE GARROFA EN EL MUNDO

3.1. DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LAS AREAS DE CULTIVO

El cultivo del Algarrobo (Ceratonia siliqua L.) en el Mundo se circunscribe a unas zonas geográficas muy concretas. La principal limitación para su cultivo es de tipo climático, coincidiendo su localización con áreas geográficas de suelo calcáreo y clima de "tipo mediterráneo".

El Algarrobo está así presente en los 5 Continentes, situándose fundamentalmente en limitadas áreas de cultivo localizadas entre los Trópicos de Cáncer y Capricornio y los 40º de latitud, Norte y Sur respectivamente, con excepciones derivadas de las condiciones climáticas. Estas áreas han sido descritas por Aschmann (1973) y Margaris (1980) como de clima mediterráneo y se caracterizan por una flora arbórea y arbustiva de aspecto muy semejante, resultado de una evolución vegetal de tipo convergente.

Su área natural de cultivo corresponde a la mayor parte

de los países de la Cuenca Mediterránea, tal como se señala en la Figura I.3.1., en los que se localiza en una estrecha franja costera, de clima suave, mediana pluviometría (300-600 mm) e Inviernos con baja incidencia de heladas.

Pese a tratarse de un árbol de cultivo en condiciones de secano, también es posible encontrarlo asilvestrado en muchos terrenos marginales, formando la comunidad vegetal Oleo-Ceratonion de los encinares sobre suelos calizos (Ximenez de Embún, 1962; Vardar *et al.*, 1980), o en las de los bosques y matorral mediterráneo (Garriga), formando comunidades vegetales con el Lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), tal como ha sido descrito en Baleares (Roselló, 1977; Bonner, 1980) y en Galilea (Aloni y Orshane, 1972).

Fuera de su área original de proliferación natural y de cultivo, es posible encontrar al Algarrobo en otras áreas más dispersas, en las que la producción suele ser menos tradicional y normalmente no recolectada, destacando los casos de: América del Norte (Costa del Océano Pacífico de California y México), América del Sur (Argentina y Chile), África (Sudáfrica y Zimbabue), Asia (China, Irak, Jordania, Pakistán y Yemen) y Oceanía (Australia, Hawai y Nueva Zelanda), donde el Algarrobo ha sido introducido, más o menos recientemente, por el hombre (Vardar *et al.*, 1980; Piva y Santi, 1982; 1984; Esbenshade, 1988).

3.2. LA PRODUCCION MUNDIAL DE GARROFA

La información disponible sobre la producción de Garrofa en el Mundo y sus áreas de cultivo, es muy limitada (así por ejemplo el Algarrobo no aparece citado en el anuario de la FAO), correspondiendo exclusivamente a las estadísticas de los principales países productores del área Mediterránea, ya que en estos países es donde se realiza, desde antiguo, el verdadero comercio de la Garrofa.

En los restantes países, la producción de Garrofa es escasamente conocida o incluso totalmente desconocida, pese a que su área de cultivo puede llegar a ser importante (América del Norte y Australia). En estos casos el fruto no suele ser recolectado, basándose su utilización en el empleo del árbol como un recurso forestal y para la alimentación del ganado, en zonas áridas de suelos pobres y erosionados.

En los últimos años la producción de Garrofa en el Mundo ha presentado una tendencia marcadamente decreciente como consecuencia de la disminución de las superficies destinadas a su verdadero cultivo. En contraste con este

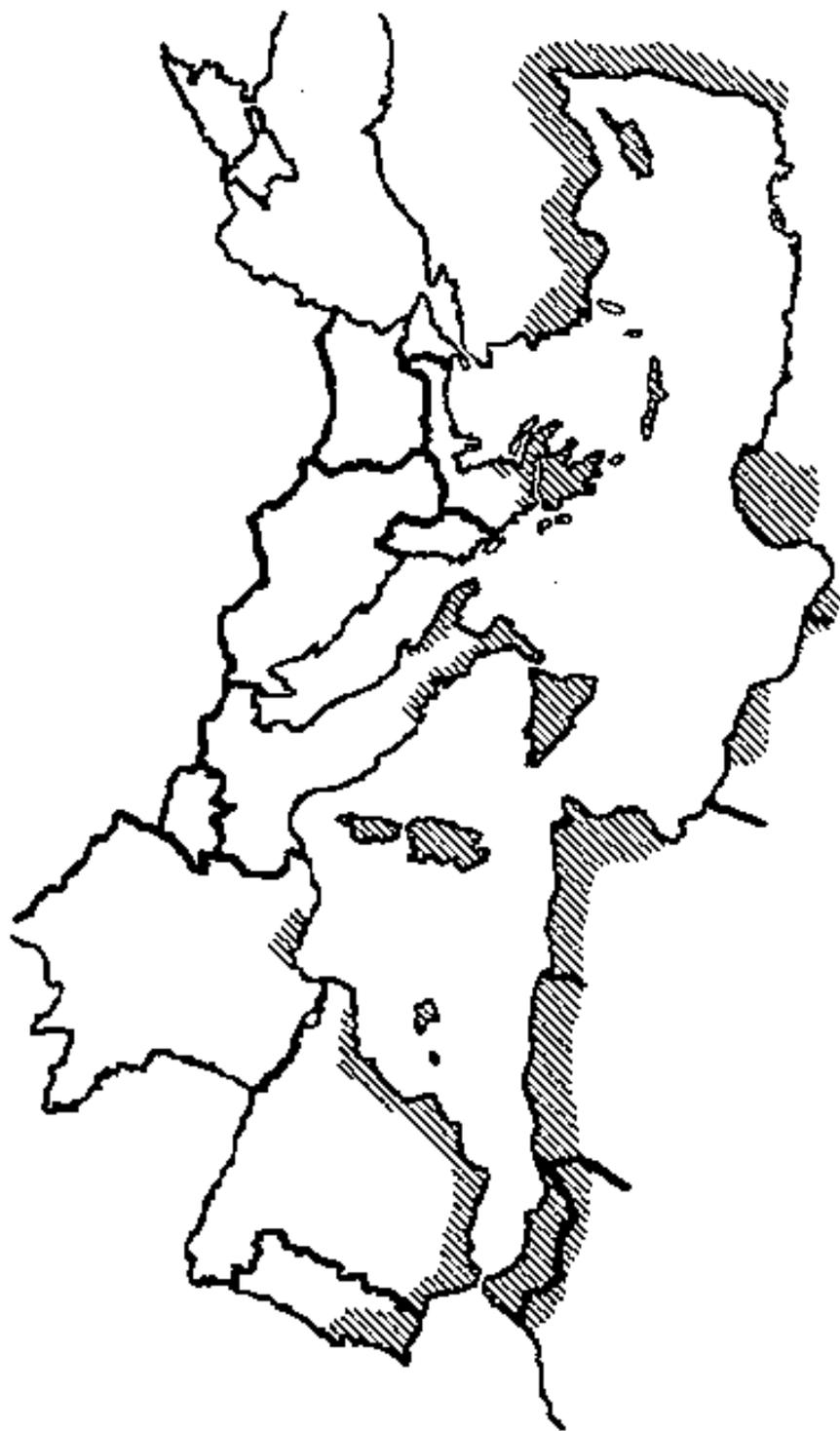


Figura 1.3.1. Distribución geográfica de las áreas de cultivo del Algarrobo
(Ceratonia siliqua L.) en la Cuenca Mediterránea.

hecho, el Algarrobo ha cobrado una especial importancia como especie forestal, destacando en particular el caso de Australia (Esbenshade, 1988).

Aunque la producción mundial de Garrofa resulta muy difícil de estimar y además varía sensiblemente de unos años a otros, puede cifrarse en unas 400.000 Tm/año, que corresponden aproximadamente a la demanda real de Garrofa en el Mundo. El potencial productivo mundial debe ser sin embargo superior a esta cifra, variando la cantidad recolectada según el precio que alcanza la Garrofa, o sus productos sustitutivos, en el correspondiente año de cosecha.

La localización fundamental del Algarrobo, como cultivo tradicional en los países de la Cuenca del Mediterráneo, tiene como consecuencia inevitable que en estos países se produzca prácticamente la totalidad de Garrofa del Mundo, representando los países de la Comunidad Europea (España, Italia, Grecia y Portugal) aproximadamente un 70% de la producción mundial.

3.3. LOS PAISES PRODUCTORES

La producción mundial de Garrofa se reparte, por países, tal como se presenta en el Cuadro I.3.1. Este cuadro se ha obtenido a partir de distintas fuentes de información y estimaciones propias de las producciones esperadas en los países de los que no se dispone una información contrastada.

En este sentido, deben señalarse las importantes variaciones anuales a esperar en la producción de Garrofa de cada uno de estos países. Dada la tendencia a la disminución del cultivo del Algarrobo comentada anteriormente, los valores de los intervalos indicados en el Cuadro I.3.1., no debe esperarse que aumenten en un futuro inmediato.

En orden de importancia España es el primer país productor de Garrofa en el Mundo, aportando aproximadamente un 38% del total mundial. Este valor aparece en otras referencias (Tous, 1984 a; Tous y Batlle, 1988) como cercano al 45%, pero es más bien el resultado de una subestimación de la producción de otros países, o incluso de la falta de alguno de ellos en las referencias citadas.

Italia con un 16% aproximadamente, es el segundo país productor del Mundo, y su producción, junto a la de España,

Cuadro I.3.1.

ESTIMACION DE LA PRODUCCION DE GARROFA EN EL MUNDO
(Estimaciones para 1988)

Países	Producción media e intervalo (x1000 Tm/año)		Reparto (%)
España	152,5	(130 - 175)	38,2
Italia	65,0	(60 - 70)	16,3
Portugal	32,5	(25 - 40)	8,1
Grecia	30,0	(25 - 35)	7,5
CC.EE.	280,0	(240 - 320)	70,1
Turquía	55,0	(50 - 60)	13,8
Marruecos	25,0	(20 - 30)	6,3
Chipre	11,5	(8 - 15)	2,9
Argelia	9,0	(8 - 10)	2,3
Túnez	4,0	(3 - 5)	1,0
Egipto	4,0	(3 - 5)	1,0
Malta	3,0	(2 - 4)	0,8
Libia	2,5	(2 - 3)	0,6
Yugoslavia	0,8	(0,6 - 1)	0,2
Israel	0,8	(0,6 - 1)	0,2
Libano	0,045	(0,04-0,05)	0,01
Siria	0,045	(0,04-0,05)	0,01
Jordania	0,015	(0,01-0,02)	< 0,01
Resto Mediterráneo	115,705	(97,3-136,1)	29,13
EE.UU.	3,0	(2 - 4)	0,8
Australia	0,75	(0,5 - 1)	0,2
Sudáfrica	0,04	(0,05-0,06)	0,01
Otros países	3,79	(2,55-5,06)	1,01
Total Mundo	399,5	(339,9-459,2)	100

supone casi un 55% de la producción mundial.

Turqía, con casi un 14% de la producción mundial, es uno de los países que presenta más disparidad de datos, si bien teniendo en cuenta su superficie geográfica y las observaciones de Vardar *et al.* (1980), la producción anual de Garrofa no debe esperarse que sea inferior a las 50.000 Tm/año.

Por último, Portugal y Grecia, con producciones próximas al 8%, cada uno de ellos, son también importantes productores de Garrofa en el Mundo.

En el caso de Chipre, antiguamente clasificado entre los países más productores de Garrofa en el Mundo, ha sufrido una drástica disminución de su producción en los últimos años, lo que le ha hecho perder importancia relativa en el conjunto mundial.

3.4. EL CONSUMO DE GARROFA EN EL MUNDO

En el mercado actual de la Garrofa, existe una demanda diferenciada de dos productos bien definidos: Pulpa de Garrofa y Garrofin (semilla), en función de las posibilidades de utilización del fruto. Esto da origen a dos estimaciones de muy distintos resultados.

Desde la antigüedad, el aprovechamiento tradicional de la Garrofa en los países productores de la Cuenca Mediterránea, ha sido su empleo entera en alimentación animal, principalmente de équidos. Así la importante reducción del censo de estos animales en las últimas décadas, ha sido una de las causas que más han influido negativamente en el consumo del fruto.

Con el desarrollo del troceado y procesado industrial de la Garrofa, la situación tradicional se ha visto sustancialmente modificada, proponiéndose usos específicos para cada uno de sus componentes.

La pulpa de Garrofa, dado su elevado contenido en azúcares, se destina a usos alimenticios (harinas para pienso, harinas tostadas para alimentación humana, etc..) o industriales (obtención de melazas, azúcar, alcoholes, proteína unicelular, etc..), en los que encuentra un elevado número de productos competitivos por razones de precio. Esta falta de especificidad de la pulpa, en algunas de sus más características posibilidades de utilización, unida a su

bajo precio, han llevado a considerarla como un subproducto del garrofin.

El garrofin por el contrario, puede considerarse como un producto específico del que se extrae, junto a otros subproductos (germen y cubierta), la Goma de Garrofin ("Locust Bean Gum" o LBG). Esta goma, una vez purificada, dará origen al conocido aditivo alimentario E-410, utilizado como estabilizante, emulgente y espesante, principalmente.

Así, el precio del fruto está básicamente determinado por la cotización de la goma del garrofin en el mercado de los aditivos alimentarios.

Por tanto, las actuales perspectivas de utilización de la Garrofa han variado drásticamente y, hoy en día, la demanda y precio de la Garrofa, están fundamentalmente determinadas por la cantidad y calidad de goma de garrofin que de ella puede extraerse.

Las estimaciones de la demanda actual de Garrofa en el Mundo, efectuadas en 1984 por el "Institut Européen des Industries de la Gomme de Caroube" (INEC) con sede en Bruselas, en base a la demanda industrial de goma de garrofin de se sitúan en:

- 15.000 Tm de goma de Garrofin
- 40.000 Tm de Garrofin
- 400.000 Tm anuales de Garrofa

suponiendo unos porcentajes medios del 10%, para el caso del rendimiento de la Garrofa en garrofin y del 37.5% para el rendimiento en goma del garrofin.

En la práctica debe esperarse así que estas 400.000 Tm anuales de Garrofa, den como resultado 360.000 Tm de pulpa que podrá ser destinada a usos alimentarios o industriales.

El principal factor que puede alterar la demanda de goma de garrofin en el Mundo, es la competencia, por razones de precio, de otros aditivos alimentarios de análogas propiedades químico-físicas. Entre ellos deben destacarse: goma de guar (E-412), agar-agar, alginatos, caragenatos, dextrinas o las gomas de otras semillas de leguminosas (*Prosopis* sp., alfalfa, acacias, etc.), entre otros. El principal competidor actual de la goma de garrofin es la goma de otra leguminosa de porte herbáceo y cosecha anual, denominada semilla de guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.), dadas las facilidades con que se realiza su recolección y la extracción industrial de su endospermo.

El consumo de goma de garrofin se localiza fundamentalmente en Europa, sin embargo la demanda realizada por Estados Unidos, Australia y Japón tiene cada día más

importancia, destacando en particular el caso de Japón con importaciones crecientes.

4. LA PRODUCCION Y EL CONSUMO DE GARROFA EN ESPAÑA

4.1. DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LAS AREAS DE CULTIVO EN ESPAÑA

El Algarrobo se encuentra difundido en España, a lo largo de casi toda la franja costera mediterránea, extendiéndose su cultivo en las Comunidades Autónomas de Catalunya (Barcelona y Tarragona), Comunidad Valenciana (Castellón, Valencia y Alicante), Murcia, Andalucía (Almería, Granada, Málaga, Cádiz y Huelva) e Islas Baleares (Mallorca, Ibiza y Menorca) como se puede observar en la Figura I.4.1.

Aunque las provincias anteriormente citadas son las productoras de Garrofa por excelencia, se pueden encontrar Algarrobos diseminados en otras provincias de nuestra geografía como son: Gerona, Madrid, Ciudad Real, Córdoba, Jaén, Las Palmas y Santa Cruz de Tenerife (MAPA, 1986).

4.2. LA PRODUCCION DE GARROFA EN ESPAÑA

La producción de Garrofa en España, iniciada tras la expansión del cultivo en el siglo XVIII (Moratal, 1985), ha disminuido notablemente en los últimos 50 años, tal como se observa en el Cuadro I.4.1. y en la Figura I.4.2. Aunque los descensos más fuertes de producción tuvieron lugar en los periodos de 1950-60 y 1965-70, la tendencia de disminución parece haberse mantenido desde 1930 hasta la actualidad, pero cada vez de una forma más atenuada.

Así mientras en 1930 la producción nacional alcanzó la cifra de 546.600 Tm/año, superando ampliamente las estimaciones más optimistas de la producción mundial citada en el Cuadro I.4.1., en la actualidad dicha producción apenas supera las 150.000 Tm/año, lo que representa una pérdida de más del 70% del potencial productivo de nuestro

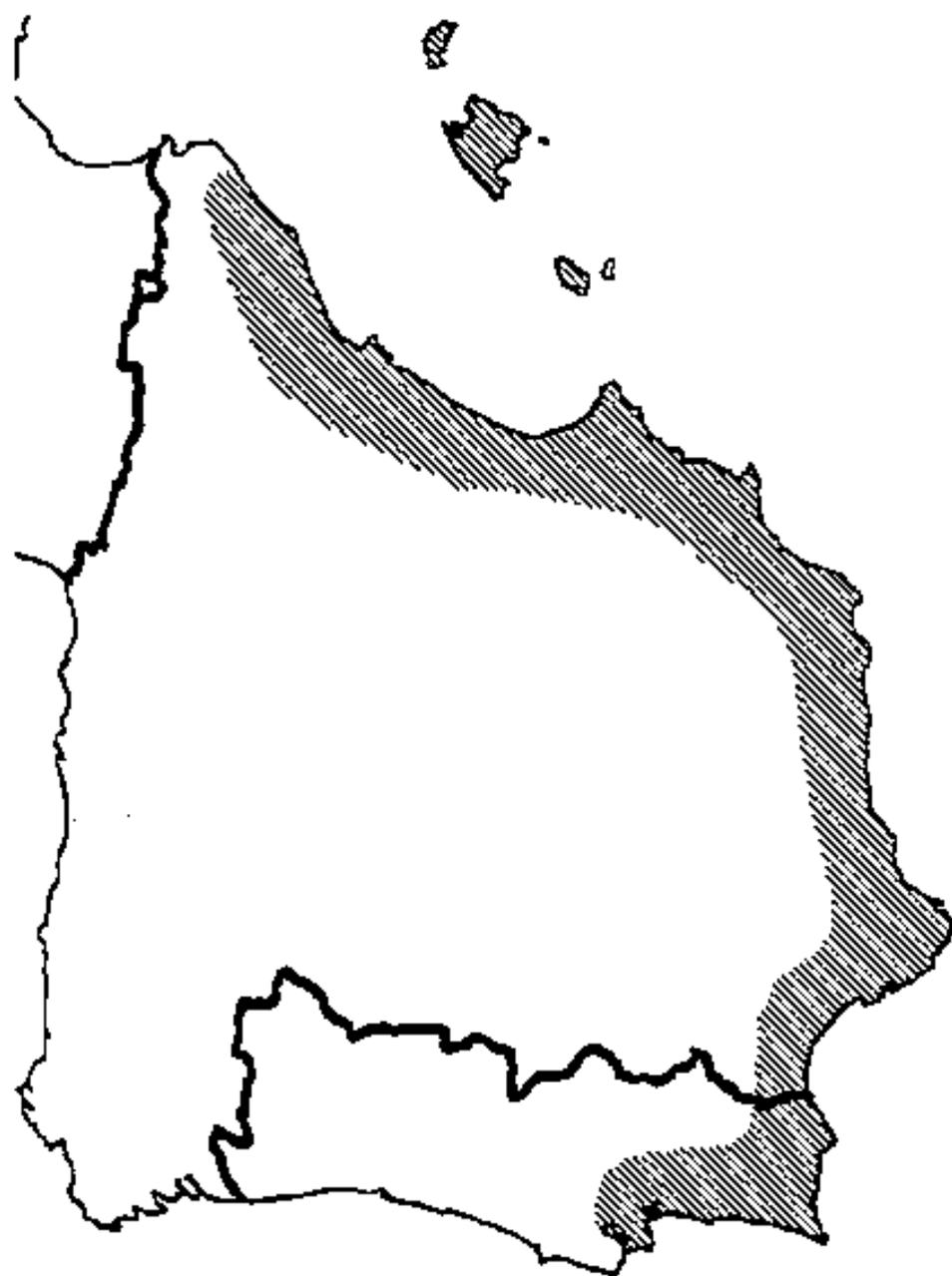


Figura 1. 4. 1. Distribución geográfica de las áreas de cultivo del Algarrobo (Ceratonie Siliqua L.) en la Península Iberica.

Cuadro I.4.1.

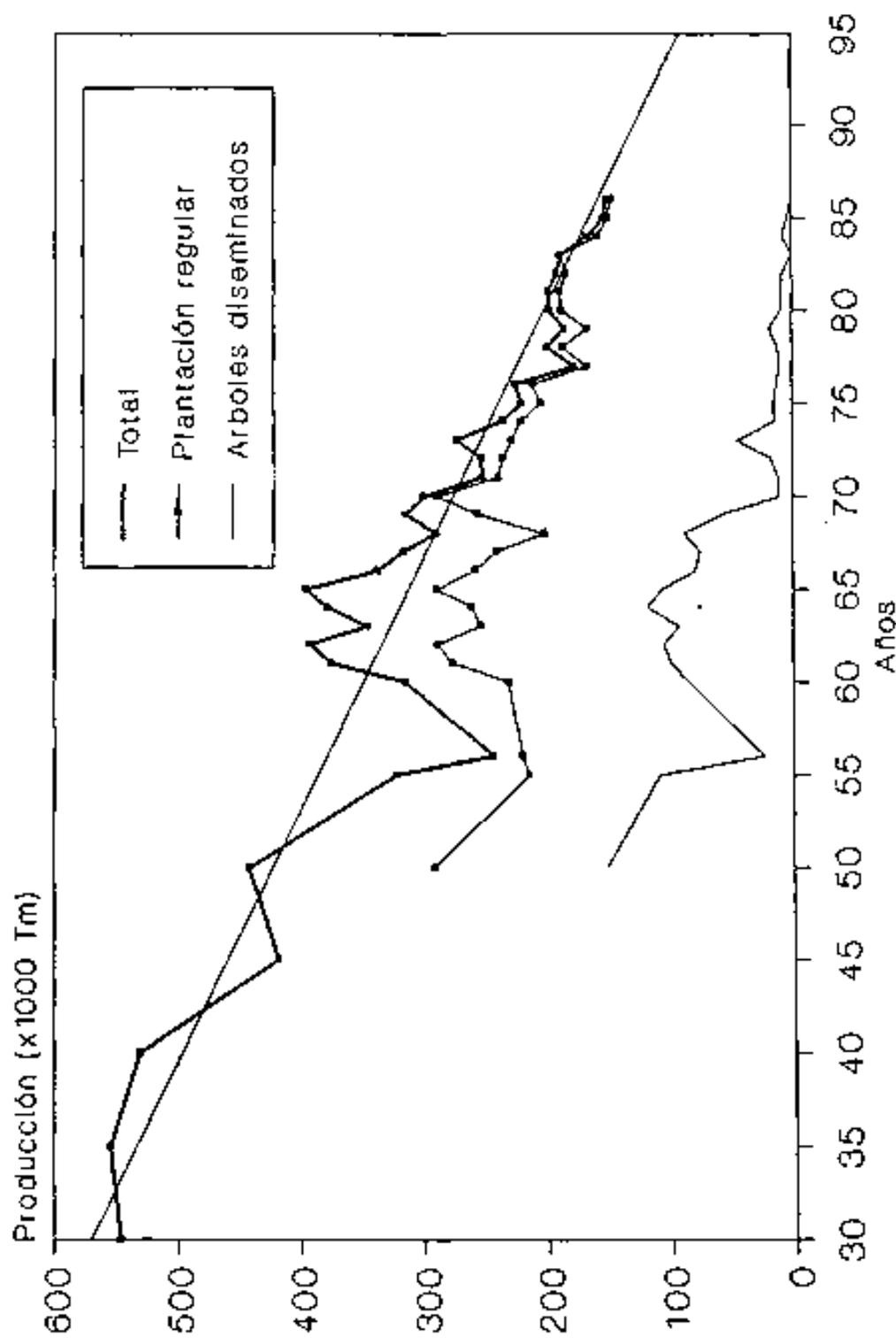
EVOLUCION DE LA PRODUCCION DE GARROFA EN ESPAÑA

(Elaborado a partir de MAPA, 1986)

Año	Superficie en producción (x1000 Ha)	Variación anual media	Producción Total ¹ (x1000 Tm)	Variación anual media	Rendto. medio (Kg/Ha)
1930	188.7	--	546.6	--	--
1935	177.0	- 2.3	554.1	+ 1.5	--
1940	168.3	- 1.7	530.4	- 4.7	--
1945	162.2	- 1.2	418.2	-22.4	--
1950	152.4	- 2.0	442.3	+ 4.8	1.910
1955	154.1	+ 0.3	322.3	-24.0	1.390
1960	182.8	+ 5.7	315.1	- 1.4	1.260
1965	146.8	- 7.2	395.3	+16.0	1.970
1970	160.2	+ 2.7	299.6	-19.1	1.800
1975	144.1	- 3.2	219.5	-16.0	1.420
1980	115.6	- 5.7	197.0	- 4.5	1.620
1985	101.2	- 2.9	153.5	- 8.7	1.480
1990	--	--	--	--	--
Total 1930-85		-87.5		-393.1	
Medio anual		- 1.6		- 7.0	

¹: Incluye árboles diseminados

Figura 142
 Evolución de la producción de Garrofa
 en España (1930-86)



(elaborado a partir de MAPA 1986)

país.

Esta disminución de producción ha tenido lugar, fundamentalmente, como consecuencia de una importante pérdida de superficie cultivada, que ha pasado así de representar casi 190.000 Has, en el año 1930, a unas 100.000 Has en la actualidad. La tendencia de disminución, se mantiene hoy en día, presentando una variación anual media semejante entre los periodos 1930-85 y 1980-86, tal como puede observarse en el Cuadro I.4.1 y en la Figura I.4.3.

Las principales causas responsables de la reducción de la superficie cultivada corresponden fundamentalmente a: la transformación de tierras de cultivo de secano en nuevos regadíos (y más recientemente por la calificación de zonas agrícolas en urbanizables), la paulatina sustitución de la tracción animal por la mecánica (disminuyendo la demanda de Garrofa en la alimentación de los animales de trabajo) y el encarecimiento de la mano de obra agrícola para la recolección, entre otros factores (ACJ, 1964 a,b; Moratal, 1985).

Por otro lado, debe señalarse el efecto de diversos accidentes climáticos, adversos al cultivo del Algarrobo, como fueron las importantes heladas de Febrero de 1956 y más recientemente las de Enero de 1985, que produjeron la muerte de numerosos árboles.

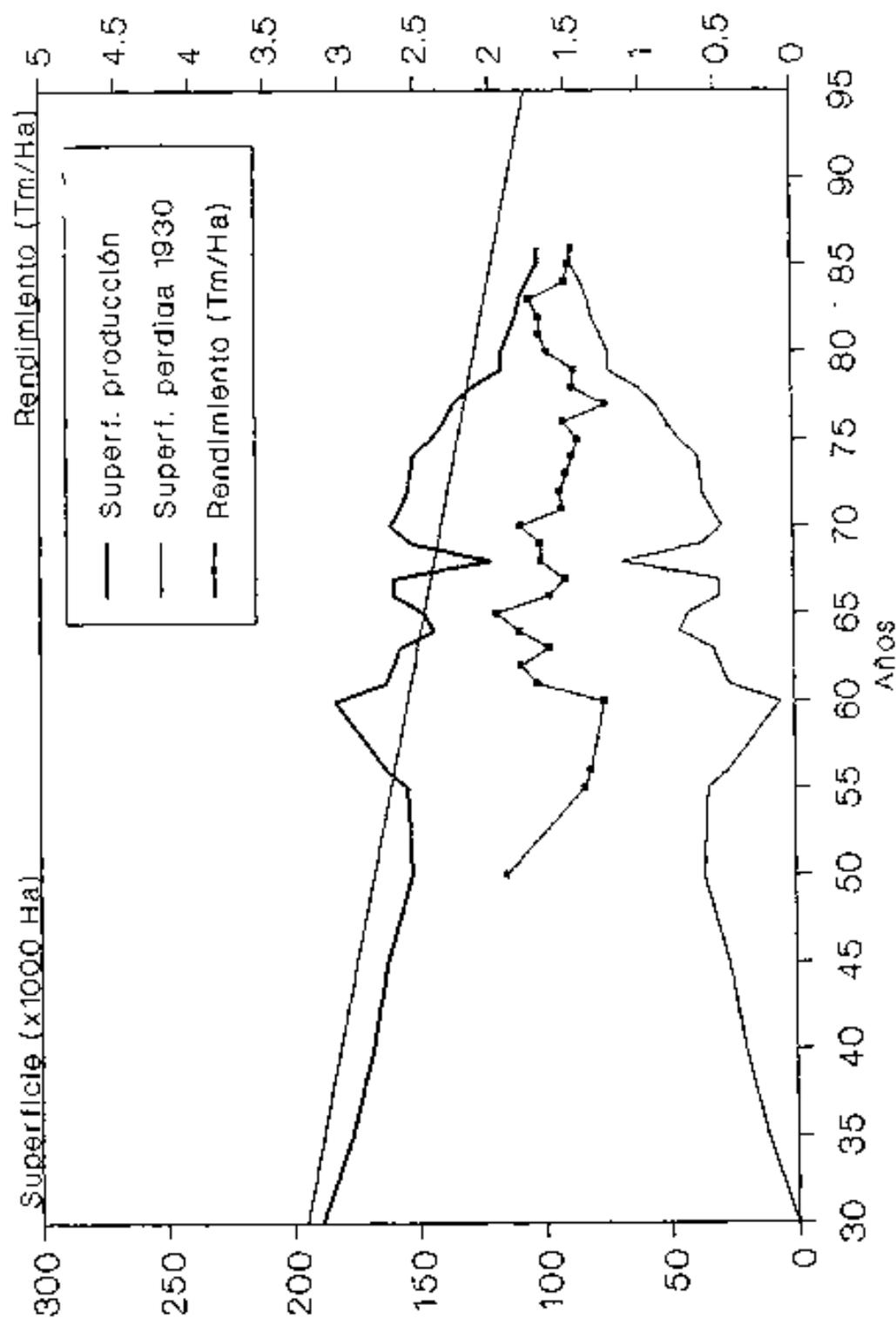
La pérdida de superficie cultivada en España, ha sido sólo escasamente compensada por el establecimiento de modernas plantaciones, con lo que el cultivo se presenta actualmente, de una forma mayoritaria, en condiciones de pies envejecidos, con marcos de plantación anticuados y, normalmente, olvidado.

La disminución de la producción de Garrofa en España, va unida, además de a las pérdidas en superficie cultivada anteriormente comentadas, a una disminución del rendimiento por Ha.

En este sentido, a partir de los datos del Cuadro I.4.1. y la Figura I.4.3. citados anteriormente, puede señalarse que el rendimiento medio pasó de 1.910 Kg/Ha, en el año 1950, a apenas 1.500 Kg/Ha en la actualidad. Estos resultados son consecuencia del abandono de prácticas de cultivo tradicionales en una gran parte de la superficie, más que a una pérdida de rendimiento, propiamente dicha, en el resto de la que sigue siendo cultivada.

La producción española de Garrofa se caracteriza también por realizarse a partir de árboles diseminados, en terrenos marginales y sin plantación regular. Su importancia, en el conjunto de la producción nacional, ha

Figura 1.4.3.
Evolución de la superficie de Algarrobo
cultivada en España (1930-86)



(elaborado a partir de MAPA 1986)

Cuadro I.4.2.

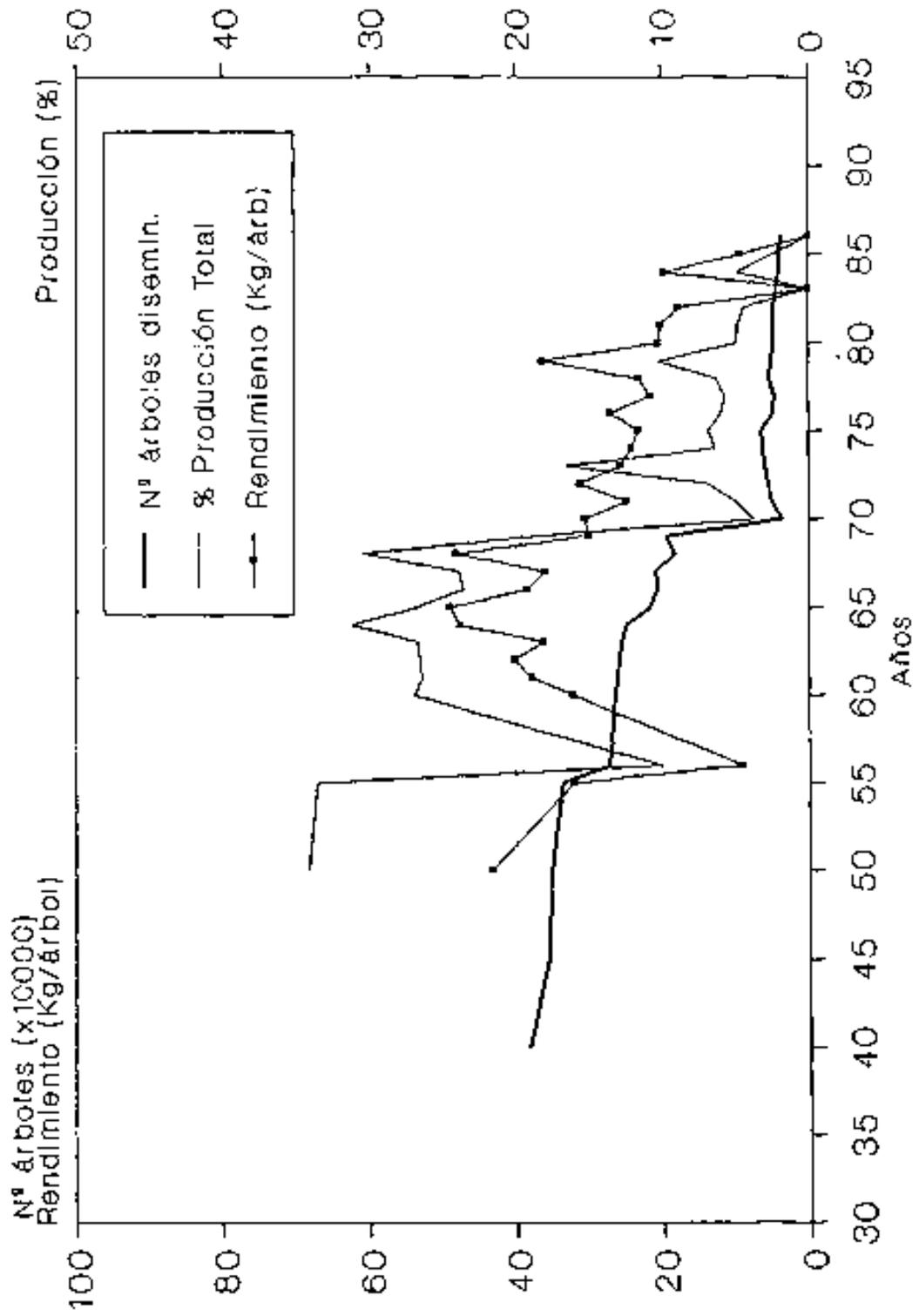
EVOLUCION DE LA PRODUCCION ESPAÑOLA DE GARROFA
EN ARBOLES DISEMINADOS

(Elaborado a partir de MAPA, 1986)

Año	Nº árboles diseminados (x1000)	Variación anual media	Producción Total (x1000 Tm)	Variación anual media	Rendto. medio (Kg/árb)
1930	2.775	--	--	--	--
1935	3.545	+ 154	--	--	--
1940	3.817	+ 52	--	--	--
1945	3.562	- 51	--	--	--
1950	3.504	- 12	151.2	--	43.2
1955	3.366	- 28	108.1	-43.1	32.1
1960	2.636	- 146	84.8	-23.3	32.2
1965	2.167	- 94	106.1	+21.3	49.0
1970	368	- 360	11.2	-94.9	30.5
1975	639	+ 54	14.9	+ 3.7	23.3
1980	475	- 33	9.7	- 5.2	20.5
1985	403	- 14	3.7	- 6.0	9.2
1990	-	-	-	-	-
Total 1950-85		-3101		-147.5	
Medio anual		- 86		- 4.1	



Figura 14.4
Evolución de los árboles diseminados de
Algarrobo en España (1930-86)



(elaborado a partir de MAPA 1986)

disminuido de forma más marcada que la producción a partir de plantaciones regulares, tal como puede apreciarse en el Cuadro I.4.2. y en la Figura I.4.4.

En la actualidad los árboles diseminados representan un 8% del total de árboles, que contribuyen con un 3% a la producción total de Garrofa en España. Su importancia actual es por lo tanto muy escasa, presentando una tendencia a desaparecer en el futuro.

Las zonas más importantes de cultivo se sitúan a lo largo del litoral del Mediterráneo, destacando principalmente Baleares, Cataluña y la Comunidad Valenciana y, con menores producciones, Andalucía y Murcia.

En el Cuadro I.4.3. se muestra la situación actual del cultivo del Algarrobo por Comunidades Autónomas, según los datos del MAPA (1986). Puede observarse así la gran importancia de la Comunidad Valenciana que concentra alrededor del 67% de la superficie y un 59% de la producción total española. Catalunya y Baleares, con unas superficies cultivadas del 13 y 18% respectivamente y una producción próxima al 18%, constituyen un segundo grupo en importancia productiva.

Por último, Murcia con casi un 2% de la superficie y un 3% de la producción, y Andalucía con 0,6% de la superficie y un 1,8% de la producción, completan la panorámica productiva española. En el caso de Andalucía debe destacarse la gran cantidad de árboles diseminados, alrededor de 170.000, que apenas son recolectados.

Por provincias, destaca Valencia principalmente, con una producción de 63.001 Tm lo que representa casi el 42% del total nacional. Tarragona y Baleares producen unas 28.000 Tm, cada una de ellas, y Castellón, pese a que representa el 24% de la superficie, sólo produce un 10% del total nacional. Entre el resto de provincias, Murcia, Barcelona y Málaga producen entre 2.000-4.000 Tm, mientras que las cantidades producidas por Almería, Granada y Huelva son muy pequeñas, no llegando a alcanzar el 1% del total nacional.

La situación actual y estructura del cultivo en España, es característica de una especie de aprovechamiento marginal, con plantaciones que en muchos casos son: irregulares, pequeñas, envejecidas o abandonadas y asociadas con otros cultivos leñosos (Almendro, Higuera, Olivo) o herbáceos (Cereales fundamentalmente). En los casos en los que su recogida no es rentable por corresponder a terrenos marginales de difícil acceso, como por ejemplo en Mallorca, es frecuente observar un aprovechamiento ganadero "in situ" en forma semejante a la dehesa, destinándose la Garrofa a la alimentación de ovejas y cabras fundamentalmente (Caja, 1985).

Cuadro I.4.3.

ANÁLISIS PROVINCIAL DE LA SUPERFICIE, RENDIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL ALGARROBO EN ESPAÑA DURANTE EL AÑO 1986

(Elaborado a partir de MAPA, 1986)

Comunidades y Provincias	Superficie		Arboles ^(*)	Producción	
	Ha	%	nº	Tm	%
Valencia	36.618	36.1	41.700	63.001	41.86
Castellón	24.287	23.9	29.673	14.867	9.88
Alicante	6.595	6.5	8.146	10.218	6.79
C. Valenciana	67.500	66.5	79.519	88.086	58.52
Baleares	18.353	18.1	54.234	27.519	18.28
Tarragona	12.602	12.4	52.097	25.403	16.88
Barcelona	731	0.7	3.300	2.777	1.84
Catalunya	13.333	13.1	55.413	28.184	18.72
Murcia	1.713	1.7	4.085	4.019	2.67
Málaga	520	0.52	23.000	2.450	1.63
Almería	21	0.02	1.000	47	0.03
Huelva	10	0.01	600	20	0.01
Cádiz	--	--	134.220	--	--
Granada	--	--	10.000	100	0.07
Andalucía	551	0.6	169.928	2.627	1.75
Otras	--	--	5.655	87	0.06
ESPAÑA	101.450	100	368.834	150.522	100

(*) Arboles diseminados

Sin embargo esta perspectiva general del cultivo, no es homogénea en todas las Comunidades Autónomas y provincias españolas, observándose aisladamente algunas superficies de esmerado cultivo y en las que se conservan las prácticas tradicionales, como en Catalunya, C. Valenciana y Baleares. En el caso de Alicante cabe señalar la existencia de cerca de 900 Ha de cultivo en regadío, normalmente asociado a cultivos de huerta, mientras que en Murcia y Andalucía, se le considera como una especie marginal, poco cuidada y en la mayoría de los casos ni siquiera recolectada.

4.3. COMERCIALIZACION Y CONSUMO DE GARROFA EN ESPAÑA

Aunque la producción española de Garrofa es absorbida en su mayor parte por el mercado nacional, nuestro país ocupa el primer lugar entre los exportadores de Garrofa en el mundo. En el período 1982-87, las exportaciones españolas, se situaron entre 30.000-50.000 Tm/año de pulpa de Garrofa en forma troceada, triturada o pulverizada, tal como puede observarse en el Cuadro I.4.4.. Esto representa entre un 20-30% de la producción nacional en los últimos años.

Las exportaciones españolas se dirigen preferentemente hacia países europeos, destacando entre ellos: Reino Unido, Suecia, Irlanda e Italia, y en cantidades menores: Francia, Suiza, Alemania, Holanda, Andorra y Bélgica, en orden decreciente de importancia. Por otro lado, las exportaciones españolas a países no europeos adquieren cada día una mayor importancia, destacando las exportaciones a EE.UU., del orden de los 50 millones de pesetas, y en cantidades menores a: Australia, Colombia, Canadá, Japón, Nueva Zelanda y Argentina.

En cuanto a lo que se refiere al garrofin (semilla entera), el saldo neto export-import de España presenta un déficit de 1.000-1.500 Tm/año, tal como puede apreciarse en el Cuadro I.4.5., lo que representa aproximadamente un 10% de la producción nacional, dependiendo su magnitud de la cosecha en las distintas campañas. Esta situación se debe principalmente a que la demanda industrial española de garrofin es superior a la propia producción nacional, lo que indica una elevada capacidad de transformación de la semilla en las industrias de nuestro país y la necesidad de efectuar importaciones ocasionales, de otros países de la cuenca mediterránea, para poder atenderla.

Respecto a la goma de garrofin, como producto elaborado para uso industrial, el valor de las exportaciones españolas

Cuadro I.4.4.

EXPORTACION ESPAÑOLA DE PULPA DE GARROFA (Tm)
Período 1982-1987¹

Países	1982	1983	1984	1985	1986	1987
R.F.Alemania	229	61	125	220	214	234
Francia	1.986	607	1.278	1.122	1.624	1.575
Irlanda	5.234	11.092	9.125	5.217	4.626	3.304
Italia	--	6.332	5.623	1.589	1.499	16.085
Reino Unido	8.116	17.896	18.330	29.266	16.435	12.209
Suecia	10.316	5.746	9.959	8.351	5.658	3.377
Suiza	489	250	1.361	1.797	1.591	1.677
EE.UU.	1.373	668	1.402	1.096	1.469	1.344
Otros	68	314	555	863	229	271
TOTAL	27.811	42.966	47.758	49.521	33.345	40.076

¹ Datos de las estadísticas del Comercio Exterior de España

Cuadro I.4.5.

IMPORTACION Y EXPORTACION ESPAÑOLA DE GARROFIN (Tm)
Período 1985-1987¹

Países	Importación			Exportación		
	1985	1986	1987	1985	1986	1987
Argelia	150	--	80	--	--	--
Chipre	--	100	98	--	--	--
Grecia	30	40	--	--	--	--
Italia	310	305	216	--	147	140
Marruecos	373	651	1.213	--	--	--
Portugal	--	240	--	--	292	515
Otros	40	--	80	--	--	--
TOTAL	903	1.336	1.687	--	439	655

¹ Datos de las estadísticas del Comercio Exterior de España

se sitúa entre las 4.000-5.000 Tm/año, lo que supone unos 3.000-5.000 millones de pesetas/año, representando el 70-80% de nuestra producción de goma de garrofin (Tous y Batlle, 1990).

Finalmente, la producción de germen de garrofin en España puede estimarse en unas 2.500 Tm anuales a las que debe sumarse el germen procedente de las semillas importadas. No obstante no existe una información contrastada de su destino en nuestro país, aunque debe esperarse que básicamente sean consumidas como suplemento proteico en alimentación humana y animal.

5. DESCRIPCION Y BIOLOGIA DEL ALGARROBO

5.1. DESCRIPCION GENERAL DEL ALGARROBO

El Algarrobo (Ceratonia siliqua L.) es una especie leñosa perennifolia, que se mantiene verde todo el año, de hoja compuesta, potente sistema radicular y grueso tronco de corteza pardo-cenicienta.

Habitualmente se presenta en forma de árbol de espesa sombra, con uno o varios troncos y una gran copa de follaje verde oscuro. Su altura está comprendida entre los 4-15 m. Ocasionalmente puede presentarse asilvestrado, en forma arbustiva intrincada, de 1-2 m de altura, formando parte de la "maquia" o matorral mediterráneo.

La copa del Algarrobo es amplia y normalmente globosa, con una disposición de las ramas que varía en función de la edad del árbol y del sistema de poda que se haya realizado. En los árboles jóvenes se observa una tendencia a presentar un aspecto cilíndrico que, conforme pasan los años, toma su aspecto globoso característico, con predominio de los diámetros horizontales sobre los verticales.

El desarrollo y estructura final del árbol están condicionados por las características de clima y suelo principalmente, con importantes modificaciones por la acción del viento y las prácticas de cultivo.

La estructura del árbol y en particular la de la copa ha sido estudiada con detalle por Sousa et al. (1980), en las condiciones climáticas de la Arrábida (Portugal).

El Algarrobo es un árbol de crecimiento lento y gran longevidad (superior a los 150 años), en las habituales condiciones de secano en las que se cultiva, iniciando su vida productiva muy tardíamente (10-15 años) en estas condiciones.

5.2. LA RAÍZ

El Algarrobo presenta un potente sistema radicular que se caracteriza por poseer, en su estado natural, una raíz principal, de tipo pivotante, muy desarrollada y que puede llegar a alcanzar los 20 m de profundidad.

La raíz principal se presenta ramificada en diversas raíces laterales o secundarias, de gran longitud y con tendencia a ser superficiales, sobre todo en suelos compactos o poco profundos.

Las raíces laterales, a su vez extraordinariamente ramificadas y con numerosos elementos absorbentes, son capaces de extenderse hasta longitudes de 30-40 m, pudiendo llegar incluso a alcanzar un desarrollo cuatro veces superior al de las ramas.

Este sistema radicular, además de fijar fuertemente el árbol al suelo, le permite extraer la humedad y los nutrientes de una gran extensión de terreno, especialmente de la capa más superficial del suelo que es la que presenta unos mayores niveles de fertilidad, aireación y materia orgánica. Posiblemente ésta sea una de las principales razones por la que el árbol puede crecer en terrenos pedregosos, con escasa profundidad de suelo y en condiciones de aridez, que serían limitantes para otros cultivos.

Las características del suelo condicionan a su vez a la morfología de las raíces, especialmente en la tendencia a la superficialidad de las laterales. Este es el caso de gran parte de los terrenos marginales de la Cuenca Mediterránea, en los que es frecuente la presencia de una costra caliza o "tap" producida por el ascenso de sales cálcicas a la superficie, como consecuencia de la evaporación del agua en el suelo.

En algunos casos, los árboles pueden carecer de la raíz principal, presentando problemas de desarrollo y de anclaje en zonas afectadas por frecuentes o intensos vientos y en suelos ligeros o poco profundos. Esto suele ser consecuencia de su eliminación o pérdida durante el cultivo en vivero, con motivo de los sucesivos cambios de recipiente a los que

se ve sometida la planta, o resultado de las operaciones llevadas a cabo para su trasplante definitivo, si éstas se realizaron en condiciones defectuosas.

Aunque el Algarrobo ha sido clasificado en la "Familia Leguminosae" (Leguminosas) tal como se ha indicado en el apartado I.2.1., por las características de su fruto en legumbre, no ha podido demostrarse que posea nódulos simbióticos de *Rhizobium* sp. en sus raíces, como el resto de las especies de esta Familia, tanto en los árboles jóvenes como en los adultos. Este hecho se pone de manifiesto por la incapacidad de utilizar el Nitrógeno atmosférico, tal como han señalado y comprobado experimentalmente Jones (1953), Martins-Loucao y Rodríguez-Barrueco (1981, 1982), lo que tiene importantes repercusiones en las prácticas de fertilización que será necesario llevar a cabo.

Las raíces son especialmente sensibles a la salinidad, acidez o falta de cal en el suelo y a la asfixia radicular, producida por una incorrecta aireación y un exceso de humedad en el suelo, que deberán ser siempre evitadas.

5.3. EL TRONCO Y LAS RAMAS

El tronco del Algarrobo suele alcanzar un gran desarrollo, presentando grueso tamaño y formas tortuosas. En ocasiones aparece parcialmente enrollado sobre sí mismo, en espiral abierta, o con su interior hueco.

En su zona basal, el tronco presenta una gran capacidad de rebrote, siempre y cuando las raíces estén bien desarrolladas, permitiendo normalmente la regeneración del árbol después de su tala o muerte por efecto de los accidentes climáticos, especialmente heladas.

El diámetro medio depende de la edad del árbol, estando normalmente comprendido, en las plantaciones adultas, entre 0.5-1 m. Su circunferencia suele ser muy irregular con perímetros comprendidos entre los 3-7 m. Excepcionalmente se alcanzan grandes diámetros, de hasta cerca de 3 m.

A menudo, en árboles viejos, está formado por varios troncos (2-3), procedentes de los rebrotes de tocones de árboles muertos o talados que fueron conservados y posteriormente injertados.

La corteza o "córte" es relativamente delgada, tanto en árboles jóvenes como adultos, y su color pardo-grisáceo, con tonalidades más claras en los troncos y ramas jóvenes,

que adquieren así la coloración cenicienta característica.

La composición química de la corteza se modifica, al igual que en otras especies arbóreas, a lo largo del año, siguiendo las variaciones estacionales de la actividad de la planta (Diamantoglou y Meletiou-Christou, 1977, 1980 a, 1980 b).

El tronco y las ramas del Algarrobo producen una madera de color blanco y con vetas rojizas, que arde con facilidad, es poco resistente a la humedad y presenta una densidad muy constante, independientemente de la edad del árbol y de la zona de cultivo de que proceda, con un valor medio de 690 Kg/m³ (Sousa et al., 1980)

Las ramas, según su edad, presentan las siguientes características diferenciales:

* Las ramas principales, de más edad, son generalmente gruesas, tortuosas y con tendencia a la horizontalidad por efecto de su peso y de las podas de formación. Su misión fundamental es la de servir de elementos de sostén a otras ramas, aunque ocasionalmente pueden resultar productivas.

* Las secundarias son de tamaño medio, con tendencia a ser más o menos erectas según su edad, especialmente en la parte superior de la copa. Constituyen las principales ramas productivas, al darse en ellas la floración más abundante.

* Las ramas nuevas o jóvenes, de menor tamaño por ser de formación reciente, se sitúan en la parte externa de la copa o zona de crecimiento. Son flexibles y de corteza lisa y recubierta de "lenticelas" o aperturas que permiten el intercambio gaseoso con la atmósfera, como si se tratara de estomas. Suelen presentar tonalidades amarillo-verdosas o rojizas, según la variedad, en la zona de brotación.

La estructura del árbol, en lo que se refiere a la edad, número y disposición de sus ramas, tiene una gran importancia en relación con su productividad. Resulta así necesaria la presencia de un elevado número de ramas secundarias, y controlar las nuevas o jóvenes, a fin de maximizar la producción.

5.4. LAS HOJAS

Las hojas aparecen en los extremos de las ramas jóvenes y su duración media es superior a un año. Son compuestas y paripinnadas, formadas por 2-6 pares de folíolos que se

insertan perpendicularmente sobre un raquis o eje delgado de 8-22 cm de longitud. Ocasionalmente en árboles cultivados y más frecuentemente en Algarrobos silvestres, el número de folíolos puede ser impar en algunas hojas.

La máxima densidad o superposición de hojas, se presenta en el centro del árbol durante las etapas juveniles. Por el contrario, en los árboles adultos, las zonas centrales presentan una menor densidad de hojas, como consecuencia de la desviación del crecimiento de las ramas hacia la periferia, en busca de una mayor iluminación (Sousa *et al.*, 1980).

Este aspecto parece estar relacionado con la productividad del árbol, señalándose que, una menor densidad de hojas, incrementa la productividad por unidad de área foliar como consecuencia de la disminución de la sombra que se realizan entre sí las hojas (Blackman, 1968).

Los folíolos son ovalados, coriáceos, de contorno entero o ligeramente hendido en el ápice y con una tendencia a aparecer ondulados, especialmente en las hojas jóvenes. En algunas de las hojas viejas es posible encontrar un pequeño espolón o "mucrón", en el centro de su ápice hendido, procedente de la exteriorización del nervio central.

Su color es verde oscuro y brillante en el haz y claro y mate en el envés. En los brotes jóvenes, al igual que ocurre con las ramas, la coloración puede presentar tonalidades verde-amarillentas o rojizas, según las variedades.

En la base del raquis y en la de cada uno de los folíolos, aparecen unos pequeños abultamientos, especialmente importantes por su función, denominados "pulvinulos". Estos abultamientos actúan a modo de articulaciones y han sido considerados como una adaptación ecológica de gran valor para el árbol cuya función principal es la de producir cambios en la orientación y exposición de las hojas a la radiación solar, según el balance hídrico de la planta. Este mecanismo permite al Algarrobo modificar su actividad según las condiciones del medio y, en particular, reducir los efectos de las horas de mayor iluminación y temperatura del día, en situaciones de aridez.

Las características anatómicas e histológicas de los folíolos de las hojas del Algarrobo han sido estudiadas por Matzopoulou-Belba *et al.* (1980) y Maia (1988).

Al igual que en la mayor parte de especies vegetales, los cloroplastos del tejido fotosintético del Algarrobo presentan gránulos de Almidón, estando caracterizados estos cloroplastos por presentar un reducido número de sacos o "tilacoides" (Christodoulakis y Mitrakos, 1987), en relación

a otras especies vegetales.

Los estomas aparecen únicamente en el envés o parte ventral de los folíolos, siendo su densidad media de 165-205 estomas/mm² de hoja y el índice estomático de 7-8 (Hatzopoulou-Belba *et al.*, 1980; Nunes y Linskens, 1980). Su velocidad de apertura es lenta (45 minutos), mientras que la de cierre es más rápida (15 minutos), al pasar a condiciones de oscuridad (Nunes y Linskens, 1980).

No parece que existan diferencias en la densidad de estomas, entre hojas jóvenes o viejas, siendo su valor en el Algarrobo inferior al de otras especies arbóreas mediterráneas, según ha señalado Sheikh (1976).

Los estomas del Algarrobo aparecen prácticamente cerrados a iluminaciones inferiores a 1.000 Lux y modifican su comportamiento en función de la temperatura. Así aparecen cerrados cuando la temperatura es inferior a los 18 °C, se abren entre los 25-35 °C y permanecen totalmente abiertos a partir de los 40 °C (Nunes y Linskens, 1980). En condiciones de estrés hídrico se produce el cierre de los estomas durante el día, tal como señalan Nunes y Correia (1980) y Lo Gullo *et al.* (1986).

En condiciones intermedias de sequía, el Algarrobo opta por un cierre parcial de los estomas como una solución de compromiso entre pérdidas de agua, tolerancia al calor y captación de CO₂ para la fotosíntesis, lo que presenta la ventaja de tener un mayor efecto sobre las pérdidas de agua que sobre la actividad fotosintética.

Mediante esta estrategia de actuación, el Algarrobo puede llegar a economizar hasta un 50 % de agua, con tan solo una reducción del 20 % de la fotosíntesis (Nunes y Correia, 1980), lo que le resulta especialmente ventajoso dado que, las últimas fases de formación del fruto y la floración, se realizan durante el Verano.

En relación a la actividad fotosintética, el Algarrobo se clasifica entre las especies vegetales que siguen rutas metabólicas de "Tipo C3", aunque posee la información genética necesaria tanto para la codificación de las enzimas fotosintéticas características de las plantas del "Tipo C3" (RuDP-Carboxilasa) como del "Tipo C4" (PEP-Carboxilasa). El mecanismo C4 parece estar activo en las primeras fases de germinación de la semilla y de desarrollo de la plántula, inhibiéndose rápidamente a partir del momento en que los cotiledones toman coloración verde (Catarino y Bento-Pereira, 1976).

Según Correia y Catarino (1980), la actividad fotosintética del Algarrobo, es máxima entre 25-30 °C, en condiciones medias de iluminación (40.000 Lux), disminuyendo

bruscamente a partir de los 35 °C. A una temperatura de 40 °C, la reducción de la fotosíntesis resulta ya superior a un 25 % de la máxima.

La composición química de las hojas del Algarrobo se modifica, al igual que lo que ocurre en otros órganos y especies arbóreas, a lo largo del año, siguiendo las variaciones estacionales de la actividad de la planta y descritas por Diamantoglou y Melitou-Christou (1980 a,b,c).

Las hojas del Algarrobo, al igual que su corteza, son ricas en Taninos, lo que las protege del ataque de los insectos y otros depredadores. Ocasionalmente son ingeridas por el ganado, especialmente el ovino, en épocas en las que existe poco alimento disponible.

5.5. LAS FLORES

El Algarrobo es un árbol "trioico" y "poligamo", desde un punto de vista sexual, caracterizado por presentar tres tipos de individuos según su sexo. Así es posible encontrar árboles o pies:

- * "Mascullinos", que sólomente presentan flores de sexo masculino y que por lo tanto no son capaces de producir frutos. Habitualmente son denominados "borrers" o "judíos" y se utilizan como polinizadores.

- * "Femeninos", que presentan únicamente flores del sexo femenino y que por consiguiente son normalmente productores de frutos. Suelen ser los mas abundantes.

- * "Hermafroditas", que presentan flores con un desarrollo completo de sus aparatos reproductivos masculino y femenino, aunque en algunos casos su polen puede ser infértil.

Puede también encontrarse aunque raramente, individuos polígamos con flores unisexuales y hermafroditas (Brullo,1982).

Todo parece indicar que existe una graduación de estados sexuales en el Algarrobo, de forma parecida a lo que ocurre en la Vid (*Vitis vinifera* L.) y otros vegetales. Esto es debido a que las flores hermafroditas, en el momento de la maduración, desarrollan el aparato reproductor de un solo sexo quedando el otro atrofiado.

Ocasionalmente pueden encontrarse individuos femeninos

que presentan ramas de floración masculina, lo cual debe corresponder más al injerto o rebrote del pie original, que a un estado natural del árbol.

Chandler (1962) ha indicado que, en las plantas procedentes de semilla, se presenta mayoritariamente el sexo masculino, aunque esta observación no ha sido posteriormente confirmada.

Las flores del Algarrobo son pequeñas, con simetría pentámera, como en otras del "Orden Fabales", sin corola y que por tanto resultan visualmente poco llamativas.

Se encuentran agrupadas en inflorescencias en racimo, dispuestas a lo largo de un eje o raquis más engrosado en su base, de color verde-amarillento o rojizo y de 4-10 cm de longitud, sobre el que se insertan de 10-30 flores o incluso más. El número medio de flores se sitúa entre 4-12 flores/cm.

Existen grandes diferencias entre individuos, en lo que se refiere al número de flores y a la longitud del raquis, apareciendo en ocasiones inflorescencias agrupadas en pequeños ramos.

Las flores nacen a partir de unas yemas florales, abultadas y características del Algarrobo, que suelen producirse en la madera vieja o en las ramas de más de 3-5 años de edad. Debido a que las floraciones sucesivas suelen producirse en el mismo punto, las yemas florales pueden aparecer como verdaderas nudosidades.

Las principales características de los distintos tipos de flores corresponden a:

* "Flor masculina": Se caracteriza por la presencia de estambres, constituidos por unos filamentos largos (1 cm de longitud, color verde-amarillento), terminados en unas anteras de forma elíptica (3 x 2 mm) y partidas longitudinalmente en dos sacos polínicos. El número de estambres es básicamente 5 aunque es posible encontrar frecuentes anomalías de la simetría pentámera (4-8 estambres). La base floral está formada por un disco nectario (3-5 mm de diámetro, color verde), con los estambres en sus vértices y con 5-6 sépalos rudimentarios. En el centro del disco aparece un pistilo rudimentario recubierto por numerosos pelos unicelulares. Linskens y Scholten (1980) han señalado la presencia de numerosas glándulas secretoras de néctar en la superficie del disco.

* "Flor femenina": Se caracteriza por presentar un pistilo largo y curvado, en forma de legumbre (0.5-1.5

cm de largo, 2-3 mm de ancho, color blanco-verdoso). En el extremo distal presenta un estigma bilobular muy marcado (3-4 mm de diámetro), cubierto por papilas secretoras de un fluido estigmático viscoso y, en su extremo proximal, un pequeño pedúnculo (1-2 mm de largo). El ovario, bicarpelar o en silicua presenta una hendidura a todo su largo (Linskens y Scholten, 1980) aunque en general se describe como monocarpelar o en legumbre (Batlle, 1985; Martínez-Valero *et al.*, 1988) por la estructura del fruto y por analogía a otras leguminosas. El disco nectarío, está también rodeado por 5 sépalos pilosos y presenta unos rudimentos de estambres en sus vértices.

* "Flor hermafrodita": Se caracteriza por presentar el pistilo y los estambres funcionales en la misma flor, considerándose por tanto como una flor perfecta o completa. Su tamaño y apariencia es semejante al de las flores unisexuales, con presencia de néctar en la superficie del disco y existiendo también una amplia gama de variación en lo que se refiere a la longitud y color de la inflorescencia.

La potencialidad de la flor femenina de aparecer como flor hermafrodita y el rudimento de pistilo de la flor masculina, anteriormente comentados, parecen indicar el carácter primitivo de la flor hermafrodita. Esto descartaría la hipótesis de que la presencia de flores unisexuales en el Algarrobo, sea un carácter primitivo, como ocurre en las fanerógamas dioicas, de tipo arcaico. La tendencia a la unisexualidad del Algarrobo, parece más bien derivar del carácter hermafrodita como consecuencia de la especialización ocurrida en los procesos evolutivos (Brullo, 1982).

Sin embargo, es necesario señalar que la nueva especie de Algarrobo silvestre (*Ceratonia oreothauma* Hillc., Lewis & Verdc.), llama la atención por presentar exclusivamente individuos puramente masculinos o femeninos en sus poblaciones naturales (Hillcoat *et al.*, 1980).

Otras hipótesis han señalado que la diferenciación sexual pudiera estar relacionada con la dotación genética, resultando hermafroditas y femeninos los individuos homocigóticos y masculinos los heterocigóticos (Francini, 1951, citado por Mitrakos, 1988), o influida por el ambiente (Batlle, 1985). No se dispone de comprobaciones que pudieran justificar la veracidad de estas hipótesis.

El néctar producido por las flores del Algarrobo, es muy oloroso, especialmente en las masculinas, presentando una composición básica a base de Glucosa y Fructosa en la proporción aproximada de 3:4 (Linskens y Scholten, 1980).

Este néctar es muy apetecido por muchos insectos, especialmente moscas y abejas, siendo de gran importancia en la polinización (apartado 1.6.2.).

Los árboles cultivados suelen ser frecuentemente de flores unisexuales femeninas, por lo que es necesario injertarlos con ramas masculinas o asegurar la presencia de individuos masculinos en su proximidad, para que pueda realizarse la polinización.

La floración de los árboles femeninos y masculinos puede presentarse, según variedades e individuos, en momentos distintos, por lo que este aspecto deberá también ser tenido en cuenta para asegurar la polinización.

Tradicionalmente se han clasificado los Algarrobos por el color de su flor, distinguiendo entre árboles con "flores amarillas y rojas", pero este criterio parece ser insuficiente e independiente de otras características florales, tal como señala Haselberg (1988).

Sin embargo los árboles masculinos con flores rojas parecen ser, según Tous (1984 b), más fáciles de cultivar y más productores de polen, pero en contrapartida, más sensibles al frío.

5.6. EL FRUTO O GARROFA

El fruto del Algarrobo, conocido como Algarroba o Garrofa, se clasifica habitualmente como un fruto seco a pesar de su aspecto pulposo, dado su escaso contenido en agua en el momento de su recolección.

Desde un punto de vista botánico es una legumbre, aunque de tipo indehiscente (o permanentemente cerrada), y debe considerarse como un fruto simple, por proceder de un solo ovario, aunque Linskens y Scholten (1980) han apuntado la posibilidad de que sea bicarpelar, por las observaciones del ovario al microscopio electrónico, tal como se ha comentado anteriormente.

Su forma es alargada, recta o más o menos curvada (falciforme, sigmoidal o en espiral abierta) y su tamaño y peso pueden variar considerablemente según las variedades y su localización, apareciendo aislado o en pequeños agrupamientos (3-10 garrofas), en forma de racimos o ramilletes.

Sus dimensiones se sitúan habitualmente entre los

siguientes intervalos de variación: 8-28 cm de longitud, 1.5-3 cm de anchura y 0.5-1.3 cm de espesor, y su peso entre los 9-30 g (Orphanos y Papaconstantinou, 1969; Crescimanno *et al.*, 1988; Sánchez-Capuchino *et al.*, 1988).

Morfológicamente la legumbre está dividida en todo su largo en dos mitades, soldadas entre sí por una gruesa sutura perimetral, que puede aparecer en forma de "cresta" (más o menos marcada) o en forma de "canal o gotera" con dos gruesos labios. En su extremo proximal o más cercano al tronco, presenta un pequeño pedúnculo o pedicelo, de tipo leñoso, y en su extremo distal, se puede observar un apéndice que corresponde al residuo del estigma floral.

La superficie de la Garrofa es irregular y normalmente estriada, coriácea y brillante, con una depresión en el centro y bordes engrosados. Su coloración varía en función del grado de madurez y de la variedad, siendo verde claro en los frutos jóvenes y pasando a una coloración pardo-rojiza o pardo-negrucza, al final de la etapa de maduración.

La legumbre es monocarpelar aparentemente, pluriseminada y plurilocular, situándose las semillas o Garrofines, a todo su largo, en pequeñas hoquedades o lóculos. Las semillas aparecen en un mismo plano y con la misma orientación, quedando unidas al fruto por un "funículo o chalaza", en dirección perpendicular al eje longitudinal de la Garrofa.

La presencia de semillas completamente desarrolladas está relacionada con la forma externa de la Garrofa y así es frecuente observar un marcado estrangulamiento del fruto en aquellas zonas en las que la semilla ha abortado o se encuentra atrofiada. La cantidad de pulpa está por tanto relacionada con el número de semillas.

En la estructura del fruto se distingue, desde un punto de vista botánico, la pared o "Pericarpo" y las semillas, que corresponden respectivamente a la "Pulpa de Garrofa" y a los Garrofines en la terminología de utilización industrial.

El Pericarpo se considera dividido en 3 capas o elementos estructurales fundamentales, de composición y propiedades claramente diferenciadas:

* Epicarpo: Es una delgada capa, aunque claramente diferenciable, que recubre a la Garrofa por su parte externa, presentando un aspecto coriáceo y brillante, naturaleza fibrosa y color pardo-rojizo o pardo-negruczo, lo que confiere a la Garrofa su color característico.

* **Mesocarpo:** Constituye la parte interior subcarnosa de la Garrofa. Está formado por un grueso parénquima de células estratificadas ricas en azúcares, principalmente sacarosa y glucosa, y con gránulos especiales que contienen taninos condensados. Su color suele ser más claro que el Epicarpo y su textura harinosa, aunque ocasionalmente puede presentarse de color oscuro (variedades de "pulpa negra").

* **Endocarpo:** Es una delgada capa que recubre interiormente a la Garrofa, dividiéndola en segmentos o lóculos que constituyen los espacios en los que se alojan las semillas o Garrofines. Su color es claro y brillante y su naturaleza fibrosa.

Porcentualmente la "Pulpa de Garrofa" representa entre el 70-95 % del peso de la Garrofa, correspondiendo el 5-30 % restante a las semillas o Garrofines, y siendo sus valores medios más frecuentes de 88 y 12 %, respectivamente. El número de semillas por fruto es muy variable, oscilando entre 4 y 14 semillas/garrofa (Orphanos y Papaconstantinou, 1969; Crescimanno *et al.*, 1988).

En la práctica suele aceptarse, como media, un reparto entre Pulpa:Garrofin del 90:10 (Neukom, 1988), en parte debido a las pérdidas de Garrofin que se producen durante el proceso de troceado, si este no se realiza cuidadosamente.

La Pulpa de Garrofa, obtenida industrialmente por el troceado y extracción de las semillas de la Garrofa entera, constituye, por su composición química, un importante sustrato energético que ha sido utilizado como materia prima para la alimentación humana y animal o para la obtención de diversos productos agroindustriales (azúcar, alcohol, sucedáneo de chocolate, etc...).

5.7. LA SEMILLA O GARROFIN

Las semillas del Algarrobo o Garrofines son pequeñas y aplanadas, de forma casi ovalada, con su polo basal truncado y hendido, y aplastadas en la zona apical. Su cubierta es normalmente lisa, dura, de coloración pardo-rojiza y brillante.

En ocasiones los Garrofines pueden presentarse casi completamente esféricos, totalmente aplanados (vacíos) o con la cubierta arrugada, pero todas estas formas son consideradas defectuosas y poco valoradas para su

utilización industrial.

Las dimensiones habituales de las semillas varían entre: 8-11 mm de longitud, 5-8 mm de anchura y 3-5 mm de espesor. El peso del Garrofín, pese a las diferencias en tamaño y formas, se caracteriza por su relativa constancia, con unos intervalos medios de 0.17-0.20 g/semilla (Orphanos y Papaconstantinou, 1969).

Esta relativa constancia de peso, unida a la estabilidad y facilidad de conservación de las semillas, es una de las principales razones que motivaron la utilización del Garrofín como una unidad de pesada, denominada "Kilate o quilate", fundamentalmente empleada en la antigüedad en el comercio de joyería y farmacia (1 garrofín = 0.2 g = 1 kilate).

Como elementos estructurales claramente diferenciados, el Garrofín puede fraccionarse en:

* **Epispermo:** Corresponde a la cutícula o tegumento externo de la semilla, formado por dos capas, una oscura, dura y brillante, llamada "testa" y otra más interna, clara y más blanda, denominada "tegmen". Esta fracción representa del 20-33 % del peso seco de la semilla (Orphanos y Papaconstantinou, 1969; Crescimanno *et al.*, 1988; Neukom, 1988).

* **Endospermo:** Por asimilación también denominado "Goma", constituye la reserva nutritiva del embrión durante su conservación y germinación. Corresponde fundamentalmente a un polisacárido de cadena lineal, formada por unidades de D-manosa y D-galactosa, y que se incluye dentro del grupo de las "galactomananas". Este polisacárido, presente en las semillas de casi todas las leguminosas, tiene una gran afinidad por el agua, produciendo el hinchamiento de la semilla durante su germinación y caracterizándose por poseer unas importantes propiedades espesantes y gelificantes que motivan su utilización industrial. El endospermo representa del 42-59 % del peso seco de la semilla (Orphanos y Papaconstantinou, 1969; Crescimanno *et al.*, 1988; Neukom, 1988).

* **Embrión:** Situado en el polo apical de la semilla, junto al funículo o chalaza, está constituido por el "eje embrionario" y 2 "cotiledones". En él reside el poder germinativo de la semilla y presenta un elevado contenido en proteína. Por extensión, el embrión se denomina en la práctica "germen". Esta fracción de la semilla representa del 15-25 % del peso seco de la semilla (Orphanos y Papaconstantinou, 1969; Crescimanno *et al.*, 1988; Neukom, 1988). El alto contenido en

proteína del embrión del Garrofin y su relativamente elevada calidad en aminoácidos, justifica su empleo como una materia prima proteica en alimentación animal, conocida como "Harina de Germen de Garrofin".

La dificultad de separación industrial de los componentes estructurales del Garrofin, motivó en el pasado su utilización como "Harina completa de Garrofin", que incluye todas sus estructuras. En la actualidad esta forma de utilización ha sido abandonada.

La composición química, propiedades y algunas de las más importantes aplicaciones de los distintos componentes estructurales del Garrofin, son discutidos en apartados posteriores.

5.8. EXIGENCIAS DEL CULTIVO DEL ALGARROBO

El Algarrobo como ya se ha comentado anteriormente es un árbol típicamente mediterráneo, que tolera satisfactoriamente condiciones de aridez moderadas aunque resulta poco resistente a las heladas.

Sus principales exigencias desde un punto de vista climático, edáfico e hídrico, se desarrollan a continuación.

5.8.1 CLIMA

El Algarrobo es un árbol propio de zonas de clima mediterráneo y de influencia marítima. Este clima se caracteriza por presentar una estación suave, húmeda y soleada en la cual las precipitaciones son más frecuentes (Primavera) y otra cálida, seca, altamente soleada y con elevadas tasas de evapotranspiración (Verano).

El Clima Mediterráneo según la definición de Aschmann's (1973) se caracteriza por presentar:

- Precipitación anual en las regiones costeras de 275-975 mm. En las zonas más calurosas continentales el límite inferior se eleva a 350 mm.

- Al menos el 65% de las precipitaciones se dan en los meses de noviembre-abril en el hemisferio norte y durante mayo-octubre en el hemisferio sur.

- Durante uno de los meses de invierno la temperatura media debe estar por debajo de los 15°C y el periodo frío alcanzar como mínimo el 3% del total anual.

Por extensión se consideran también climas mediterráneos los que presentan analogías con éste, fuera de su área característica, cambiando los meses del año a que corresponden cada una de las estaciones según el hemisferio.

En estas condiciones, el Algarrobo crece bien hasta 600 m de altura sobre el nivel del mar, aunque en zonas más templadas puede superar este límite. A 50 Km de la costa es ya difícil encontrar estos árboles.

El Algarrobo pertenece al ecosistema "maquia litoral mediterránea" sobre suelos calizos, tal como han señalado Ximenez de Embún (1962), Aloni y Orshane (1972), Roselló (1977), Bonner (1980) y Vardar *et al.* (1980), y su área de cultivo coincide con la de los agrios, olivo, vid, almendro e higuera. Sin embargo, está considerado como una de las especies de clima mediterráneo más susceptible a sufrir daños por bajas temperaturas.

Aunque hay diferencias a la resistencia al frío entre variedades, los árboles adultos no son capaces de superar periodos prolongados de exposición a -9 °C, produciéndose incluso una completa defoliación del árbol si la exposición es de corta duración. Las temperaturas de -4 °C dañan seriamente a los brotes y árboles jóvenes.

Los periodos más críticos a bajas temperaturas, son los de inicio de floración y de maduración, en los que la exposición continuada a temperaturas comprendidas entre -3°C y -5 °C puede destruir la cosecha en curso de un año y la que se producirá el año siguiente (Merwin, 1981).

Respecto a las altas temperaturas, en condiciones de suficiente humedad, el Algarrobo soporta hasta los 50 °C, a partir de los cuales resulta perjudicado.

Además de las temperaturas extremas, los fuertes vientos y nieves abundantes impiden el correcto desarrollo vegetativo del árbol y disminuyen la producción. Por otro lado, si en el momento de la floración se presentan espesas nieblas o humedad ambiental elevada, puede reducirse el poder de recepción del pistilo a los granos de polen al estar éstos muy hidratados y verse así perdida una gran parte de la cosecha (Tous, 1984 b).

5.8.2 SUELO

El Algarrobo es un árbol poco exigente en cuanto al tipo de suelo que necesita. Así, tradicionalmente ha sido cultivado en terrenos marginales, dada su capacidad de producir en circunstancias muy desfavorables y en lugares donde no es posible el cultivo de otras especies o donde éstas no serían rentables.

En general, crece prácticamente en cualquier tipo de suelo, siempre que esté bien drenado y aireado, incluyendo los arenosos, pedregosos, margosos, calizos, alcalinos o moderadamente ácidos. No obstante prefiere los suelos calizos, de pH neutro y consistencia media o suelta, y por lo tanto permeables, donde se desarrolla con gran vigor.

En terrenos arcillosos, húmedos y propensos al encharcamiento durante el invierno, es propenso a la podredumbre de las raíces. No le van bien por tanto las tierras demasiado húmedas y con aireación deficiente (Tamaro, 1954). En zonas húmedas es frecuente observarlo en terrenos de ladera con pendientes elevadas, donde se evita el encharcamiento de las raíces. No tolera tampoco los terrenos salinos (Crescimanno, 1982), tanto por los efectos directos de la sal sobre el cultivo, como por los efectos indirectos sobre la estructura del suelo.

Una de las limitaciones más importantes en la producción del cultivo, es la superficialidad de los suelos, lo que provoca un pobre almacenamiento de agua y un escaso desarrollo radicular, lo que se refleja en el tamaño de los árboles y en su productividad (Orphanos, 1980).

5.8.3. AGUA

Una de las principales características de este árbol es su resistencia a la sequía, aunque su producción se ve resentida si se somete a déficits hídricos. En este sentido, la resistencia a la sequía se refiere a su supervivencia y, para obtener una producción satisfactoria, es necesaria una precipitación adecuada.

Según Brullo (1982), el Algarrobo presenta una elevada tolerancia a la aridez ambiental gracias a la ralentización de los procesos de transpiración y a la capacidad de exploración, por parte de sus raíces, de una considerable extensión de terreno que le permite actuar como concentrador de agua.

Aunque la precipitación mínima anual necesaria para obtener una correcta fructificación se sitúa por encima de los 200 mm, el Algarrobo puede vegetar con lluvias anuales del orden de 150 mm (Merwin, 1981). En la práctica es interesante, no obstante, que la precipitación media anual no sea inferior a 300-350 mm (Brullo, 1982) y que la época de recolección coincida con un período sin lluvias (Chandler, 1962) para conseguir producciones adecuadas y facilitar la recolección y conservación de los frutos.

6. CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA GARROFA

El Algarrobo (Ceratonia siliqua L.), al igual que otros vegetales, está sometido a las leyes generales del crecimiento y desarrollo biológicos.

En los seres vivos, tal como ha indicado Richards (1969), se entiende por Crecimiento "el aumento en tamaño" y por Desarrollo "los cambios en forma y proporciones asociados al crecimiento" y que producen, como resultado, la especialización de la función celular.

Con estos cambios el ser vivo adopta distintos aspectos, según el momento de crecimiento y desarrollo en que se encuentre, dependientes de la edad y de la estación del año, entre otros factores, hasta alcanzar su aspecto característico a la madurez.

En la práctica, se considera que corresponde a crecimiento, todo aquello que da como resultado el aumento en peso seco de un vegetal, mientras que, los cambios cualitativos que producen las nuevas propiedades morfológicas y funcionales de la planta, se consideran desarrollo.

El conocimiento de estos períodos resulta fundamental para poder comprender la biología del árbol y en particular de su fruto, para así poder aplicar las técnicas de cultivo y de aprovechamiento más adecuadas en cada uno de ellos.

6.1. FLORACION

El Algarrobo presenta normalmente, en nuestras latitudes, un período de floración fundamentalmente estival (Julio-Octubre), aunque es frecuente encontrar variaciones importantes por efecto de las condiciones climáticas del año, la localización geográfica, el sexo y la variedad, entre otros factores. Así, en el interior de Argelia y otros países del Norte de Africa, es posible observar que la floración se prolonga incluso hasta principios del Invierno (Diciembre-Enero).

La floración se inicia, al igual que en la mayoría de los árboles frutales, por medio de un proceso de inducción floral que comienza el año anterior y en el que las hojas parecen tener un efecto determinante. Este efecto se produce por medio de la actuación específica de sustancias reguladoras del crecimiento ("fitohormonas") sobre las yemas, que darán lugar a la formación de las inflorescencias.

Durante el desarrollo de las inflorescencias del Algarrobo pueden distinguirse distintos estadios, que han sido esquematizados por Haselberg (1988), para las flores masculinas y femeninas respectivamente, correspondientes a:

* Flores femeninas: La floración comienza con el crecimiento del raquis floral que aparece cubierto, en toda su longitud, por unos botones florales de forma redondeada y de aproximadamente 1 mm ϕ . Estos botones florales contienen un pistilo rudimentario, totalmente recubierto por un cáliz de 5 sépalos y característico de la flor del Algarrobo. A continuación, y en dirección hacia el ápice, los botones florales inician su apertura, apareciendo el extremo del pistilo entre los sépalos. Seguidamente los sépalos se abren y se hace visible el disco nectarario. Cuando el disco nectarario ha alcanzado su tamaño final, el estigma crece hasta sus dimensiones definitivas.

* Flores masculinas: Al igual que en el caso de las flores femeninas, la floración comienza con el crecimiento del raquis, que aparece cubierto de botones florales cerrados. Antes de que el raquis alcance su longitud definitiva, se inicia la apertura de las flores por medio de la separación de los 5 sépalos del cáliz, apareciendo las anteras. En este momento, la flor tiene aspecto de estrella, con las anteras en los extremos y un rudimento de pistilo en el centro. Seguidamente, el filamento de los estambres comienza su crecimiento hasta alcanzar el tamaño definitivo. A la

madurez de la flor, puede observarse néctar en el disco nectario, la apertura longitudinal de las anteras y la liberación final de su polen.

Haselberg (1988) ha señalado diferencias en la forma de madurar las inflorescencias de ambos sexos, que hacen que éstas adopten formas cónicas o cilíndricas según que, la apertura de los botones florales, se realice de forma gradual o simultánea, respectivamente. Este hecho tiene importantes repercusiones en la duración del período floral, en la capacidad de polinización de las inflorescencias masculinas y en la clasificación varietal.

Los reguladores del crecimiento vegetal que actúan en el caso de la inducción y desarrollo floral del Algarrobo, han sido estudiados por Ilahi (1979, 1980). Según este autor, la especie C. siligua presenta 5 reguladores del crecimiento, 4 estimuladores o promotores y 1 inhibidor, variando su presencia y contenidos según los diferentes órganos (hojas, yemas y flores), sexos y estados de desarrollo de la planta.

6.2 CARACTERÍSTICAS DEL POLEN Y POLINIZACIÓN

Los granos de polen del Algarrobo han sido estudiados al microscopio electrónico por Ferguson (1980), Linskens y Scholten (1980) y Ciampolini et al. (1988). Su forma puede ser elipsoidal o esférica, presentando una superficie externa finamente granulada y surcada normalmente por 4 pliegues o "colpos", lo que le da un aspecto tetralobulado o tetracolporado. Sus dimensiones medias son: 21-31 μm ϕ ecuatorial (E) y 27-43 μm ϕ polar (P), lo que supone una relación P:E cercana a 1, en las formas esferoidales, y próxima a 2, en las elipsoidales.

Su morfología ha sido utilizada para diferenciar especies (Ferguson, 1980) y variedades (Ciampolini et al., 1988) de Algarrobo. La principal diferencia observada por Ferguson (1980), entre Ceratonia siligua L. y Ceratonia oreothauma Hillc., Lewis & Verdc., es que el polen de C. siligua es tetracolporado, mientras que el de C. oreothauma es tricolporado.

En C. siligua, es frecuente encontrar granos de polen anormales, con 2-12 colpos, originados probablemente por irregularidades en la meiosis, aunque este hecho no parece estar relacionado con la fertilidad del polen (Ferguson, 1980).

La polinización, o transferencia del polen desde las anteras al estigma, se realiza normalmente en el Algarrobo desde finales de Verano a principios de Otoño (Septiembre-Octubre), pero el proceso continúa mientras existan flores completamente desarrolladas. La polinización puede ser anemófila (por el viento) o entomófila (por los insectos). Estas dos vías de transporte son simultáneas en el caso del Algarrobo, tal como corresponde a la morfología de sus granos de polen, contribuyendo a asegurar la polinización.

La estructura de las flores del Algarrobo, además de la de su polen, parece indicar claramente una adaptación a la polinización entomófila. Así durante el período de floración del Algarrobo, la entomofauna polinizadora identificada en torno a las flores, es variada y abundante, tal como han observado Linskens y Scholten (1980) y Passos de Carvalho (1988), destacando la Abeja (Apis mellifera L.), y las Moscas Doméstica (Musca domestica L.), M. Azul (Calliphora erythrocephala L.) y M. Verde (Lucilia caesar L.) y menos frecuentemente las avispas (Vespa sp.).

A pesar de que la flor no presenta una corola llamativa para los insectos, la emisión de un fuerte olor característico del néctar, sobre todo en las flores masculinas, contribuye a favorecer la atracción de las flores a los insectos.

Hasta la fecha no ha podido demostrarse un importante papel polinizador de la entomofauna del Algarrobo a larga distancia (Passos de Carvalho, 1988), quedando además muy disminuida su efectividad en condiciones climáticas adversas (nieblas, días lluviosos, etc...). Otro aspecto a destacar en la polinización de esta especie, es la cantidad de polinizadores necesarios y su distribución en las plantaciones. Tradicionalmente (Daris, 1964), se dispone de 1 pie masculino o hermafrodita por cada 9-10 pies femeninos, o se injertan varias ramas masculinas en los árboles femeninos.

Aunque parecen existir diferencias en cuanto a producción de polen en árboles masculinos y hermafroditas, éste no suele ser generalmente limitante en las plantaciones actuales (Batlle, 1985).

6.3. FECUNDACION

Una vez realizada la polinización, es decir cuando el grano de polen se encuentra ya sobre el estigma, comienza la germinación del polen que dará como resultado la fecundación

del ovario.

Para que se inicie la germinación del polen son necesarias una serie de condiciones que, de forma natural, se presentan en el estigma de la flor femenina. Linskens y Scholten (1980) han observado una germinabilidad del polen de Algarrobo superior al 90 %, en condiciones in vitro, incluso tras su refrigeración en el proceso de conservación (5 °C). Sin embargo, Sfakiotakis (1978) y Ciampolini et al. (1988) han observado importantes variaciones en la germinabilidad del polen de flores masculinas y hermafroditas de distintas variedades de Algarrobo (5-69 %).

En general se considera que el polen de las flores hermafroditas puede presentar una menor germinabilidad que el de las flores masculinas, aunque las observaciones experimentales de Ciampolini et al. (1988), referentes al desarrollo en longitud y grosor del tubo polínico, no parecen confirmar estas diferencias.

Durante la fecundación, el tubo polínico portador del gameto masculino, se introduce en el estigma, penetrando en el estilo y en el saco embrionario del ovario, hasta entrar en contacto con las ovocélulas o gametos femeninos. Finaliza así la etapa de fecundación y se da paso al desarrollo y maduración del fruto.

En la práctica, suele ser frecuente que, no todas las ovocélulas del ovario de la Garrofa se fecunden o alcancen su madurez transformándose en semillas, apareciendo en el fruto como semillas faltantes o "abortadas" y produciendo unos típicos estrechamientos de la legumbre. Esta característica, que no es en ningún caso deseable dado el elevado valor económico de la semilla perdida, parece estar relacionada con la eficacia de la polinización en distintas condiciones climáticas o variedades.

6.4. CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL FRUTO

Una vez finalizada la fecundación, se inicia el largo período de crecimiento y desarrollo del fruto que se prolongará por espacio de 11-12 meses, produciéndose la característica situación de que, en el Algarrobo, las nuevas flores coexisten durante el verano con los frutos producidos el año anterior.

El fruto del Algarrobo o Garrofa presenta en su desarrollo una curva de crecimiento sigmoidal, controlada por sustancias reguladoras del crecimiento específicas y de

funciones estimuladoras o inhibitoras. En esta curva pueden distinguirse 3 fases de desarrollo fundamentales y claramente diferenciadas, tal como han estudiado Ilahi y Vardar (1976 a, b):

* Fase I o de crecimiento lento: Comienza justo después de la fecundación, caracterizándose por ser un período de crecimiento lento, que se prolonga durante todo el Otoño y casi todo el Invierno (Octubre-Febrero). El crecimiento está regulado por cuatro sustancias estimuladoras que se mantienen a bajos niveles durante este período y, como consecuencia, el fruto muestra un ligero incremento en peso y dimensiones.

* Fase II o de crecimiento rápido: Se inicia a finales del Invierno o comienzos de la Primavera, cuando desaparecen los fríos, prolongándose hasta la llegada de los primeros calores del Verano (Marzo-Junio). Se caracteriza por un rápido crecimiento del fruto, que se traduce en un importante incremento en peso y longitud. Durante este período se produce un notable aumento de una de las sustancias estimuladoras, en relación a las restantes, a la vez que se mantienen bajos los niveles de las sustancias inhibitoras.

* Fase III o de maduración: Comienza en Verano y se caracteriza por el cambio de color del fruto, que pasa de verde claro a pardo oscuro, y por la pérdida de humedad. En esta fase se produce un gradual descenso de las sustancias estimuladoras del crecimiento y un incremento de las sustancias inhibitoras.

Paralelamente al crecimiento y desarrollo morfológico del fruto, se producen una serie de importantes cambios cualitativos que afectan a su composición química.

Así, el contenido en Azúcares Totales, componente mayoritario de la Garrofa, aumenta durante el desarrollo del fruto, habiéndose detectado por cromatografía (Charalambous y Papaconstantinou, 1966) la presencia de Sacarosa, Glucosa, Fructosa y Maltosa fundamentalmente. A su vez la relación entre Azúcares reductores (Glucosa, Fructosa y Maltosa) y no reductores (Sacarosa), cambia durante la maduración del fruto. En los frutos jóvenes prevalecen los Azúcares reductores, mientras que en los maduros, los Azúcares no reductores llegan a alcanzar el 74 % del contenido en Azúcares Totales (Davies *et al.*, 1971; Ilahi y Vardar, 1975).

Respecto a los Principios Inmediatos, Proteína Bruta, Fibra Bruta y Minerales, durante el desarrollo del fruto se observa una reducción paralela al aumento en Azúcares

Totales y Taninos. Sin embargo en el caso de la Fibra, puede observarse un aumento temporal, durante las primeras etapas del desarrollo del fruto (hasta finales de Mayo), que desaparece y llega a invertirse posteriormente como consecuencia del notable incremento en Azúcares Totales (Davies *et al.*, 1971).

En cuanto a la composición mineral, los porcentajes de Nitrógeno, Fósforo, Calcio y Magnesio, se reducen notablemente durante el desarrollo del fruto, aumentando sin embargo su contenido en Potasio (Montero y Medrano, 1988).

El contenido en Taninos (estimados como componentes fenólicos) aumenta durante la maduración del fruto, tal como se discute en el apartado I.9.3., incrementándose el valor de la fracción de alto peso molecular (condensados o muy polimerizados) y decreciendo la de bajo peso molecular (hidrosolubles).

6.5. CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA SEMILLA

El comienzo del desarrollo de la semilla de la Garrofa o Garrofin, se inicia con la fecundación del óvulo. Durante esta etapa el óvulo fecundado o cigoto se ve sometido a una intensa multiplicación y diferenciación celular que dará origen a las estructuras de la semilla anteriormente descritas (epispermo, endospermo y embrión).

En el desarrollo de la semilla, todo parece indicar que el endospermo es el principal responsable de la supervivencia del embrión, especialmente en los primeros estados de desarrollo. Así, el embrión es incapaz por si mismo de asegurar su crecimiento, necesitando de la colaboración del endospermo.

En el caso de la semilla del Algarrobo, al igual que en otras angiospermas, el endospermo presenta normalmente una dotación cromosómica triploide ($3n$), resultado de una doble fertilización (primaria y secundaria) del gameto haploide (n) femenino por dos gametos haploides masculinos. La fertilización secundaria se interpreta como un estímulo para proporcionar al endospermo las propiedades fisiológicas necesarias para asegurar el desarrollo del embrión (Warden *et al.*, 1980).

La presencia de embriones anormales (indiferenciados o con cotiledones incompletos), en el caso del Algarrobo, está asociada a endospermos anormales, con dotaciones cromosómicas diploides ($2n$) o tetraploides ($4n$), según han

observado Warden *et al.* (1980), lo que pone de manifiesto la interdependencia del desarrollo del embrión-endospermo. En estos casos, las semillas defectuosas o "abortadas", presentan pequeño tamaño (3-5 mm de longitud) y formas irregulares que ennegrecen durante la maduración del fruto.

En la formación del embrión o embriogénesis, se han propuesto tres estados fundamentales de desarrollo que pueden ser diferenciados entre sí por el estudio de los tamaños de los cotiledones (C) y el eje embrionario (E). Así, en base a la relación C:E, al corte transversal, pueden distinguirse:

* Fase I: Correspondiente a la fase inicial de desarrollo, en la que los cotiledones son muy pequeños frente al eje embrionario (relación 20:80), presentando al principio forma de corazón y aumentando la importancia de su hendidura media durante su desarrollo. Su tamaño medio se sitúa entre 2.5-3.7 mm en las semillas normales.

* Fase II: Estado intermedio, en el que la relación es de 40:60 y la forma es lanceolada por efecto del alargamiento de los cotiledones. El crecimiento del embrión es muy rápido a partir de esta fase. Su tamaño medio varía entre 2.9-4.6 mm.

* Fase III: Correspondiente a una disposición del embrión medio cotiledonar, con relación 75:25 como consecuencia de la relativa constancia en tamaño del eje embrionario y del alargamiento de los cotiledones. El embrión adquiere su forma definitiva alargada y su tamaño se sitúa entre 3.1-5.2 mm.

El crecimiento de la semilla está controlado, durante todo su desarrollo, por sustancias reguladoras del crecimiento vegetal. En el caso del Garrofin, éstas son de tipo inhibidor en las semillas jóvenes y estimulador en las semillas maduras (Crescimanno, 1982).

Durante todas las etapas de desarrollo de la semilla, el endospermo aparece como dos capas pluricelulares, una externa y delgada, formada por células de forma regular y en contacto con el epispermo, y otra interna, más gruesa y de células irregulares vacuoladas, próxima al embrión. La diferenciación entre estas capas se va acentuando durante las distintas etapas de desarrollo de la semilla.

Las células del endospermo, como ya se ha comentado anteriormente, son ricas en un polisacárido de cadena lineal (Galactomananas), de importante valor industrial. Este polisacárido es sintetizado en el retículo

endoplasmático rugoso de las células del endospermo y posteriormente almacenado, en forma de vacuolas, en el citoplasma celular. El citoplasma presenta así una elevada densidad.

La deposición de galactomananas del endospermo, durante el desarrollo de la semilla, es más lenta que el proceso de movilización que se produce durante la germinación, para la nutrición del embrión (Sevinate Pinto, 1980).

Como resultado de todo ello, el peso fresco del Garrofin aumenta hasta el principio del Verano (mediados de Julio), disminuyendo rápidamente a continuación (Kalaitzakis y Mitrakos, 1980). Así, según Montero y Medrano (1988), el peso seco de los Garrofines pasa de representar un 1.3 % del peso seco de la Carrofa, en el mes de Mayo, a un 14.7 % en Julio, lo que pone de manifiesto el llenado progresivo de la semilla y su crecimiento durante este periodo.

Al estudiar las variaciones en el contenido mineral de las semillas durante su desarrollo, Montero y Medrano (1988) han observado dos etapas claramente diferenciadas. En la primera de ellas (Mayo-Junio) se produce una disminución progresiva del contenido en N y P, mientras que, en la segunda (Julio-Setiembre), esta tendencia se invierte, aumentando el contenido de los dos elementos. Respecto al Ca y Mg, la evolución es semejante, aunque menos marcada. Por el contrario, el contenido en K de las semillas parece disminuir lenta y progresivamente a lo largo de todo su desarrollo.

7. CLASIFICACION VARIETAL

7.1. PROBLEMATICA DE LA CLASIFICACION VARIETAL

El conocimiento de las características diferenciadoras del material vegetal, que constituye las distintas poblaciones de Algarrobo, es uno de los puntos más confusos, en lo referente al estudio de este cultivo. La información bibliográfica actualmente disponible resulta, en muchos casos, arbitraria, redundante y demasiado subjetiva.

A esta situación se une el hecho de que, la mayor parte de los agricultores, no conocen la historia y denominaciones de los árboles que cultivan, o bien las utilizan

incorrectamente. Este problema se ve agravado por el alto grado de sinonimias existentes y su marcado carácter local, sin que pueda tenerse certeza de que dos o más denominaciones distintas correspondan a una misma variedad, o viceversa. Así por ejemplo, este es el caso de la "Costilla" ("Costella d'ase", "Costella de cavall", "Costella de ruc", "Costilla de toro", etc...) y "Negra" ("Negre", "Negreta", "Negrita", "Negra" de Catalunya, de la Comunidad Valenciana, etc...), entre otras denominaciones frecuentes en España.

La problemática de la clasificación varietal del Algarrobo se complica aún más dada la antigüedad del cultivo y los sistemas de propagación utilizados tradicionalmente. Esto es debido a la práctica de injertar, sobre plantas silvestres o nacidas de semilla en vivero, la parte aérea de algún ejemplar sobresaliente para, de esta forma, conseguir la mayor cantidad y calidad de los frutos. Por otro lado, la existencia de un número elevado de ejemplares silvestres en las zonas tradicionales de producción, facilita la hibridación de los ejemplares cultivados, originando una gran variabilidad genética que ha sido mantenida hasta nuestros días, dada la escasa presión de selección ejercida por el hombre.

Puede sugerirse así, tal como indica Batlle (1985), que las actuales variedades de Algarrobo, han debido tener su origen en:

- La selección y adaptación de formas silvestres que, por sus mejores características productivas y de aprovechamiento de su fruto, destacaron entre otras.
- La selección y propagación de individuos surgidos espontáneamente de plantas de semilla.
- Posibles mutaciones a nivel de las yemas que pudieron originar algún clon, posteriormente seleccionado y propagado.

Esta diversidad de orígenes, que puede haberse producido simultáneamente, unida a la situación del material vegetal que es posible observar en el caso del Algarrobo, plantea la conveniencia de utilizar la categoría taxonómica no botánica de "variedad población" o "cultivar" (cultivated-variety) en lugar de la de "variedad". Así, se designa como "cultivar" al grupo de individuos cultivados, que poseen un cierto número de características propias, comunes entre ellos y diferenciadoras de otros y que son mantenidos en dicha categoría taxonómica por procedimientos específicos de propagación.

Con la categoría "cultivar" no se presupone que todos los individuos incluidos en ella presenten uniformidad en todas sus características pomológicas. Sin embargo, en la práctica, resulta conveniente que los "cultivares" sean lo más uniformes posibles.

Por otro lado debe señalarse la importancia de la influencia de los factores del suelo, clima y prácticas de cultivo, sobre las características morfológicas y rendimientos productivos de los vegetales. Por esta razón, resulta necesario realizar colecciones de cultivo en idénticas condiciones ambientales, a efectos de comparación. La lentitud de crecimiento del Algarrobo dificulta sin embargo su realización, aunque ha sido ya iniciada su plantación en la Comunidad Valenciana (Casanova, 1990) y en Catalunya (Tous y Batlle, 1990).

En conclusión, con vistas a establecer una clasificación práctica del material vegetal existente y en la que los cultivares elegidos sean lo más homogéneos posibles, resulta conveniente atender a criterios geográficos de localización y tomar en consideración las llamadas "denominaciones locales" como criterio básico de estudio en la clasificación varietal del Algarrobo.

7.2. CRITERIOS DE CLASIFICACION

El estudio descriptivo y la clasificación de variedades en el Algarrobo, aunque ha sido realizado por distintos autores, no ha sido abordado todavía con criterios pomológicos objetivos en los que se incluyan tanto los caracteres del árbol como los del fruto.

Desde un punto de vista histórico, resulta interesante destacar la clasificación realizada por Rullán (1897) en Baleares, que toma como criterios de diferenciación las características morfológicas, riqueza en azúcar, textura leñosa y coloración de las Garrofas. Clasificaciones análogas fueron realizadas por Lleó (1901) en Valencia y Bassa (1917) en Catalunya y que han sido recogidas por Darís (1964). En el caso de Italia, Morettini (1963) cita la clasificación realizada por Bianca en Sicilia, en base a las características botánicas del Algarrobo y a las particularidades y utilidades de la Garrofa. De una forma anecdótica debe señalarse además la clasificación de Thomson (1971) en California, basada en la distancia a la costa y la resistencia al frío, de los distintos cultivares.

En la actualidad la mayoría de clasificaciones varietales existentes, utilizan como primer criterio de diferenciación la zona de origen y difusión (distribución geográfica) del cultivo, diferenciándose entre variedades por países (españolas, italianas, griegas, portuguesas, etc...), zonas de producción (regiones, comunidades autónomas, provincias etc...) e incluso localidades (Orphanos y Papaconstantinou, 1969; Vardar *et al.*, 1980; Crescimanno, 1982; Tous, 1985; Spina, 1989; Tous y Batlle, 1990, entre otros autores).

El siguiente criterio de diferenciación utilizado suele ser el de distinguir los ejemplares espontáneos de los cultivados, normalmente en base a la realización de injertos (Morettini, 1963; Orphanos y Papaconstantinou, 1969; Vardar *et al.*, 1980).

Alternativamente a este criterio, y en ocasiones de forma complementaria, se utiliza el de la diferenciación floral en base al sexo (grado de diferenciación sexual) o a la coloración de las flores (amarillas, rojizas y verdosas). Entre estas clasificaciones figuran los 5 tipos florales de Schoeder citados por Crescimanno (1982) y la clásica, aunque menos completa, agrupación de los Algarrobos en masculinos, femeninos y hermafroditas (Batlle, 1985; Spina, 1990).

En los Algarrobos con flores femeninas y hermafroditas, capaces de dar fruto, resulta fundamental la utilización de las características morfológicas y posibilidades de empleo de las Garrofas, como criterio de diferenciación (Morettini, 1963; Orphanos y Papaconstantinou, 1969; Caja *et al.*, 1984; Tous, 1985; Spina, 1989; Tous y Batlle, 1990).

Por último, Batlle (1985) ha propuesto un posible esquema de clasificación, basado en la descripción pomológica de variedades de olivo de Barranco y Rallo (1984). Este sistema, que considera como criterios de clasificación los caracteres morfológicos, biológicos y agronómicos del Algarrobo, no ha mostrado todavía su posible utilidad.

7.3. CLASIFICACION DE VARIEDADES EXTRANJERAS

En el Cuadro I.7.1. se han resumido las principales "variedades" o "cultivares", de los diferentes países productores de Garrofa en el Mundo. Los criterios de clasificación utilizados en la realización del cuadro corresponden a: País de origen, sexo, tipo de fruto o región, habiéndose completado con la localización geográfica

Cuadro I.7.1.

Principales grupos varietales extranjeros de Garrofa

Grupo	Denominación	Localización	Características
Italia:			
Femenina	Injertadas, muy abundantes y productivas		
	"Amele di Bari"	Puglia	F, o, m, P (8%)
	"Cavallaro"	" "	F, o, l, P
	"Falcata"	Sicilia	F, o, l, G
	"Latinissima"(*)	" "	F, o, m, P (10%)
	"Piccia Luce"	Apulia	F, o, l, P
	"Racemosa"	Sicilia	F, o, m, P
	"Saccarata"	" "	F, o, m, P
Hermafrodita	Injertadas, menos abundantes		
	"Bonifacio"	Sicilia	H, o, l, P (12%)
	"Tantillo"	" "	H, o, m, P
	"Triggianesse"	Apulia	H, c, m, P
	"Schiovinesca"	" "	H, o, m, P
Portugal:			
	"Canela"	Algarve	F P
	"Galhosa"	" "	F P
	"Mulata"(*)	" "	F, o, m, P (13%)
Grecia:			
	"Banturia"		
	"Kandia"(*)	Grecia y Creta	F, c P
Turquía:			
Silvestre	Espontáneas	Costa mediterr.	F, c, m, G
Carnosa	Injertadas	" " " "	F, o, l, P
Sisam	" "	Esmirna (Izmir)	F, o, c, P
Chipre:			
Imera	Injertadas y con fruto de calidad		
	"Koumbota"	Kárpas	F, o, l, P (9%)
	"Koundourka"	" "	F, o, c, G (15%)
	"Tylliria"(*)	Toda la isla	F, o, m, P (9%)
Agria	Espontáneas y con fruto delgado		
Apostolika	" " " " " " de calidad		
Tunicia:			
	"Sfax"		HF, c, l, P (11%)
Estados Unidos:			
Hermafrodita	"Bolser"	California	H
	"Santa Fe"(*)	" "	H, c, m, P (10%)

Inflorescencia: F=femenina, H=hermafrodita; Color fruto: o=oscuro, c=claro; Tamaño: l=largo, m=mediano, c=corto; Aprovechamiento: P=pulpa, G=garrofin; (%)=Rdto. en garrofin; (*): Producción mayoritaria.

y las características del fruto (sexo de la inflorescencia, color, tamaño, aprovenchamiento y rendimiento en garrofín).

La ordenación de las denominaciones dentro de cada grupo se ha realizado alfabéticamente, sin tener en cuenta la importancia relativa de cada una de ellas, puesto que en muchos casos no se dispone de información contrastada. No obstante, en los casos en los que resultó conocida, se ha señalado la denominación varietal de producción mayoritaria.

La información utilizada en la elaboración del Cuadro I.7.1., corresponde por países a: Italia (Morettini, 1963 y Spina, 1989), Portugal (Colaco *et al.*, 1988), Grecia (Spina, 1989), Turquía (Vardar *et al.*, 1980), Chipre (Orphanos y Papaconstantinou, 1969), Tunicia (Spina, 1989 y Tous y Batlle, 1990) y finalmente Estados Unidos (Spina, 1989 y Tous y Batlle, 1990). Información sobre otros países de menor producción puede ser obtenida de estas mismas fuentes.

7.4. CLASIFICACION DE VARIEDADES ESPAÑOLAS

En lo que se refiere a la situación del material vegetal autóctono, España presenta una gran diversidad de "variedades" o "cultivares" de Algarrobo, que han sido estudiadas por diversos autores, entre los que destacan: Caja *et al.* (1984), Batlle (1985), Tous (1985), Spina (1989) y Tous y Batlle (1990).

En el Cuadro I.7.2. se presentan las denominaciones más representativas de las distintas Comunidades Autónomas productoras de Garrofa. La información utilizada en la elaboración de este cuadro, ha sido, por Comunidades Autónomas: Baleares (Caja *et al.*, 1984), Catalunya (Batlle, 1985; Tous, 1985 y Tous y Batlle, 1990), Comunidad Valenciana (Tous, 1985; Martínez-Valero *et al.*, 1988; Sánchez-Capuchino *et al.*, 1988, Casanova, 1990 y Tous y Batlle, 1990) y finalmente para Andalucía y Murcia (Martínez-Valero *et al.*, 1988; Rodríguez y Frutos, 1988 y Tous y Batlle, 1990).

La relación de denominaciones, en cada una de las Comunidades Autónomas, se ha realizado teniendo en cuenta la importancia de su producción según Casanova (1990). Debe señalarse por otro lado, que existe muy poca información contrastada en la comparación de variedades, por lo que no es difícil encontrar discrepancias y contradicciones entre algunas de las fuentes consultadas.

Es por todo ello que la contrastación con parámetros objetivos de las poblaciones de Garrofa estudiadas, será uno de los objetivos de esta Tesis.

Cuadro I.7.2.

Principales grupos varietales españoles de Garrofa

Grupos	Denominación	Localización	Características
Baleares:			
	"D'en Bugader"	Mallorca	F, o, m, G (15%)
	"Costella d'ase"	" "	F, c, l, P (12%)
	"Rotge"	" "	F, c, m, P (14%)
	"Durayó"	" "	F, o, m, P (9%)
	"De la mel"	" "	F, c, m, G (15%)
	"Pic de beya"	" "	F, o, m, P (10%)
	"De la canal"	" "	F, c, m, P (9%)
	"Mollar"	" "	F, o, l, P (13%)
Catalunya:			
	"Negra"	Tarragona y Barcelona	F, o, m, P (9%)
	"Rojal"	" " " "	F, o, m, P (11%)
	"Valenciana"	Tarragona	F, c, m, P
	"Costella de ruc"	" "	F, c, l, P
	"Tendral"	" "	F, o, m, P
	"Pom negre"	" "	F, o, m, P
	"Banya de cabra"	Barcelona	F, o, m, P (13%)
Comunidad Valenciana:			
	"Negra"	C. Valenciana	F, o, m, P (10%)
	"Matalafera"	" " "	HF, o, l, P (10%)
	"Costella"	" " "	F, o, l, P (10%)
	"Casuda"	" " "	F P (11%)
	"Melera"	Castellón y Valencia	F, o, m, P (11%)
	"Rocha"	Valencia	F m, P (14%)
	"Rojal"	Castellón	F, o, l, P (11%)
	"Caches"	Valencia	F, o, l, P (11%)
	"Blanca"	Alicante	H l, P (10%)
	"Banyeta"	Castellón	F m, P (14%)
	"Chopo"	Valencia	F P (9%)
	"Lisa"	" "	F c, P (9%)
Andalucía y Murcia:			
	"Ramillete"	Murcia	H, o, m, P (9%)
	"Mollar"	Murcia	F m, P (9%)
	"Fina"	Andalucía y Murcia	F m, P (10%)

Inflorescencia: F=femenina, H=hermafrodita; Color fruto: o=oscuro, c=claro; Tamaño: l=largo, m=mediano, c=corto; Aprovechamiento: P=pulpa, G=garrofín; (%)=Rdto. en garrofín.

8. RECOLECCION, PROCESADO Y OBTENCION DE PRODUCTOS DERIVADOS DE LA GARROFA

8.1. RECOLECCION

La Garrofa, tal como se ha comentado en el apartado I.6.4., correspondiente al crecimiento y desarrollo del fruto, termina su crecimiento con la fase de maduración que dará paso a su recolección.

La maduración comienza por el extremo distal del fruto, avanzando hasta llegar al pedúnculo, considerándose que la Garrofa está ya madura y puede procederse a su recolección, en el momento en que el pedúnculo aparece necrosado. A partir de este momento puede producirse su caída de forma natural. La utilización de productos que producen la abscisión o caída de los frutos, normalmente liberadores de etileno, no resulta conveniente en el caso del Algarrobo, ya que se puede provocar también la caída de las flores de la siguiente cosecha (Merwin, 1981).

La época de recolección varía en función de las características climáticas de la zona y de las variedades cultivadas, realizándose generalmente entre Setiembre y Octubre. Para iniciar la recolección suele recomendarse en la práctica que ya hayan caído al suelo entre una tercera y una cuarta parte de la producción del árbol (Bartra y Jódar, 1985), no debiéndose precipitar nunca esta labor para permitir un adecuado secado de los frutos.

La técnica tradicional de recolección es de tipo manual y se basa en el empleo de varas o cañas alargadas con las que sacudir suavemente las ramas o tocar los frutos para producir así su caída. Este procedimiento, que en ocasiones se ha denominado "ordeño" de las ramas, debe realizarse con sumo cuidado y distinguirse del "vareo" característico de otros cultivos como el almendro o el olivo. Daris (1964), ha descrito la práctica tradicional de recolección, señalando la importancia del ruido que se produce en el golpeo de las ramas para apreciar la calidad del trabajo realizado. Las varas o cañas a utilizar pueden recubrirse con goma o caucho en su extremo, para evitar heridas en el árbol, o dotarlas de un acodo o dispositivo en "T", para facilitar la labor de sacudido de las ramas y de contacto con los frutos (Piccioni, 1970).

La principal razón de extremar los cuidados durante el proceso de recolección, radica en la posibilidad de dañar las inflorescencias jóvenes, correspondientes a la

producción del año siguiente, que se encuentran en las ramas en ese momento.

Aunque se han intentado utilizar diversos métodos mecánicos en la recolección de la Garrofa, como son los vibradores y aspiradores, estos métodos son poco rentables y peligrosos en el caso del Algarrobo, dadas las dificultades del terreno donde suele cultivarse y la extrema facilidad que presentan a la caída, sus inflorescencias, y al desgarramiento, su tronco y ramas.

El procedimiento manual tradicional se ha modernizado con la utilización de mallas y lonas, situadas previamente bajo el árbol y a veces instaladas sobre dispositivos mecánicos, para facilitar la recogida de los frutos derribados y el llenado de los sacos. Los sacos de almacenamiento y transporte de la Garrofa, deben ser de un material que permita una buena aireación (cañamo o arpillera) para completar su desecación.

Las condiciones de recolección pueden hacer variar los contenidos en materias extrañas (tierra, hojas y ramas, etc...) alterando la calidad y rendimientos finales de una partida de Garrofa.

La recolección de la Garrofa es, en la actualidad, uno de los principales factores limitantes de su rentabilidad, ya que al ser un procedimiento manual, precisa de abundante mano de obra lo que encarece notablemente su coste de producción. Por esta razón, la Garrofa se encuentra en recesión en los países de la Cuenca del Mediterráneo, dada la competencia de la Agricultura con otras actividades temporales en la disponibilidad de mano de obra, produciendo en algunos casos que la Garrofa no resulte recolectada.

En situaciones como las comentadas, no debe de olvidarse la práctica tradicional de dejar consumir la Garrofa en el campo al ganado en pastoreo, tal como todavía se realiza en algunas zonas de la isla de Mallorca, en lo que podría considerarse como un aprovechamiento en "dehesa mediterránea".

8.2. ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE LA GARROFA

Los factores anteriormente considerados en la recolección, así como los que a continuación se desarrollan, referentes al almacenamiento y conservación de las Garrofas, condicionan notablemente la evolución de la calidad alimentaria del producto, lo que indudablemente tiene

importantes repercusiones prácticas.

El almacenamiento de la Garrofa se inicia normalmente tras su recogida, con la formación de pilas de sacos en la finca productora o en los almacenes de comerciantes intermediarios. Desde éstos es enviada a las plantas troceadoras, donde se produce la descarga en condiciones de granel y la formación de grandes montones bajo cubierto, mediante la utilización de cañones sopladores o tornillos sinfín.

En el almacenamiento de las Garrofas, resulta recomendable no superar una humedad inicial del 18-20%, asegurando una buena ventilación para que ésta se reduzca a un 15-16% a los 2-3 meses de almacenamiento (Tous y Batlle, 1990). Ante un exceso de humedad, uno de los mayores problemas que se dan en el almacenamiento, es el ataque de la denominada "Polilla de la Garrofa" (Ectomyelois ceratoniae Zell.), cuyas orugas se desarrollan a expensas de la pulpa azucarada, produciendo grandes pérdidas.

La conservación de las Garrofas se realiza de forma más satisfactoria en locales frescos y bien aireados, así como si se realiza previamente su troceado. Piccioni (1970, 1989), señala la liberación de ácido isobutírico, aldehídos y aceites esenciales en la pulpa troceada, con propiedades insecticidas y repelentes de insectos. Dado que muy pocas instalaciones pueden trocear rápidamente la cosecha de Garrofa, dado su carácter estacional, se recomienda la utilización de tratamientos preventivos contra la "Polilla", con productos insecticidas (Batlle, 1985).

8.3. TROCEADO DE LA GARROFA

La operación de troceado, consiste en la separación, mediante métodos mecánicos, de los dos componentes estructurales básicos de la Garrofa, tal como se muestra en la Figura I.8.1., que corresponden a:

- Pulpa de Garrofa o pericarpo
- Garrofin o semilla

Las características de cada uno de ellos y de sus principales elementos estructurales, han sido desarrollados anteriormente en los apartados I.5.6 y I.5.7. La Pulpa corresponde a un 88% (70-95%) del peso de la Garrofa, mientras que el Garrofin al 12% (5-30%).

El troceado se lleva a cabo normalmente en almacenes troceadores, pertenecientes a pequeñas o medianas empresas, y de forma menos frecuente, en cooperativas.

Los molinos más utilizados son los de bolas, completados con una serie de tamices vibratorios. Con este sistema las Garrofas troceadas liberan sus garrofinas que son recogidos en la parte inferior, mientras que la pulpa troceada, de mayor tamaño y menor peso específico, resulta elevada y descargada, mediante una cinta transportadora, por la parte superior. En el último tamizado de los garrofinas puede separarse una pequeña fracción de pulpa en forma de "finos" o harina de elevado valor comercial.

En la denominación tradicional del "Gremio de la Garrofa y Derivados" de la Lonja de Valencia, tal como figura en los facsímiles de los contratos oficiales para la Garrofa y derivados (1953, edición de 1968), se consideran como tipos reconocidos y regulados por el Gremio, además de la "Garrofa entera" (en vaina) y el "Garrofin" a:

* "Garrofa troceada integral": partida y tamizada con parrillas de 18-25 mm, conteniendo un 2% como máximo de garrofin (humedad \leq 16%).

* "Garrofa troceada corriente": idem. a la anterior, con separación de partículas inferiores al garrofin.

* "Garrofa triturada o molida": tamizada a través de un cedazo de 2 mm ϕ (humedad \leq 14%).

* "Garrofa troceada medianos": tamaño intermedio entre la troceada corriente y la molida.

* "Harina o fécula de Garrofa": resultante de la molienda fina de los tipos de Garrofa anteriores, limpios de tierra y materias extrañas (celulosa \leq 5% y humedad \leq 8%).

La Garrofa llega normalmente a la operación de troceado en condiciones higiénico-sanitarias deficientes, arrastrando la pulpa la mayor parte de los cuerpos extraños de la materia prima (tierra, ramas, etc...) y sufriendo la mayor parte de las alteraciones y contaminaciones (roedores, insectos, hongos, bacterias, insecticidas y antifúngicos, etc...) del proceso de almacenamiento (Rutter, 1978; Bottalico, 1979 y Miguel y De Andus, 1982).

En el caso en que la pulpa se destine a alimentación animal su calidad suele estar condicionada por la presencia de elementos extraños, contaminación fúngica o restos de insectos y roedores, así como por su grado de humedad,

aunque no todos ellos afectan de la misma forma al valor nutritivo.

Cuando se desee elaborar productos destinados al consumo humano, será necesario tomar una serie de medidas higiénicas complementarias en el almacenamiento y manipulación de la Garrofa, que según Vidal (1985) corresponden a la separación de las zonas de recepción, almacenamiento y troceado, control estricto de impurezas, humedad y plagas, lavado y posterior secado, anterior al troceado en condiciones adecuadas.

Semejantes problemas de higiene, ocasionados por una manipulación defectuosa en el almacenamiento y en el troceado, pueden encontrarse también en el garrofin y sus subproductos (Souw y Rehm, 1973, 1975 a, b; Cipolla et al., 1976). Por esta razón, se sugiere operar con mayores condiciones higiénicas, realizando pretratamientos a los garrofines antes de proceder a su fragmentación y procesado, para evitar la presencia de agentes contaminantes. También en el caso de la Garrofa ha sido ensayada la irradiación U.V. como medio de preservación durante el almacenamiento (Zehnder y Ettel, 1981).

8.4. PROCESADO Y USOS DE LA PULPA

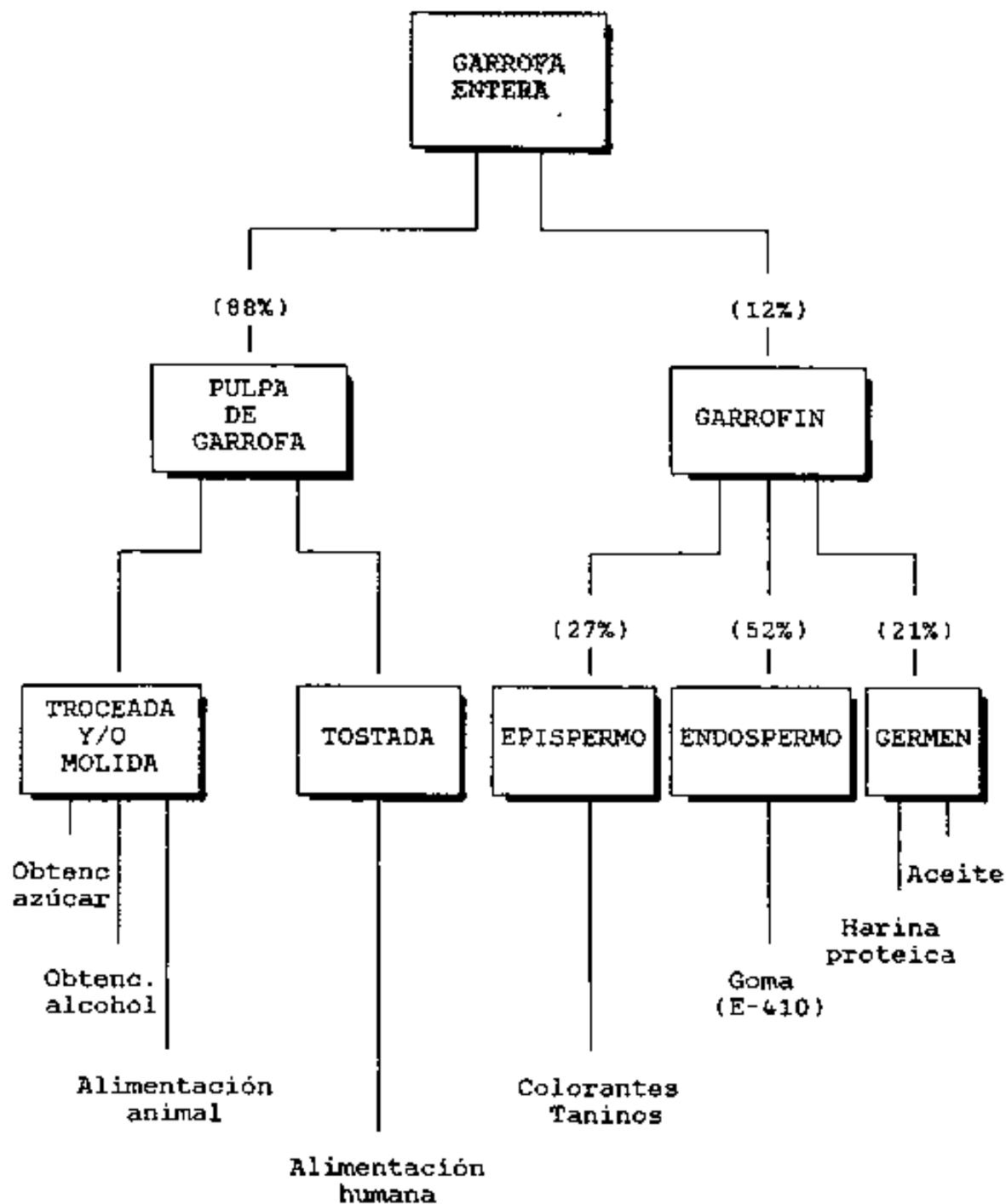
La pulpa de Garrofa que, tal como se ha comentado anteriormente y puede observarse en la Figura I.8.1., es el componente mayoritario de la Garrofa, fue utilizada básicamente en alimentación animal (animales de labor) y ocasionalmente en alimentación humana, en tiempos en los que escaseaban los otros alimentos. Sin embargo, en los últimos 40 años, los usos de la Garrofa, y de sus derivados han aumentado considerablemente, como puede observarse en el Cuadro I.8.1.

De una forma general estos usos pueden ser clasificados en alimenticios (humana y animal) e industriales, no existiendo una utilización característica y que se identifique con la pulpa de Garrofa. El destino de la pulpa, está así condicionado a la coyuntura de precios de la propia Garrofa y a la de los distintos materiales sustitutivos con los que compete.

Por estas razones la utilización más característica sigue siendo como materia prima en la alimentación animal, ya que necesita muy escasas transformaciones.

Figura I.8.1.

Esquema de transformación industrial de la Garrofa



Para su empleo en alimentación animal, la pulpa de Garrofa puede utilizarse directamente, tal como sale del troceado (< 2.5 cm), o molerse y cribarse a diferentes tamaños (de 2.5 cm a 2 mm) para distintos destinos en la fabricación de piensos compuestos, ya sea como un aditivo (edulcorante, aglomerante, etc...) o como uno de los componentes de la ración.

Dado el elevado contenido en azúcares (aproximadamente 50%), lo que produce dificultades de almacenamiento y molido por su gran higroscopicidad y tendencia a la compactación, la pulpa de Garrofa se utiliza en ocasiones en forma de harina molida con granos de cereales (maíz y cebada). Otra alternativa es adicionar productos anticompactantes, como el talco, con las limitaciones de empleo que esto supone, desde un punto de vista legal.

La composición, valor nutritivo y porcentajes de utilización más comunes, de la pulpa de Garrofa y de sus derivados en nutrición animal, será discutido en el apartado I.9., aunque algunas de sus propiedades en alimentación humana pueden también referirse al empleo en animales.

En alimentación humana, la pulpa ha sido utilizada de forma directa, como "harina de Garrofa", o bien más comunmente en la actualidad, en forma de "harina tostada de Garrofa". El empleo de la Garrofa con este fin precisa de una manipulación y procesado en condiciones higiénicas, tal como se ha comentado en el apartado I.8.3.

La harina tostada, se obtiene tras una serie de tratamientos, consistentes en deshidratación con aire caliente, tostado, molido y finalmente un tamizado (Vidal, 1985 y Serra *et al.*, 1988). El producto final tiene un aspecto y sabor similar al polvo de cacao (Blenford, 1979; Meer, 1979; Kenyon *et al.*, 1980 y Norden, 1981), comercializándose con nombres semejantes a éste ("Cacao"), y al que sustituye en panadería y pastelería, obligando a métodos específicos de detección para evitar fraudes (Albright *et al.*, 1978).

La harina tostada de Garrofa se caracteriza por presentar un bajo contenido en grasa y una ausencia casi total de teobromina y cafeína (Craig y Nguyen, 1984), lo que la hace deseable en la sustitución del cacao en los productos infantiles y dietéticos.

La utilización alimentaria de la harina tostada corresponde básicamente a la fabricación de sucedáneos del chocolate, pasteles, dulces y leches adicionadas (Hany, 1974; Williams, 1978; Blendford, 1979; Meer, 1979; Carrilho, 1980; Greenfield *et al.*, 1981 y Pisaturo y Bisagno, 1981), en la elaboración de productos dietéticos (Kuppers y Mura, 1979 a, b; Brown y Connelly, 1980 y Hannigan, 1981)) y en la

Cuadro I.8.1.

Principales productos derivados de la Garrofa y sus usos

Producto	Procesado	Usos
Pulpa troceada	Ninguno	Alimentación de équidos y ruminantes
	Molido	Alimentación humana, de monogástricos y ruminantes intensivos
	Extracción y purificación	Obtención de azúcares y melazas
	Fermentación y destilación	Producción de alcohol y proteína microbiana
	Extracción	Obtención de taninos
Pulpa molida	Lavado, secado, tostado y molido	Sustituto del cacao y elaboración de productos farmacéuticos y dietéticos
Harina integral garrofin	Molido de la semilla	Elaboración de comidas para pequeños animales
Harina o Goma de garrofin (E-410 ó LBG)	Separación del endospermo y purificación	Aditivo alimentario (gelificante, estabilizante, espesante, emulsionante) Industria textil, papelera farmacéutica y cosmética
Germen	Separación del embrión	Alimentación animal y humana. Extracción de aceites
Harina de Germen	Extracción del aceite y molido	Alimentación animal
Taninos	Separación del epispermo y extracción	Curtido de pieles e Industria textil

fabricación de productos farmacéuticos ("Arobón"), por sus propiedades terapéuticas como antidiarreico, mejorador de la absorción del agua, inhibidor del crecimiento bacteriano, antitóxico y como factor de apetibilidad (Ramos, 1941; Tolentino, 1950; Fadkin, 1953; Delvin, 1954; Neyroud, 1963; Font Quer, 1985 y Würsch, 1988).

Ocasionalmente ha sido utilizada también en la elaboración de sustitutos del café (Braxmayer, 1977).

Respecto a su utilización industrial, la pulpa de Garrofa puede emplearse como sustrato para la obtención de diversos compuestos que entran en su constitución o que pueden ser fabricados a partir de ellos (Colaco et al., 1988).

Así, pueden extraerse azúcares, jarabes o melazas, con un alto contenido en sacarosa (Alumot et al., 1980; Lafuente et al., 1961; Cortés et al., 1962 a, b; Primo et al. 1962 y Mulet et al., 1988), o bien dejarlos fermentar para la obtención de alcohol etílico (Longhitano, 1982; Colaco et al., 1988 y Cañellas et al., 1989). Aunque la producción de azúcar no tuvo un gran interés industrial, la obtención de alcohol de Garrofa fue relativamente importante en Italia durante los años 50-60, no resultando competitiva en la actualidad y siendo su producción muy limitada.

El proceso industrial de la fabricación de alcohol a partir de la pulpa, pasa por distintas etapas (maceración y preparación del mosto, siembra de la levadura de fermentación, fermentación del mosto, destilación y rectificación) que han sido descritas por Longhitano (1982) y Piccioni (1989). El rendimiento del proceso oscila entre 20-25 l etanol 97°/100 Kg de pulpa (Daris, 1964; Moretini, 1964 y Cañellas et al., 1989).

En el proceso de obtención del mosto se produce, en primer lugar, un residuo sólido o "Bagazo de pulpa de Garrofa" que junto al residuo sólido de la fermentación u "Orujo de pulpa de Garrofa", pueden ser utilizados en alimentación animal (Piccioni, 1989), como fertilizante, como combustible para la misma destilería o para la preparación de camas calientes en semilleros (Nunes y Barradas, 1980 y Spina, 1989). El "bagazo" es también un subproducto de la obtención de mostos para azucarería (Maymone, 1957).

Los mostos azucarados extraídos de la pulpa o sus residuos de extracción y fermentación, pueden ser también utilizados, previa adición de sales amónicas e inoculando determinadas cepas fúngicas (Aspergillus niger, Fusarium moniliforme, Monascus ruber, Rhizopus oligosporus, entre otras), como sustrato para la producción de proteína microbiana también destinada a la alimentación animal. El

producto resultante tiene un contenido aproximado del 38% de proteína bruta (Inrie y Vlitos, 1975; Drouliskos *et al.*, 1976; Macris y Kokke, 1977; Marakis y Mitrakos, 1980; Marakis, 1985; Marakis y Karagouni, 1985; Colaco y Girio, 1986 y Pou *et al.*, 1988).

Otros productos derivados de la Pulpa, separados de los mostos y melazas por extracción, son los taninos de múltiples usos en la industria textil y de curtidos (Colaco *et al.*, 1988).

8.5. PROCESADO Y USOS DEL GARROFIN

El Garrofin, tal como se ha comentado anteriormente y se expuso en la Figura I.8.1., es otro de los componentes estructurales de la Garrofa que son separados por el proceso de troceado, representando aproximadamente un 12 % de su peso.

El principal destino del garrofin es su procesado industrial para la obtención de la "Harina o Goma de Garrofin" (endospermo), que una vez purificada constituye el aditivo alimentario E-410. En el proceso de obtención se separan los componentes estructurales de la semilla, produciéndose como subproductos el embrión o germen y el epispermo o testa, que serán destinados a otros usos, tal como se indica en el Cuadro I.8.1. y la Figura I.8.1.

La transformación industrial del garrofin, para la obtención de la harina o goma, es un proceso complejo que se realiza en empresas especializadas, por medio de procedimientos fisicoquímicos amparados por patentes. En el proceso seguido, se elimina en primer lugar el epispermo o testa de la semilla por métodos abrasivos de tipo físico o químico. Los primeros métodos que se desarrollaron eran puramente mecánicos (abrasión con muelas), mientras que el método más utilizado actualmente consiste en el tratamiento de los garrofines con ácido sulfúrico en caliente (Salari, 1982 y Gonçalves *et al.*, 1988) y posterior separación de la cubierta. Una vez eliminada la cubierta, se realiza la separación mecánica del germen y del endospermo.

El epispermo o cubierta es rico en taninos y en sustancias colorantes, siendo su destino industrial la obtención de carbón activo, sustancias tánicas para el curtido de pieles y colorantes para la tinción de tejidos.

Otras aplicaciones especiales corresponden a su uso en la industria farmacéutica (fabricación de píldoras, cápsulas y pomadas), cosmética (jabones y cremas de afeitar), textil (aprestos y estampados), química (pinturas, betunes, colas y explosivos) y papelera, tal como han revisado Caja *et al.* (1984), Neukom (1988), Spina (1989) y Tous y Batlle (1990).

9. COMPOSICION DE LA PULPA DE GARROFA

La Pulpa de Garrofa, obtenida habitualmente por el proceso de troceado y desgrane de la vaina descrito en el apartado I.B., corresponde al pericarpo o fracción mayoritaria del fruto del Algarrobo (aproximadamente 80-92% en peso).

Aunque algunos de los subproductos derivados de su procesado industrial son conocidos también con el mismo nombre de "Pulpa de Garrofa" (ver apartado I.10.1.), sólo será considerada como tal la pulpa directamente salida del troceado, que es la utilizada básicamente para alimentación animal y bajo cuyo enfoque será estudiada su composición química y valor nutritivo. No obstante esta orientación es también válida con vistas a su utilización industrial, como sustrato de extracción o fermentación, para la que suelen usarse análogos criterios de valoración.

Habitualmente, junto al pericarpo, la pulpa presenta un mayor o menor número de garrofinos que, en el mercado tradicional de la pulpa para alimentación animal, suelen ser considerados como un defecto (máximo tolerado 2%) por los posibles daños que pueden producir en la dentición de los animales. El troceado y separación de garrofinos, de forma independiente a su posterior utilización en la industria, ha sido siempre recomendado para evitar que las Garrofas enteras dañen el esófago y la boca del ganado (Piccioni, 1989).

En la actualidad, dado el elevado valor económico de la semilla, la presencia de garrofinos en la pulpa troceada debe considerarse más bien como consecuencia de las pérdidas y deficiencias del proceso de separación, que disminuirán el rendimiento en garrofin de las Garrofas, que como un defecto de la pulpa. No obstante debe tenerse en cuenta que, la presencia de semillas enteras de garrofin en la pulpa, eleva principalmente los contenidos en proteína y fibra de las muestras de pulpa, aunque estas semillas enteras no formen propiamente parte de la pulpa y resulten después indigestibles.

Además de la presencia de garrofines, otros factores pueden condicionar también la composición química de la Pulpa de Garrofa, destacando entre ellos: el origen geográfico, la variedad, las condiciones climatológicas y edáficas de la zona de cultivo, el grado de maduración y la modalidad de recolección, así como las técnicas analíticas empleadas en las distintas determinaciones.

Aunque la composición química de la Garrofa varía sustancialmente durante los procesos de desarrollo y maduración del fruto, tal como ha podido observarse en el apartado I.6.4., generalmente las Garrofas recolectadas suelen haber completado su período de maduración y, por consiguiente, presentar una composición relativamente constante. Este hecho permite comparar directamente, en la práctica, Garrofas o pulpas de cosechas de distintos años, variedades, regiones o países.

Respecto a los daños parasitarios ocasionados a las Garrofas enteras o a la pulpa troceada durante su almacenamiento, y en particular en relación al ataque de la "polilla de la Garrofa" (Ectomyelois ceratoniae Zell.), Piccioni (1970) indica que, las variaciones observadas en sus características químicas y nutritivas, son de poca importancia.

La comparación de las principales referencias bibliográficas disponibles, sobre composición y valor nutritivo de la Pulpa de Garrofa, indica la existencia de una cierta confusión en las nomenclatura y metodología de trabajo utilizadas por distintos autores. Así, el MAFF (1976) y INRA (1984a), tal vez por dificultades operativas, valoran la Garrofa como "frutos molidos" (pulpa + semillas). El INRA (1984b), las tablas de alimentos y subproductos mediterráneos (Alibés y Tisserand, 1990) y Martin-Rosset et al. (1990) recogen terminologías confusas o valoraciones incompletas. En otros casos no aparecen ni citados los valores de la Garrofa o de alguno de sus principales derivados en tablas de alimentos de la importancia de las del ARC (1988), INRA (1988) y NRC (1989, 1989), aunque sí aparecía en INRA (1978, 1980).

9.1. ANÁLISIS EN PRINCIPIOS INMEDIATOS

En el Cuadro I.9.1. se presenta, a partir de la revisión bibliográfica realizada, la composición en Principios Inmediatos o de Weende de la Pulpa de Garrofas maduras, según diversos autores y zonas de procedencia, así como también la media general del conjunto de referencias.

Cuadro I.9.1.

Composición en Principios Inmediatos de la Pulpa de Garrofa según distintos autores (g/100g materia seca)

Autor (año)		MS	PB	GB	FB	MM	MELN
Maymone (1957) ^a		81.5	4.0	1.0	6.1	2.5	72.8
Orphanos y Papaconstantinou (1969) ^b		-	4.0	0.2	5.9	3.0	86.9
Davies <i>et al.</i> (1971) ^c		85.0	5.5	0.6	7.6	3.0	83.3
Thomson (1971) ^d		90.0	4.5	0.8	6.8	1.9	84.6
MAFF (1976)		86.0	6.9	1.5	7.6	2.9	81.2
INRA (1978, 1980)		87.0	6.8	0.5	6.0	3.4	83.3
Menezes (1980) ^e		-	4.2	0.9	7.8	3.2	83.9
Vardar <i>et al.</i> (1980) ^f		85.9	4.0	0.4	-	3.6	-
Wolter <i>et al.</i> (1980)		84.6	5.6	-	7.9	4.0	-
Saura-Calixto y Cañellas (1982) ^g		84.4	4.3	0.7	-	2.7	-
Würsch <i>et al.</i> (1984) ^h		94.3	2.8	-	-	2.4	-
Colaco y Girio (1986) ⁱ		-	3.4	0.6	7.5	3.5	85.0
Colaco <i>et al.</i> (1988) ^j		-	3.5	0.2	-	2.4	-
Crescimanno <i>et al.</i> (1988) ^k		85.5	4.2	-	-	2.8	-
Marakis <i>et al.</i> (1988) ^l		-	4.1	0.6	7.0	2.6	85.7
Puchades <i>et al.</i> (1988) ^m		95.8	4.1	2.0	8.1	2.6	83.2
Piccioni (1989) ⁿ		87.0	4.4	0.7	5.7	2.5	73.8
Martin-Rosset (1990)		87.0	5.8	1.1	8.7	3.7	80.7
Intervalo de variación	Mínimo	81.5	2.8	0.2	5.7	1.9	72.8
	Máximo	95.8	6.9	2.0	8.7	3.7	86.9
	Media	87.2	4.6	0.8	7.1	2.9	82.0

(MS= Materia Seca, PB= Proteína Bruta, GB= Grasa Bruta, FB= Fibra Bruta, MM= Materias Minerales o Cenizas, MELN= Materiales Extractivos Libres de Nitrógeno. Origen: ^a= Italia, ^b= Chipre, ^c= California, ^d= Portugal, ^e= Turquía, ^f= España, ^g= Grecia)

En el Cuadro I.9.2. se han agrupado dichos valores y calculada su media por países productores, a fin de facilitar su comparación.

Como puede observarse en el citado Cuadro I.9.1, la Pulpa de Garrofa se caracteriza por presentar, como media, unos elevados contenidos en Materia Seca (MS= 87.2%) y en Materiales Extractivos Libres de Nitrogeno (MELN= 82.0%), siendo sus respectivos intervalos de variación de 81.5-95.8% y 72.8-86.9%, lo que permite clasificarla en las tablas de alimentos junto a los concentrados o subproductos industriales de tipo seco y energético.

En este sentido presenta valores medio-bajos de Fibra Bruta (FB= 7.1%) y muy bajos en Proteína Bruta (PB= 4.6%) y Grasa Bruta (GB= 0.8%), especialmente si se compara con los valores de los cereales pienso. Sus respectivos intervalos máximos de variación fueron de 5.7-8.7%, 2.8-6.9% y 0.2-2.0%. Por último el contenido medio en Cenizas o Materias Minerales es igualmente bajo (MM= 2.9%) y presenta pequeñas variaciones entre las distintas fuentes consultadas.

En general, la magnitud de las diferencias observadas puede ser explicada por efecto del estado de madurez del fruto y las condiciones en las que se realizó la recolección (Materia Seca, Cenizas, etc..), así como también por las diferencias en clima, suelo y prácticas de cultivo. Al analizar los valores obtenidos para cada uno de los países de origen (ver Cuadro I.9.2.), puede observarse que la variabilidad se redujo, a excepción de los casos de MELN y Grasa Bruta. Deben también destacarse los relativamente altos valores de Fibra Bruta en el caso de las Garrofas españolas y portuguesas, en relación al resto de orígenes.

9.2. LOS COMPONENTES DE LA PARED CELULAR

La determinación de los componentes de la pared celular en los alimentos vegetales es de especial importancia en alimentación animal dado que es en esta fracción celular donde se localizan las sustancias de menor digestibilidad.

En la cuantificación y fraccionamiento de los distintos componentes de la pared celular, se recurre normalmente al procedimiento propuesto por Van Soest en 1963 y modificado posteriormente (Van Soest, 1963, Van Soest y Wine, 1967; Goering y Van Soest, 1970 y Van Soest y Robertson, 1985).

El método se basa en separar, mediante la utilización

Cuadro 1.9.2.

Composición en Principios Inmediatos de la Pulpa de Garrofa según su origen (g/100g materia seca)

<u>País de origen</u>	<u>MS</u>	<u>PB</u>	<u>GB</u>	<u>FB</u>	<u>MM</u>	<u>MELN</u>
España	90.1	4.2	1.4	8.1	2.7	83.6
Italia	83.5	4.1	1.0	6.1	2.7	86.1
Turquía	85.9	4.0	0.4	-	3.6	-
Portugal	94.3	3.5	0.6	7.7	2.9	85.3
Grecia	-	4.1	0.6	7.0	2.6	85.7
Chipre	85.0	4.8	0.4	6.8	3.0	85.0
California	90.0	4.5	0.8	6.8	1.9	84.6

(MS= Materia Seca, PB= Proteína Bruta, GB= Grasa Bruta, FB= Fibra Bruta, MM= Materias Minerales o Cenizas, MELN= Materiales Extractivos Libres de Nitrógeno)

Cuadro 1.9.3.

Componentes de la Pared Celular de la Pulpa de Garrofa (g/100g materia seca)

<u>Autor (año)</u>		<u>Hemicelulosa</u>	<u>Celulosa</u>	<u>Lignina</u>
Menezes (1980)		-	10.46	17.95
Wolter <u>et al.</u> (1980)		0.14	11.33	33.06
Colaco y Girio (1986)		0.00	14.70	18.90
Colaco <u>et al.</u> (1986)		1.45	1.90*	28.10
Intervalo de variación	Mínimo	0.00	10.46	17.95
	Máximo	1.45	14.70	33.06
	Media	0.53	12.16	24.50

*: No incluido en el cálculo de la media.

de dos soluciones detergentes (neutro y ácido), la pared o FND (insoluble en detergente neutro) del resto del contenido celular (soluble en detergente neutro) y posteriormente los principales componentes de la fracción fibrosa, distinguiendo entre insolubles o FAD (Celulosa, Lignina, N-lignificado y Sílice) y solubles en detergente ácido (Hemicelulosa y Proteína ligada a la Fibra). En la práctica se considera a la FND como una expresión del valor de la pared celular, lo cual se asimila al contenido en carbohidratos estructurales de un vegetal, aunque en la realidad no es totalmente cierto.

En el caso particular de la Garrofa, el elevado contenido en Taninos de tipo condensado, crea dificultades a la hora de determinar la fracción fibrosa, pudiendo aparecer asociados a otros componentes celulares (pectinas, proteínas, etc.), aumentando así el residuo insoluble tras la acción de las soluciones detergentes.

En el Cuadro I.9.3. se han resumido los principales valores recogidos en la bibliografía referentes al contenido en Hemicelulosa, Celulosa y Lignina de la Pulpa de Garrofa de distintas procedencias. Como puede comprobarse en dicho Cuadro, entre los carbohidratos estructurales presentes en la pulpa, la Celulosa (12.2%) y muy especialmente la Lignina (24.5%) son los que presentan mayores valores. El contenido en Hemicelulosa es prácticamente inapreciable (0.5%), no llegando a superar en ningún caso el 1.5%.

El contenido medio en Lignina (25%) de la Pulpa de Garrofa, resulta especialmente elevado y presenta una importante variación según los autores (18-33%) que debe estar relacionada con los respectivos contenidos en Taninos. Valores análogos pueden observarse en distintos subproductos industriales de semillas oleaginosas (cáscaras de cacahuete y girasol) y de legumbres (pulpa de tomate), al comparar sus resultados en las tablas del INRA (1988).

Por el contrario el contenido medio en Celulosa (12%), presenta valores relativamente semejantes entre autores (10.5-14.7%), si se exceptúa el proporcionado por Colaco *et al.* (1988) de 1.90% que está en total discrepancia con el resto de las referencias bibliográficas.

Otra forma de valorar los carbohidratos estructurales de un alimento, sobre todo en el caso en que se destine a la alimentación humana, es la determinación de la llamada Fibra Dietética (FD). Esta fracción fibrosa de los alimentos es de naturaleza química muy compleja y se corresponde con el conjunto de macromoléculas vegetales que no resulta atacable por los enzimas digestivos humanos. Básicamente se encuentra constituida por polisacáridos no digestibles (celulósicos y no celulósicos) y por la Lignina.

El alto contenido y la poca solubilidad de los Taninos de la Pulpa de Garrofa, por tratarse de taninos condensados, puede llegar a producir importantes errores, por exceso, en los contenidos estimados de Fibra Dietética. Por esta razón resulta necesario completar su valoración con un posterior análisis detallado de las distintas fracciones que la constituyen.

Así, Saura-Calixto (1988) estima unos valores elevados del total de Fibra Dietética (FD= 40.4%) en la pulpa, de la cual un 6.8% corresponde a Fibra Dietética Soluble (FDS) y un 33.6% a Fibra Dietética Insoluble (FDI).

Estas fibras, especialmente en la fracción insoluble (FDI), contienen cantidades elevadas de componentes asociados que no son carbohidratos estructurales y que, en el caso de la Pulpa de Garrofa de Baleares, según Saura-Calixto (1988), corresponden a un 17.8% de Taninos condensados, 0.2% de Taninos solubles y 2.7% de compuestos proteicos, expresado sobre materia seca.

9.3. TANINOS

Los Taninos son compuestos polifenólicos sintetizados por las plantas como un mecanismo de defensa al ataque parasitario de animales (pájaros, roedores, insectos...) o de hongos, bacterias y virus, normalmente como consecuencia de su elevado contenido en nutrientes digestibles. Como tales, los Taninos tienen propiedades antinutritivas, en mayor o menor grado, en las distintas especies de animales domésticos.

Los Taninos pueden además combinarse con proteínas y con otros polímeros celulares, como es el caso de la celulosa, hemicelulosa y pectina, formando complejos estables e indigestibles.

Los Taninos de la Garrofa, al igual que ocurre en la mayor parte de los vegetales, son principalmente de dos tipos: Hidrolizables o solubles (de peso molecular más bajo) y Condensados o insolubles (de elevado peso molecular).

Los Taninos hidrolizables presentan en general una mayor toxicidad que los condensados (Tamir y Alumot, 1970; Mitjavila, 1980), dada su menor capacidad de reacción química. Kumar y Vaithiyanathan (1990) han señalado la existencia de una relación inversa entre la capacidad de precipitación de proteína de los taninos y la palatabilidad, ingestión voluntaria de alimento y digestibilidad de la

materia seca y la proteína, en animales en pastoreo.

En el caso de Garrofas verdes, Magnolato y Schlienger (1980) han señalado, por observación al microscopio óptico, que los Taninos se localizan en células especializadas llamadas "idioblastos taníferos", que pueden ser clasificadas en dos tipos:

* Células pequeñas, aisladas o reunidas en pequeños grupos (2 ó 3 idioblastos), situadas en la zona externa del mesocarpo, cerca de los haces vasculares.

* Células grandes, agrupadas formando islotes de varias células, localizadas en la zona media del mesocarpo.

Por otro lado, en Garrofas maduras, Würsch *et al.* (1984) han observado al microscopio electrónico de barrido la sección de la vaina, señalando la presencia en el mesocarpo de células parenquimatosas lignificadas que contenían gránulos sólidos de Taninos y probablemente asociados, de una forma parcial, a la proteína. Estos gránulos presentaron un elevado peso molecular (2.000-3.000 D), color pardo, aspecto rugoso-cristalino y un diámetro de 20-150 μm . Desde un punto de vista químico correspondieron a Taninos condensados, con un 90% de polifenoles (flavan-3-ol-galato), siendo disociados y solubilizados con gran dificultad.

El contenido y naturaleza de los polifenoles de los Taninos de la Garrofa, como consecuencia de lo señalado anteriormente, varía durante el desarrollo del fruto (Vohra *et al.*, 1966; Tamir y Alumot, 1969; Mitrakos y Lambiri, 1980). Así, las Garrofas verdes son ricas en Leucoantocianos y Catequinas, correspondientes a compuestos fenólicos solubles, mientras que las maduras son preferentemente ricas en fenoles de tipo condensado, altamente polimerizados y consecuentemente apenas solubles en agua. Las Catequinas y Leucoantocianos solubles presentes en los frutos verdes, son posiblemente los precursores de los Taninos condensados de las Garrofas maduras (Nachtomi y Alumot, 1963).

Según Mitrakos y Lambiri (1980), el contenido en fenoles totales de la Garrofa se incrementa durante el proceso de maduración, aumentando la fracción de alto peso molecular (Taninos condensados) y disminuyendo la fracción de bajo peso molecular (Taninos solubles).

Esta observación contradice sin embargo los resultados de Vohra *et al.* (1966), para los que el contenido en Taninos totales en la misma variedad de Garrofas, expresados como Catequina, pasó del 20% en los frutos verdes al 7% en los maduros. No obstante la discrepancia señalada puede ser

debida a diferencias en los métodos de análisis utilizados por los distintos autores.

Según Tamir *et al.* (1971) y Matsuo y Ito (1981), la naturaleza química de los Taninos de la Garrofa corresponde a la siguiente composición:

Catequina-3-galato
Galocatequina
Galocatequina-3-galato

que se encuentran en la proporción de 1:3.3:4.6, en el caso de frutos jóvenes.

Los compuestos fenólicos de las Garrofas verdes, tienen importantes propiedades astringentes, que han justificado la utilización del fruto, desde la antigüedad y en diferentes países, en el tratamiento y la profilaxis de las diarreas (Würsch, 1988).

Los Taninos de la Garrofa influyen negativamente en la digestibilidad de la pulpa de una forma directa, por la baja solubilidad y capacidad de disociación, y de una forma indirecta por los efectos antinutricionales y antidigestivos que producen, pudiendo afectar gravemente al crecimiento de los animales consumidores (Glick y Joslyn, 1970, Piva *et al.*, 1978).

Según Tamir y Alumot (1970), los Taninos de la Garrofa, pueden afectar al crecimiento de los animales por dos razones principales, que corresponden a su sabor amargo y astringente, el cual hace disminuir la ingestión de alimento, y a la formación de un complejo estable de Proteína-Tanino, que hace a la proteína resistente a la digestión enzimática. En estos casos se presenta una baja digestibilidad de la proteína y un importante incremento del Nitrógeno fecal.

Semejantes conclusiones han sido puestas de manifiesto por Kumar y Vaithiyathan (1990) señalando importantes reducciones en la palatabilidad, ingestión voluntaria de alimento y digestibilidad de la materia seca y la proteína, en animales en pastoreo alimentados con hojas de árboles de diferentes contenidos en Taninos.

Saura-Calixto (1988), al estudiar el efecto de los Taninos condensados de la Pulpa de Garrofa en el análisis de la Fibra Dietética, observó que aproximadamente el 94% de los compuestos de tipo fenólico se encuentran en el residuo insoluble del análisis de la Fibra Dietética, lo que indica claramente su baja digestibilidad.

Sin embargo, los efectos de los Taninos en la disminución de la ingestión se observan únicamente, de forma

clara en el caso de Garrofas verdes, mientras que, la aparición de una fracción de Nitrógeno insoluble en las heces, puede apreciarse en todos los casos.

En ensayos realizados en rumen artificial (Tagari *et al.*, 1965), se ha observado que los taninos de la Garrofa producen inhibición de la actividad proteolítica de los microorganismos del rumen, posiblemente por efecto de la formación de complejos insolubles con la proteína o con los enzimas proteolíticos microbianos, o bien por el bloqueo del crecimiento y la síntesis de los microorganismos del rumen.

En condiciones *in vivo*, Kumar y Vaithyanathan (1990) han indicado efectos bactericidas y bacteriostáticos a nivel ruminal, inactivando distintos enzimas (carboxi-metil celulasa, proteasas, glutamato deshidrogenasa, etc..) y reduciendo la disponibilidad de S y Fe.

Este efecto inhibitorio de los Taninos en la actividad biosintética de los microorganismos del rumen, puede ser compensado en ocasiones por los efectos estimuladores de la elevada fracción de azúcares rápidamente fermentescibles que contiene la Garrofa. Sin embargo, cuando las concentraciones de Taninos son elevadas, el efecto tóxico y antinutritivo no puede llegar a ser eliminado (Tagari *et al.*, 1965).

En términos generales los Taninos reducen el crecimiento y empeoran el índice de conversión de la ración, produciendo un deterioro de la mucosa intestinal, inhibición de la actividad enzimática de la tripsina, amilasas y celulasas y, en especial, la disminución de la utilización de cationes, proteínas y aminoácidos, especialmente la Prolina (Price y Butler, 1980; Deshpande *et al.*, 1986).

Algunas especies animales (ciervo, rata, ratón, etc..) poseen un mecanismo de defensa, ante el consumo de Taninos, consistente en la secreción salivar de Proteínas de alto contenido en Prolina, aunque en cantidades limitadas (Kumar y Vaithyanathan, 1990).

No obstante, en el caso de los ruminantes se ha descrito un efecto beneficioso de los Taninos como agente ruminal antiespumante, a fin de reducir los efectos del meteorismo producido por la ingestión de leguminosas forrajeras (Clarke y Reid, 1970).

Las referencias bibliográficas existentes sobre la metodología de análisis de Taninos son muy variadas, lo cual es consecuencia de su gran heterogeneidad y complejidad estructural, no disponiéndose de métodos de análisis que sean completamente satisfactorios o que puedan ser aplicados indistintamente a cualquier alimento (Deshpande *et al.*, 1986; Okuda *et al.*, 1989).

Esta ausencia de un método único o de referencia para el análisis de los Taninos da lugar a una gran disparidad de resultados. Así, dado que los Taninos de la Garrofa son compuestos complejos, de naturaleza mal conocida y de difícil extracción y valoración, los resultados analíticos obtenidos varían notablemente según la metodología de extracción empleada y la sustancia de referencia utilizada en la valoración, entre otros factores.

En el Cuadro I.9.4., se presentan los resultados obtenidos de la bibliografía, referentes al contenido en Taninos de Garrofas maduras, señalándose su origen, el método de extracción y de análisis utilizado, así como la sustancia de referencia o estándar empleado en la valoración.

Tal como puede ser observado en dicho Cuadro, los valores recogidos indican una gran variabilidad en el contenido en Taninos de la Pulpa de Garrofa (1.7-19.2%), debiendo distinguirse al menos entre Taninos Solubles o Hidrolizables y Totales, sin que pueda hablarse de un valor medio a la vista de los datos disponibles.

Así, el contenido en Taninos Solubles parece ser que se encuentra en torno al 4% (Saura-Calixto y Cañellas, 1982; Mulet *et al.* 1988), mientras que el contenido medio en Taninos Totales se podría situar entre el 10-20%. La cifra de Taninos Solubles es especialmente importante a efectos de su utilización en Alimentación Animal, tal como se discute en el apartado I.10.

Sin embargo, no todas las diferencias señaladas en el contenido en Taninos se deben a la metodología de análisis utilizada, pudiendo atribuirse algunas de ellas a las características propias de las variedades de Garrofa, tal como ha indicado Würsch (1988). Para este autor, las variaciones en el contenido en Taninos, estimados como polifenoles por métodos gravimétricos, de Garrofas de distinto origen y año de cosecha, se sitúan entre 11-15% según la procedencia del material analizado.

Las diferencias en el contenido en Taninos entre variedades son conocidas desde antiguo, aunque en ocasiones se confunden con las diferencias en el contenido en azúcares, clasificándose las Garrofas por su sabor astringente y apeticibilidad para el ganado.

La coloración rojiza de hojas, frutos y flores acostumbra a estar relacionada con la presencia de sustancias de naturaleza polifenólica, consideradas como Taninos condensados (Rosenheim, 1920; Weinges, 1969; Matsuo y Ito, 1981). La presencia de estas sustancias en la Pulpa de Garrofa, le dan una coloración rojiza oscura o pardo ferruginosa característica. Es por tanto muy posible que, el

Cuadro I.9.4.

Contenido en Taninos de la Pulpa de Garrofa según distintos autores y métodos de análisis (g/100g materia seca)

Autor (año)	Método	Estándar	Taninos
Tamir <i>et al.</i> (1971) ^a	Folin-Denis	Taninos	4.0
Vohra <i>et al.</i> (1966)	" "	Catequina	6.7
Würsch (1979) ^b	" "	" " "	10.0
Würsch <i>et al.</i> (1984) ^b	" "	" " "	18.6
Saura-Calixto y Cañellas (1982) ^b	AOAC 30.018	D-Catequina	3.8 ^c
Saura-Calixto (1988) ^b	Folin-Denis	" " "	19.2
Colaco y Girio (1986) ^c	Maxon y Rooney	Ac. Tánico	13.4
Colaco <i>et al.</i> (1988) ^b	NFV 03-751	" " "	1.7
Marakis <i>et al.</i> (1988) ^c	Folin-Denis	" " "	5.5
Mulet <i>et al.</i> (1988) ^b	" "	" " "	3.8 ^c

*: Sólo cuantifica Taninos solubles ; Origen: ^a= Israel, ^b= Portugal, ^c= España, ^d= Grecia.

Cuadro I.9.5.

Contenido en Azúcares de la Pulpa de Garrofa (g/100g materia seca)

Autor (año)	Az.Totales	Reductores	Sacarosa	
Colaco y Girio (1986)	46.6	16.5	30.1	
Davies <i>et al.</i> (1971)	50.0	11.2	39.3	
Marakis <i>et al.</i> (1988)	45.7	9.7	36.0	
Orphanos y Papacons- tantinou (1969)	50.5	11.2	39.3	
Saura-Calixto y Cañellas (1982)	41.1	14.8	26.3	
Thomson (1971)	45.3	11.9	33.4	
Vardar <i>et al.</i> (1980)	38.2	10.8	27.4	
Intervalo de variación	Mínimo	38.2	9.7	26.3
	Máximo	50.5	16.5	39.3
	Media	45.3	12.3	33.1

contenido en estos Taninos condensados, esté directamente relacionado con la coloración de la pulpa, por lo cual las llamadas variedades de pulpa oscura o "pasta negra", deberían presentar superiores contenidos en Taninos.

9.4. AZUCARES

El elevado contenido en MELN de la Pulpa de Garrofa, cuyo valor medio e intervalo de variación correspondieron a 82.0% (72.8-86.9%), tal como se observa en el Cuadro I.9.1., se atribuye fundamentalmente a un elevado contenido en Azúcares, y no a Almidones como en ocasiones se ha recogido (Martin-Rosset, 1990), lo que confiere a la Garrofa características particulares para su empleo en Alimentación Animal.

El contenido de Azúcares Totales de la Pulpa de Garrofa, como puede verse en el Cuadro I.9.5., presenta un valor medio de 45.3% (38.2-50.5%), sobre materia seca, lo que supone casi un 55% del total de MELN estimados en el análisis de Principios Inmediatos de Weende.

De estos Azúcares, tal como ha sido recogido también en el Cuadro I.9.5, el 12.3% (9.7-16.5%) corresponde a Azúcares Reductores y el 33.0% (26.3-39.3%) a Azúcares no Reductores.

Los principales Azúcares detectados en el caso de la Pulpa de Garrofa se identifican como: Sacarosa, Glucosa, Fructosa y Maltosa. Mientras que la Glucosa es el único azúcar presente en los frutos jóvenes, la Sacarosa se va incrementando gradualmente hasta alcanzar el 74% del total de azúcares, en el fruto maduro (Davies *et al.*, 1971). Resulta así que, el contenido en Azúcares Totales de la Pulpa de Garrofa, se reparte en aproximadamente 2/3 de Sacarosa y 1/3 a la suma de Glucosa, Fructosa y Maltosa. En general suele admitirse también una relación Sacarosa: Glucosa: Fructosa: Maltosa de 6:1:1:0.7, respectivamente.

Dado que entre los principales Azúcares presentes en la Garrofa, sólo la Sacarosa es un Azúcar no Reductor, puede por tanto asumirse que la fracción de azúcares no reductores es fundamentalmente Sacarosa, tal como han indicado Orphanos y Papaconstantinou (1969). En consecuencia el contenido medio en Sacarosa de la Pulpa de Garrofa, como puede observarse en el Cuadro I.9.5., es del 33.1% (26.3-39.3%).

La cantidad y proporción de Azúcares Totales y de Sacarosa de la Pulpa de Garrofa varían sin embargo según la variedad, el estado de madurez, las características del

terreno y las condiciones climatológicas.

Aunque la Sacarosa o azúcar común, se obtiene en la práctica industrial de la Caña de Azúcar (Saccharum officinarum L.) o de la remolacha azucarera (Beta vulgaris L.), sin embargo la Garrofa presenta contenidos en azúcar muy similares, y en algunos casos incluso superiores, a los de estos productos.

Fundamentalmente los azúcares de la Garrofa son aprovechados para la obtención de Sacarosa purificada o para la obtención conjunta de los azúcares en forma de jarabe o melaza de Garrofa.

El principal inconveniente que se encuentra en el aprovechamiento de los azúcares de la Garrofa reside en su extracción y su purificación, especialmente para la eliminación del color (pardo rojizo) y las impurezas (taninos, ácido butírico, etc..) a las que fundamentalmente se deben la astringencia y el olor típico del azúcar obtenido a partir de la Garrofa (Lafuente et al., 1961; Mulet et al., 1988).

El alto contenido en Glucosa que presenta la Garrofa, dificulta por otro lado la cristalización de la Sacarosa en los procesos de purificación por procedimientos convencionales.

No obstante la separación y posterior cristalización de la Sacarosa puede realizarse por métodos modernos, como la cromatografía de intercambio iónico, aunque el proceso es demasiado costoso para ser aplicado a la extracción de azúcar de la Garrofa a nivel comercial (Alumot et al., 1980).

9.5. COMPOSICION MINERAL

La fracción mineral, tal como se ha comentado en el apartado I.9.1., es relativamente constante y de pequeña importancia en el caso de la Pulpa de Garrofa (MM= 2.9%), siempre que su contaminación con materiales terrosos sea escasa. En el Cuadro I.9.6. se ha recogido la composición de dicha fracción, en los principales macro y microelementos minerales de interés en alimentación animal, a partir de los contenidos medios indicados por Saura-Calixto y Cañellas (1982) y Puchades et al. (1988).

Como puede observarse en dicho Cuadro, los elementos minerales más abundantes en la Pulpa de Garrofa son el K

Cuadro I.9.5.

Composición mineral de la Pulpa de Garrofa

Macrominerales (g/Kg MS)

Autor (año)		Ca	P	Mg	Na	K
MAFF (1976)		7.6	1.2	0.5	0.3	6.4
Piva <i>et al.</i> (1978)		3.7	0.7	0.6	-	6.9
Saura-Calixto y Cañellas (1982)		3.1	-	0.4	0.1	11.1
Puchades <i>et al.</i> (1988)		3.0	0.5	0.6	-	8.2
Piccioni (1989)		3.3	6.9*	6.9*	-	-
Intervalo de variación	Mínimo	3.0	0.5	0.4	0.1	6.4
	Máximo	7.6	1.2	0.6	0.3	11.1
	Media	4.1	0.8	0.5	0.2	8.2

Microminerales (mg/Kg MS)

Autor (año)		Fe	Zn	Mn	Cu
Piva <i>et al.</i> (1978)		43*	19	7	7
Saura-Calixto y Cañellas (1982)		10	6	4	2
Puchades <i>et al.</i> (1988)		6	8	11	2
Media		8	11	7	4

*: No incluido en el cálculo de la media

(0.82%) y Ca (0.41%), siendo su valor en Ca de tipo medio, superior a los granos de cereales y comparable a los de leguminosas y otros subproductos industriales de uso alimentario (Harinas de Torta de Soja, Girasol, Lino, Glutenfeed, Bagazo de cerveza, Melazas de remolacha, etc.), al compararlos con los valores de las Tablas del INRA (1988).

Sin embargo, en relación a estos mismos alimentos, la Pulpa de Garrofa resulta especialmente pobre en P (0.08%), presentando valores comparables a la melaza de remolacha y pulpa de manzana.

Los valores citados por Piccioni (1989), referentes a la composición en Fósforo y Magnesio (0.69%) de la Pulpa de Garrofas italianas, no se ajustan a los obtenidos en el resto de la bibliografía consultada.

En relación a los microminerales, la Pulpa de Garrofa presenta valores bajos en el caso del Cu (4.mg/kg), pero semejantes a los granos de cereales, y muy bajos especialmente en sus contenidos en Zn (11 mg/Kg) y Mn (7 mg/Kg), al compararlos con los de los alimentos antes citados (INRA, 1988). No obstante, debe señalarse que la metodología de análisis introduce, también en este caso, una importante fuente de variación entre las distintas referencias bibliográficas.

Sin embargo, al comparar distintas variedades de Garrofas de la Comunidad Valenciana entre sí, Puchades *et al.* (1988) han señalado importantes diferencias en su composición mineral, destacando los intervalos de variación en los contenidos en los principales macrominerales (Ca: 2.68-3.39, P: 0.31-0.68, Mg: 0.41-0.81 y K: 7.43-8.60 g/kg de materia seca) y en microminerales (Fe: 3.3-10.5, Zn: 5.2-12.4, Mn: 8.5-13.5 y Cu: 1.5-2.6 mg/K g de materia seca), que no pueden ser atribuidas en este caso a la metodología de análisis.

9.6. OTROS COMPONENTES

9.6.1. AMINOACIDOS

Las referencias disponibles sobre la composición en aminoácidos (AA) de la Pulpa de Garrofa son escasas y, en ocasiones, no atribuibles exactamente a la pulpa obtenida después del troceado y separación de los garrofines. No obstante, dado el bajo nivel de proteína de la pulpa y su

Cuadro L.9.7.

Composición en Aminoácidos de la Pulpa de Garrofa
(g/100g materia seca)

Aminoácidos	Pulpa ¹	FDI de Pulpa ²	(3)
Lisina	0.184	0.116	(4.3)
Histidina	-	0.103	(3.8)
Arginina	-	0.086	(3.2)
Triptófano	0.026	-	-
Ac. Aspártico	-	0.269	(10.2)
Treonina	0.020	0.132	(4.9)
Serina	-	0.179	(6.7)
Ac. Glutámico	-	0.233	(8.7)
Prolina	-	0.459	(17.1)
Hidroxiprolina	-	0.067	(2.5)
Glicina	-	0.093	(3.5)
Alanina	-	0.208	(7.7)
Cistina	-	0.014	(0.5)
Metionina	0.018	0.036	(1.3)
Metionina + Cistina	0.064	0.050	(1.8)
Valina	-	0.233	(8.6)
Isoleucina	-	0.110	(4.1)
Leucina	-	0.215	(8.0)
Tirosina	-	0.070	(2.6)
Fenilalanina	-	0.070	(2.6)
AA Esenciales	-	1.184	(43.9)
AA Totales	-	2.692	(100.0)

FDI= Fibra Dietética Insoluble, AA= Aminoácidos; ¹: Piccioni (1989), ²: Saura-Calixto (1988), (3): g/100g Proteína Bruta.

escasa digestibilidad, por el elevado contenido en Taninos, la composición en AA es, en la práctica, poco importante. A esta situación se añade la relativa baja calidad de la proteína de la Pulpa de Garrofa, tal como indica Piccioni (1989).

Los principales valores de AA de la pulpa han sido recogidos por Piccioni (1989), para algunos de los AA limitantes, tal como se indica en el Cuadro I.9.7. Estos valores resultan semejantes a los indicados por Saura-Calixto (1988), para la fracción de proteína (2.7 g/100g pulpa seca) del residuo insoluble de la Fibra Dietética (FDI) anteriormente comentada, por lo que han sido también recogidos en el Cuadro I.9.7. a efectos de comparación.

Por otro lado, Vardar *et al.* (1980) han comparado la composición en Valina, Tirosina, Leucina, Prolina, Fenilalanina y Glicina, de distintas variedades de Garrofas, indicando escasas variaciones entre ellas.

En los valores de aminoácidos referidos por Saura-Calixto (1988), destaca especialmente el elevado contenido en Prolina en la Pulpa de Garrofa, que supone un 17% del total de aminoácidos, y que inusualmente supera los contenidos en Acido Glutámico y Acido Aspártico. Estos resultados parecen consecuencia de la relación de la fracción proteica analizada con las proteínas de la pared celular, tal como señala el propio Saura-Calixto (1988).

9.6.2. ACIDOS GRASOS

Aunque el valor medio de Grasa Bruta de la Pulpa de Garrofa, tal como se ha comentado en el apartado I.9.1., resulta muy reducido (GB= 0.8%). Puchades *et al.* (1988) han señalado valores del 2.0%, con la ayuda de agentes dispersantes. Estos resultados podrían indicar contenidos en Lípidos Totales superiores a los determinados por el Extracto Etéreo, tal como ocurre en otros alimentos vegetales, pero sus valores siguen siendo igualmente bajos.

Respecto a la composición en ácidos grasos de los lípidos de la Garrofa, Marakis *et al.* (1988), al analizar la fracción de Ácidos Grasos de cadena larga (C_{12-18}), han observado elevados valores en los Ácidos Grasos Saturados (64%), predominando el Palmítico (C_{16}) y el Estearico (C_{18}), con valores relativos de 29.7% (13.3-44.8%) y 34.4% (25.2-44.8%), respectivamente.

Entre los Ácidos Grasos Insaturados, el Oleico ($C_{18:1}$)

fue el más importante, con valores medios de 26.3% (15.5-46.1%). Los valores de los Acidos Grasos poli-Insaturados, Linoleico (C_{18:2}) y Linolénico (C_{18:3}), fueron relativamente bajos (1.2-17.4%).

Debe señalarse por otro lado la importancia del iso-Butírico (i-C₄) en la Pulpa de Garrofa, producido por oxidación tras el troceado de la Garrofa (Piccioni, 1970, 1989), que por sus características de Acido Graso Volátil es un factor fundamental del olor característico de la Garrofa, tal como se comentó en el apartado I.8.

9.6.3. VITAMINAS

El contenido vitamínico fundamental de la Pulpa de Garrofa, según Piccioni (1970, 1989), corresponde a las vitaminas: C (40-50 mg/100g), B₁ (50 ug/100g) y E (300 ug/100g), expresado en peso fresco.

9.7. VALOR CALORICO

El valor calórico de la Pulpa de Garrofa, estimado por su Energía Bruta, es de aproximadamente 4.22 Mcal/kg de materia seca según el INRA (1978, 1980), equivalentes a 17.66 MJ/kg. El MAFF (1976), cita un valor ligeramente superior de 18 MJ/Kg, en este caso la determinación se realizó del fruto entero, incluyéndose las semillas cuyo contenido en Grasa y Proteína elevaría el valor calórico total.

Este valor, resulta semejante al de la fécula de Patata deshidratada y al de muchos forrajes, pero es inferior al de los granos de cereales, semillas oleo-proteaginosas y subproductos industriales, a excepción de las melazas de la Caña de azúcar y de la Remolacha, dado su elevado contenido en cenizas.

La principal razón de este relativamente bajo valor calórico de la Pulpa de Garrofa como concentrado energético, se debe tal como puede observarse en el Cuadro I.9.1. y ha sido discutido en el apartado I.9.1., a su propia composición química,

Son especialmente bajos los aportes energéticos de la

Grasa (8 g/Kg x 9.5 Mcal/kg = 76 Mcal/Kg) y de la Proteína (46 g/Kg x 5.7 Mcal/kg = 262.2 Mcal/Kg), mientras que presenta un elevado contenido en Sacarosa (331 g/Kg x 3.95 Mcal/kg = 1307.5 Mcal/Kg) y otros Materiales Extractivos Libres de Nitrógeno (489 g/Kg x 4.2 Mcal/kg = 2053.8 Mcal/Kg).

10. VALOR NUTRITIVO DE LA PULPA DE GARROFA

10.1. PROBLEMATICA DEL EMPLEO DE LA PULPA DE GARROFA

La Pulpa de Garrofa, tal como ha sido comentado anteriormente (apartado I.9.), presenta las características físico-químicas de un concentrado seco de tipo energético, en el que debe destacarse su elevado contenido en azúcares fácilmente fermentescibles y, sobre todo, el contenido en Sacarosa.

Los principales inconvenientes que presenta la Pulpa de Garrofa para su utilización en Alimentación Animal están basados en su relativamente bajo Valor Calórico (apartado I.9.7.) y Proteico (apartados I.9.1. y I.9.6.1.), así como su elevado contenido en Taninos (apartado I.9.3.), habiendo sido revisados por Piccioni (1970, 1989), Piva (1982) y Caja (1985), entre otros autores.

Los Taninos, al formar complejos estables con la Proteína que son resistentes a la acción de los enzimas digestivos, agravan los efectos del bajo contenido en Proteína Bruta que aparece así mayoritariamente en el residuo insoluble de la Fibra Dietética (Saura-Calixto, 1988), además de producir efectos tóxicos y antidigestivos. Esto ha llevado a considerar que, de una forma general y a efectos prácticos, sólo resultaría básicamente aprovechable la fracción de Azúcares de la Pulpa de Garrofa.

Este planteamiento conservador, aunque puede resultar adecuado en algunas ocasiones, debe considerarse que está condicionado a las características químicas de la variedad de Garrofa utilizada y a la especie animal en que se aplique.

En todos los casos, se entenderá que la Pulpa de Garrofa debe proceder de Garrofas bien maduras, a fin de que presenten el menor contenido posible en Taninos Solubles o

Hidrolizables, tal como ha sido anteriormente discutido en el apartado I.9.3.

Así, si se admite como media un contenido en Taninos Solubles (TS) o Hidrolizables de 4 g/100g de materia seca (Saura-Calixto y Cañellas, 1982; Mulet *et al.* 1988) y se considera que, según Kumar y Vaithiyanathan (1990), la aparición de efectos tóxicos se produce a partir de 0.9 gTS/kg peso vivo en ganado ovino, la ingestión de Pulpa de Garrofa no debería superar aproximadamente los 25 g/kg de peso vivo, en las especies ganaderas convencionales. No obstante el efecto negativo de los Taninos puede ser reducido por medio de aditivos o tratamientos especiales, como el PEG (Polietilen-glicol-4000) según Kumar y Vaithiyanathan (1990), aunque no resulte rentable en la práctica.

Otros aspectos importantes a tener en cuenta en el empleo de la Pulpa de Garrofa y que pueden originar problemas de utilización, son su gran higroscopicidad, que origina su apelmazamiento durante el almacenamiento, y las dificultades de molido derivadas de su elevado contenido en azúcares. Sin embargo estos aspectos pueden ser evitados con la adición de talco, entre otros aditivos, y el molido conjunto con otros productos, tal como se ha indicado en el apartado I.8. En estos casos la Pulpa de Garrofa reduce la formación de polvo y aumenta la dureza del gránulo, en los piensos fabricados.

La Pulpa de Garrofa presenta también, sin embargo, otros efectos positivos que pueden hacer especialmente interesante su utilización en Alimentación Animal. Pueden destacarse así, sus características nutritivas de rápido suministro energético y las propiedades edulcorantes, saborizantes, reguladoras del tránsito digestivo y propiedades antidiarreicas y antitimpánicas, a dosis controladas, entre otras.

Estos aspectos nutritivos, así como las principales recomendaciones de uso encontradas en la bibliografía, serán discutidas a continuación, para algunas de las más importantes especies animales de interés ganadero. Los valores nutritivos, energéticos y proteicos, propuestos por diversos autores, se han resumido en los Cuadros I.10.1 y I.10.2.

Cuadro I.10.1.

Valor nutritivo energético de la Pulpa de Garrofa
(por kg de materia fresca)

Autor (año)	UA	UF	UFL	UFV	UFC	ED	EM
RUMIANTES:							
Piccioni (1970)	0.487	0.697	-	-	-	-	-
" " (1989)	-	0.999	-	-	-	-	-
INRA (1978, 1980) ¹	-	-	0.92	0.91	-	3.40	2.90
MAFF (1976) ²	-	-	-	-	-	-	2.83
EQUINO:							
INRA (1984 b) ³	-	-	-	-	0.64	2.07	1.88
Martin-Rosset (1990) ⁴	-	-	-	-	0.64	-	-
PORCINO:							
INRA (1984 a) ⁵	-	-	-	-	-	1.99	1.95
Piccioni (1989)	-	-	-	-	-	2.82	-
AVES:							
INRA (1985) ⁶	-	-	-	-	-	-	-
Bornstein <i>et al.</i> (1965)	-	-	-	-	-	-	1.30 1.00*

UA= Unidades Almidón, UF= Unidades Forrajeras (Leroy), UFL= UF leche, UFLV= UF carne, UFC= UF caballos, ED= Energía Digestible (Mcal/kg), EM= Energía Metabolizable (Mcal/kg), ¹: 87% de materia seca, ²: 86% de materia seca e incluye semillas molidas, ³: Energía Productiva (Mcal EP/kg).

10.2. VALOR NUTRITIVO EN RUMIANTES

La Pulpa de Garrofa ha sido habitualmente utilizada en la alimentación de rumiantes, habiendo sido valorada por el INRA (1978, 1980) y recogida por Piccioni (1970, 1989). Sin embargo no figura en las tablas de la edición del INRA (1988), como ya ha sido comentado.

En general suele admitirse que los efectos depresivos observados en monogástricos, principalmente en cerdos y aves, por los Taninos de la Pulpa de Garrofa son raros en las especies rumiantes (bovino, ovino y caprino).

A efectos nutritivos no suele distinguirse entre ovino y bovino, si bien la mayor parte de los trabajos realizados se han llevado a cabo en ganado ovino. Se admite así que en general los Coeficientes de Digestibilidad de la Pulpa de Garrofa son elevados en los rumiantes, a excepción de los bajos valores de la Grasa Bruta (52%) y los medios de la Fibra (60%) y Proteína Bruta (68%), tal como puede observarse en los datos del INRA (1978, 1980) recogidos en el Cuadro I.10.3.

Los valores superiores de digestibilidad propuestos por el MAFF (1976) deben entenderse como una consecuencia de la inclusión de semillas en la Pulpa de Garrofa y que, al estar molidas, resultarían digestibles.

Para paliar los efectos de la falta de proteína en la Pulpa de Garrofa, Alumot *et al.* (1980) han propuesto la realización de ensilados de pulpa y "gallinaza" para su posterior utilización en la alimentación de rumiantes.

Los valores energéticos citados en el Cuadro I.10.1 sitúan la Energía Neta para rumiantes de la Pulpa de Garrofa entre 0.70-1.00 UF/kg (Piccioni, 1970, 1989) y 0.92 UFL/kg-0.91 UFV/kg (INRA, 1978, 1980), equivalentes a 1.6 Mcal EN/kg (6.7 MJ EN/kg), lo que supone un valor calórico ligeramente inferior a la cebada. Según el mismo INRA (1978, 1980) y el MAFF (1976) presenta un valor de 3.40 Mcal ED/kg (14.2 MJ ED/kg) y 2.87 Mcal EM/kg (12 MJ EM/kg).

No obstante, existen relativamente pocas referencias sobre los efectos y las condiciones de utilización de la Pulpa de Garrofa en los rumiantes (Louca y Papas, 1973; Guessous *et al.* 1988), siendo necesaria todavía la realización de nuevos estudios experimentales con Pulpa de Garrofa a fin de potenciar su empleo.

Cuadro I.10.3.

Valor nutritivo proteico de la Pulpa de Garrofa
(g/kg de materia fresca)

Autor (año)	PB	PD	PDIN	PDIE	PDC
RUMIANTES:					
Piccioni (1970) ²	40	18	-	-	-
" " (1989) ²	44	20	-	-	-
INRA (1978, 1980) ¹	51	34	36	70	-
EQUINO:					
INRA (1984 b) ¹	51	-	-	-	17
Martin-Rosset (1990) ¹	51	-	-	-	17
PORCINO Y AVES:					
INRA (1984 b) ¹	51	-	-	-	-
Piccioni (1989)	44	0	-	-	-

PB= Proteína Bruta, PD= Proteína Digestible, PDIN= PD en el intestino por Nitrógeno, PDIE= PD intestino por Energía, PDC= PD caballos, ¹: 87% de materia seca, ²: 86% materia seca e incluye semillas molidas, ³: valor medio estimado.

10.2.1. BOVINO

En la alimentación del ganado bovino, la Pulpa de Garrofa es un alimento indicado para su inclusión en mezclas con otros alimentos de baja palatabilidad, dadas sus características de saborizante y edulcorante.

Habitualmente ha sido utilizada en la fabricación de concentrados, en sustitución de las harinas de cereales, no citándose efectos desfavorables hasta niveles del 25% en vacas lecheras y del 30% en terneros de engorde (Piccioni, 1970, 1989).

Así, en el caso de vacas lecheras de raza "Frisona", Volcani (1950) reemplazó la cebada del concentrado de lactación por Pulpa de Garrofa hasta niveles del 25 %, no encontrándose efectos negativos en la producción de leche, ni en el contenido de grasa de la leche, ni en el peso vivo de las vacas.

Por otro lado, Louca y Papas (1973) observaron en dos experiencias realizadas con terneros de raza "Frisona" que, la inclusión de Pulpa de Garrofa (0, 10, 15, 20 y 30%) en el pienso de cebo intensivo (12-14% PB) durante 7-9 meses de engorde, no afectó significativamente al peso final, velocidad de crecimiento y rendimiento a la canal de los terneros. Sin embargo la ingestión de alimento (5.9-7.1 Kg/ternero y día) y el índice de conversión aumentaron significativamente (4.4-4.9 kg de pienso/kg de peso) al aumentar el porcentaje de Pulpa de Garrofa, compensando así el relativamente bajo valor calórico de la pulpa con un incremento de la ingestión del alimento, para mantener constante la ingestión de energía. Como contrapartida se produjo un lógico aumento del índice de conversión.

Debe señalarse además que de acuerdo con los valores tóxicos de Taninos Solubles antes citados (0.9 g/kg peso vivo; Kumar y Vaithiyanathan, 1990), el consumo total de Pulpa de Garrofa en la ración de bovinos no debería ser superior a 10-15 kg/día en vacas (400-600 kg), a 2-5 kg en terneros de recria (100-200 kg) y a 6-15 kg en los de cebo (300-600 kg). Por esta razón no parece existir ningún problema a la inclusión de la Pulpa de Garrofa en los piensos concentrados a niveles próximos al 20-30 % de la fórmula (200-300 kg/Tm pienso).

10.2.2. OVINO Y CAPRINO

Al igual que en el caso del ganado bovino, la utilización de Pulpa de Garrofa en la alimentación de los ovinos no ha planteado problemas de disminución de la velocidad de crecimiento o de la capacidad de ingestión. No obstante, la información sobre su uso en ovinos es escasa, no apareciendo en la revisión de Piccioni (1970, 1989) y refiriéndose exclusivamente la disponible a corderos mayores castrados cebados a pesos elevados (Guessous *et al.*, 1988; Rihani *et al.*, 1989).

Así, Guessous *et al.* (1988) han estudiado el efecto de la sustitución de la Pulpa de Citricos por Pulpa de Garrofa (0, 15 y 30%), en condiciones isoproteicas (16-17% PB), en el concentrado de engorde de corderos de raza "D'Man x Sardi" de 9 meses de edad y 30 kg de peso, cebados durante 70 días. La inclusión de Pulpa de Garrofa aumentó de forma significativa ($P < 0.05$) la velocidad de crecimiento (190, 228 y 241 g/día) y la ingestión de alimento (89,107 y 117 gMS/kg PV^{0.75} y día), no siendo significativos sus efectos en el índice de conversión (7.23, 6.95 y 7.67 kg pienso/kg de peso) y en el rendimiento a la canal (54%), respectivamente, en cada caso.

De forma paralela y a una ingestión fijada previamente en 40 gMS/kg PV^{0.75} y día, a fin de evitar rechazos, Guessous *et al.* (1988) indican tendencias significativas ($P < 0.05$) a la reducción de los Coeficientes de Digestibilidad de la Materia Orgánica (75, 73 y 68%), Proteína Bruta (72, 71 y 64%), Fibra Bruta (52, 52 y 50%), Fibra Neutro Detergente (59, 54 y 52%) y Energía Bruta (73, 70 y 65%), al aumentar el contenido en Pulpa de Garrofa en 0, 15 y 30%, respectivamente. No obstante las diferencias entre la ingestión experimental y la real durante el cebo, pueden alterar los resultados en la práctica.

En un trabajo posterior (Rihani *et al.* 1989), con piensos de engorde de corderos (25 kg, 8 meses de edad y cebo durante 80 días), con un 20% sobre materia seca de Pulpa de Garrofa (20%) y tres niveles de proteína (12, 14 y 16% PB), no observan diferencias significativas en la velocidad de crecimiento, ingestión de alimento, índice de conversión y rendimiento a la canal. Sin embargo, el aumento del nivel de proteína del pienso mejoró de forma significativa la digestibilidad de la Proteína Bruta (52, 61 y 65%), aunque no afectó a la de la Materia Orgánica (67%) ni a la de la Fibra Neutro Detergente (43%), no pareciendo mejorar la utilización de la ración.

En la alimentación, en condiciones intensivas durante 12 semanas, de cabras lecheras de raza "Damasco", Louca y

Papas (1973) encontraron resultados parecidos a los obtenidos en el vacuno, al utilizar 0, 15 y 30% de Pulpa de Garrofa en la ración (con y sin Urea en el caso del 30%, al 17% de PB en la ración). Así, aunque la producción total de leche y la cantidad total de grasa producidas, mostraron una tendencia a su disminución (211, 198 y 182 litros; 8.6, 7.8 y 7.9 kg), sólo significativa en la ración del 30% con Urea, el consumo total de alimento no se vió modificado (176 kg/cabra). La sustitución de la Urea por H. de Soja, en la ración del 30% de Pulpa de Garrofa, redujo las pérdidas anteriores (202 litros y 7.9 kg grasa) y elevó el consumo de alimento (180 kg/cabra).

El empleo de las mismas proporciones (0.15 y 30%) de Pulpa de Garrofa, en raciones de cebo de cabritos (14-15% PB) de raza "Damasco" y 22 kg de peso, durante 90 días de engorde, no afectó significativamente a la velocidad de crecimiento (220, 210 y 220 g/día respectivamente) ni al rendimiento a la canal (58, 59 y 58%), pero por el contrario aumentó el consumo de alimento (1.11, 1.12 y 1.26 kg/día) y el índice de conversión (5.1, 5.5 y 5.9 kg de pienso/kg de peso), a razón de 0.4 unidades por cada 15% de Pulpa de Garrofa (Louca y Papas, 1973).

Al aplicar el criterio de los valores tóxicos de Taninos Solubles anteriormente citado (Kumar y Vaithiyanathan, 1990), el consumo total de Pulpa de Garrofa en la ración no debería ser superior a 1-1.5 kg/día en ovejas y cabras (40-60 kg), y de 0.5-0.75 kg/día en corderos y cabritos (20-30 kg). Por esta razón no parece que deba presentar problemas de inclusión en los piensos concentrados, para ovino y caprino, a niveles próximos al 30% de la fórmula (300 kg/Tm pienso) o incluso, con un adecuado aporte de proteína de calidad y otros nutrientes, a niveles superiores.

10.3. VALOR NUTRITIVO EN MONOGÁSTRICOS

En los monogástricos, el valor nutritivo de la Pulpa de Garrofa es mucho más bajo que en los ruminantes y puede calcularse en base a su porcentaje en azúcares, ya que son prácticamente éstos los únicos componentes utilizables por el animal. Ello es debido a los bajos contenidos en los restantes nutrientes de mayor valor nutritivo (Proteína y Grasa principalmente) y a los efectos antidigestivos de los Taninos, que reducen marcadamente la digestibilidad de los nutrientes más ricos en energía (ver Cuadro I.10.3.), especialmente en el caso de la proteína (Piccioni, 1989).

Ante esta situación, el valor energético y proteico de

Cuadro I.10.3.

Coeficientes de digestibilidad de la Pulpa de Garrofa
en rumiantes y monogástricos (%)

Principio nutritivo	Rumiantes			Monogást.
	Piccioni (1970,1989)	INRA (1978,1980)	MAFF ¹ (1976)	Piccioni ¹ (1989)
Proteína Bruta	40-50	68	69	≈0
Grasa Bruta	52-56	52	54	-
Fibra Bruta	54-63	60	58	30-40
Extractivos no nitrogenados	78-85	86	95	75-80
Materia Orgánica	-	82	87	-
Energía Bruta	-	81	-	-

¹: Garrofa (incluye garrofines molidos) en porcino.

la Pulpa de Garrofa en los monogástricos (porcino y aves) resulta marcadamente inferior al de los ruminantes, situándose el ganado equino en una posición intermedia, tal como se indica en los Cuadros I.10.1. y I.10.2. Sin embargo, la información disponible en el caso de los monogástricos es aún más limitada que en los ruminantes, especialmente en lo que se refiere a las aves de puesta y a conejos.

Una relativa información complementaria puede obtenerse a partir de los resultados experimentales obtenidos en ratas de laboratorio, pero la mayor parte de ellos se refieren a los efectos de la fracción de Fibra-Taninos o de los extractos de Taninos de la Pulpa de Garrofa (Tamir y Alumot, 1970; Tamir *et al.*, 1972; Würsch, 1979). Los Taninos de la Pulpa de Garrofa parecen reducir el crecimiento, la ingestión de alimento y la utilización proteica (Tamir y Alumot, 1970; Würsch, 1979), así como la absorción de ácidos biliares y colesterol (Würsch, 1979). Por otro lado, además de en las heces, en la orina fueron también detectados los ácidos gálico y 4-O-metagálico como principales metabolitos urinarios de los Taninos ingeridos, sin existir indicios de la presencia de Catequina o compuestos fenólicos semejantes (Tamir *et al.*, 1972).

Piva *et al.* (1978), igualmente en ratas en crecimiento durante 4 semanas después del destete (21-27 días de edad), calculan los efectos de la sustitución parcial del Almidón de Arroz y la Sacarosa, de las dietas estándar del AOAC, por un 0, 10, 20 y 30% de Harina deshidratada de Pulpa de Garrofa ("Carrubina NG"). En este caso, dosis de hasta un 10% fueron perfectamente toleradas e incluso mejoraron a la dieta control. Únicamente a partir de la dosis del 20% se produjeron diferencias significativas en la velocidad de crecimiento y el índice de transformación del alimento, aunque estas diferencias fueron disminuyendo en el tiempo (1-3ª semana) y llegaron a anularse en la 4ª semana experimental.

Estos resultados parecen indicar, en el caso de la rata, una progresiva adaptación del mecanismo defensivo contra los Taninos con la edad y que tal vez pueda hacerse extensivo al caso del conejo.

10.3.1. PORCINO

La Pulpa de Garrofa ha sido tradicionalmente utilizada en el engorde del ganado porcino en la Cuenca Mediterránea, principalmente por razones de precio, como sustituto de los cereales, y como formadora de grasa en la fase de acabado

de cerdos a la llegada del otoño, en sistemas de explotación extensivos o semi-intensivos. Sin embargo, debido al bajo contenido y calidad de su proteína, es necesario asociarla con suplementos proteicos de calidad para su adecuado aprovechamiento.

Los valores energéticos de la Pulpa de Garrofa en porcino resultan, a la vista de las referencias bibliográficas disponibles (Cuadro I.10.1.), relativamente contradictorios. Así mientras Piccioni (1989) cita 2.82 Mcal ED/kg (11.8 MJ ED/kg), el INRA (1984 a) propone 1.99 ED/kg, lo cual parece tratarse de un error a la vista de los coeficientes de digestibilidad del Cuadro I.10.3. Así el mismo INRA (1984 a) cita un valor de 1.95 Mcal EM/kg (8.2 MJ EM/kg) que parece adecuado.

Las mismas fuentes no citan un valor proteico para ganado porcino aunque, a la vista de los coeficientes de digestibilidad de la proteína del Cuadro I.10.3. y de lo señalado por Maymone y Battaglini (1951), Piccioni (1970) y Menezes (1980), que obtienen coeficientes de digestibilidad aparentes negativos, éste podría considerarse prácticamente nulo.

Respecto a su empleo en la formulación de raciones, Piccioni (1970) lo desaconsejaba en el caso de lechones en cría, cerdas gestantes y lactantes, por razones proteicas, aspecto que ha sido corregido a partir de los trabajos de Piva *et al.* (1978), entre otros autores, proponiéndose actualmente su empleo hasta dosis del 5-10% en lechones de cría y transición y del 10-20% en cerdos de engorde (Piccioni, 1989).

En este sentido resulta de especial interés el trabajo de Piva *et al.* (1978), sobre el empleo de la Harina deshidratada de Pulpa de garrofa ("Carrubina NG"), como sustituto de la Dextrosa en piensos de lechones durante el periodo de transición (25 días), después de realizar un destete precoz a los 23 días.

La sustitución de un 4% de Dextrosa por un 5% de pulpa mejoró ligeramente el crecimiento e índice de conversión de los lechones. Al incrementar la dosis a un 10% aparecieron sin embargo ligeros efectos negativos, que desaparecieron en la última semana de transición. Piva *et al.* (1978) sugieren no emplear más del 5% de Pulpa de Garrofa antes de los 15 días después del destete (40 días de edad), pudiendo superar dicha cifra después del periodo de transición.

En el caso de cerdos en cebo, todo parece indicar en la actualidad que resulta factible el empleo de un 10-20% de Pulpa de Garrofa en sustitución de Harina de Maíz, aunque resulta inevitable el aumento del índice de conversión (Piccioni, 1989), como consecuencia de su menor valor

calórico. En ningún caso han sido señalados problemas de intolerancia digestiva (Lanza *et al.*, 1983; Piccioni, 1989), por lo que cabe pensar en su utilización también en cerdas reproductoras.

No obstante, a efectos prácticos no parece que sea conveniente alcanzar la dosis del 20% de Pulpa de Garrofa en el pienso, habiéndose señalado en este caso reducciones de la velocidad de crecimiento en el engorde de lechones (Becker *et al.*, 1955; Neto, 1964), probablemente como consecuencia del elevado contenido en Taninos de la pulpa utilizada, motivando el rechazo a su empleo en porcino, tal como ha sido anteriormente señalado (Piccioni, 1970). En todos los casos deberá tenerse en cuenta el contenido en Taninos Solubles para así fijar adecuadamente su dosificación máxima en los piensos.

Hervida en agua, la Pulpa de Garrofa ha sido también, tradicionalmente utilizada como astringente para combatir diarreas en cerdos jóvenes (Piccioni 1970, 1989).

10.3.2. AVES

El empleo de Pulpa de Garrofa en aves, dados los bajos coeficientes de digestibilidad y elevado contenido en taninos, a los que son especialmente sensibles, comentados anteriormente, deberá ser en principio limitado. La información disponible en la alimentación de aves es también limitada, con la excepción de los pollos de carne.

En la alimentación de aves en general, la pulpa de Garrofa ha sido normalmente utilizada, en una proporción de 2-3%, como aditivo para mejorar la apetibilidad de los piensos, no debiendo superarse el 6-8% para no perjudicar los rendimientos productivos (Piccioni, 1970, 1989).

La inclusión de Pulpa de Garrofa a niveles de 10-40% del pienso, reduce el crecimiento de los pollos de carne entre un 16-60%, de acuerdo con las observaciones de Kratzer y Williams (1951), aunque parte de este efecto negativo puede ser reducido mediante la complementación con aceite de Soja o sebo animal Piccioni (1970, 1989).

El efecto depresor de la Pulpa de Garrofa en el crecimiento de los pollos ha sido discutido desde la doble vertiente de la toxicidad de su alto contenido en taninos (Bornstein *et al.*, 1963; Vohra *et al.*, 1966) y de su bajo valor calórico (Alumot *et al.* 1964; Bornstein *et al.* 1965).

Bornstein y Lipstein (1959) y Bornstein et al. (1963, 1965) observaron que la incorporación de un 20-30% de Pulpa de Garrofa al pienso de pollos, se vió asociada a un incremento del consumo de alimento, lo que indicaba que probablemente la pulpa no contenía ningún factor tóxico. Aunque el crecimiento se redujo significativamente a partir de un 20% de Garrofa en el pienso, esta disminución no se vió acompañada de un incremento en la mortalidad.

Como conclusión todo parece indicar que no puede decirse que exista un factor tóxico en la Pulpa de Garrofa, como responsable de la reducción del crecimiento de los pollos (Alumot et al. 1964), sino que debe esperarse que ello se deba a su bajo valor energético (Alumot et al. 1964; Bornstein et al. 1965) y a la presencia de un depresor del apetito que no dejaría compensar la dilución energética producida por la inclusión de niveles elevados de pulpa.

En general, la inclusión de Harina de Garrofa por encima del 5% reduce la velocidad de crecimiento y eleva el índice de conversión de los pollo en cebo, tal como han señalado Kratzer y Williams (1951) y Cicogna y Saibene (1969). En las condiciones del trabajo de Cicogna y Saibene (1969), con pollos "Vantress x Arbor Acres" cebados durante 60 días con piensos isoenergéticos e isoproteicos con niveles crecientes de Pulpa de Garrofa (0, 6, 12 y 17%), se redujo significativamente el aumento de peso (1.81, 1.75, 1.68 y 1.38 kg/pollo), empeoró el índice de conversión (2.61, 2.79, 3.11 y 3.69 kg aumento/kg pienso) y no pudo conseguirse un abaratamiento del coste del Kg de aumento de peso (100, 104, 113 y 130%), en comparación con un control a base de harina de Maíz.

El valor energético de la Pulpa de Garrofa en pollos es, según Bornstein et al. (1965) de 1.30 Mcal EM/kg y 1.00 Mcal de Energía Productiva, y su valor proteico debe esperarse que sea nulo, tal como se ha indicado en los Cuadros I.10.1. y I.10.2.

10.3.3. EQUINO

Desde el punto de vista de la alimentación animal, el ganado equino, ha sido desde hace años el principal consumidor de Garrofa, ya sea como fruto entero o troceado, o en forma de Pulpa.

Las recomendaciones generales de empleo de la Garrofa en ganado equino indican el suministro de 5-6 kg/día, según el peso vivo del animal (Piccioni, 1970, 1989), evitando el



suministro entero de Garrofas para evitar daños en la boca y el aparato digestivo. Su utilización está especialmente indicada para aumentar la apetibilidad de las mezclas de alimentos y como dinamógeno, en las situaciones de intenso trabajo o agotamiento.

De especial interés resulta la valoración digestiva realizada por Wolter *et al.* (1980), en el que se compara el suministro exclusivo de 2 kg/día de distintos subproductos (Pulpa de Garrofa, Cascarilla de Soja, Pulpa de Manzana y Granilla de Uva) en poneys adultos (190 kg de peso vivo). Los resultados obtenidos indicaron unos coeficientes de digestibilidad intermedios entre las especies de rumiantes y el porcino, tal como se compara en el Cuadro I.10.3. En particular son de destacar los bajos coeficientes de digestibilidad de las fracciones fibrosas y de la proteína, que parecen estar relacionados con la presencia de Taninos.

En comparación a los alimentos citados, la Pulpa de Garrofa presentó una digestibilidad inferior a la Cascarilla de Soja, relativamente comparable a la Pulpa de Manzana y netamente superior a la Granilla de Uva. Sin embargo, la presencia de Taninos en la Pulpa de Garrofa puede ser de interés en la prevención de cólicos, tan frecuentes en el ganado equino, y su higroscopicidad disminuir la formación de polvo, por lo que su utilización produciría efectos positivos.

Wolter *et al.* (1980) señalan también coeficientes de digestibilidad negativos de Ca y P, indicando los bajos aportes y disponibilidad de estos minerales en la Pulpa de Garrofa, aspectos que deberán también ser tenidos en cuenta.

Pese a el efecto de reducción de los coeficientes de digestibilidad anteriormente señalado, de la Pulpa de Garrofa, no ha sido descrito, en la bibliografía consultada, ningún caso de reducción del apetito o de la velocidad de crecimiento, así como tampoco de toxicidad.

El valor energético asignado por el INRA (1984 b) y Martin-Rosset (1990) es de 0.64 UFC, inferior al de rumiantes, y equivalente a 2.07 Mcal ED/kg (8.7 MJ/kg) ó 1.88 Mcal EM/kg (7.9 MJ/kg), así como de 17 g PD/kg según los mismos autores.

11. OBJETIVOS DE LA TESIS

La información disponible sobre el Algarrobo (Ceratonia siliqua L.), tal como ha sido puesto de manifiesto, resulta escasa en la mayoría de los casos, tanto cuantitativa como cualitativamente y en ocasiones contradictoria. Existe así un relativo desconocimiento general del Algarrobo, que ha llevado a la celebración de Reuniones y Simposios internacionales a fin de estimular la investigación sobre el cultivo y utilización de la Garrofa y sus derivados.

Por estas razones, la presente Tesis ha considerado como objetivos fundamentales la búsqueda, recopilación y discusión de la bibliografía disponible, así como la recogida, análisis y clasificación del principal material vegetal existente en las distintas Comunidades Autónomas españolas productoras de Garrofa.

Los objetivos concretos de esta Tesis Doctoral corresponden fundamentalmente a:

- La realización y discusión de una amplia revisión bibliográfica de los aspectos productivos, botánicos y agronómicos del cultivo del Algarrobo, así como de la utilización y comercialización de la Garrofa. Especial atención se ha dedicado a los aspectos relacionados con su empleo en la alimentación animal.
- La elaboración de una caracterización varietal, en base a las características físicas y químicas de la Garrofa y del Garrofin, para de esta forma poder elegir las variedades en función de su destino industrial. En este sentido se establecen criterios de predicción de los rendimientos comerciales.
- Establecimiento de un método rápido de análisis de la Pulpa de Garrofa, mediante la utilización de la Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (metodología NIR), proponiendo los filtros y ecuaciones de calibración a utilizar.
- La evaluación de la composición química en Principios Inmediatos (Weende), Fibras de Van Soest, Azúcares, Valor Calórico, Digestibilidad y Degradabilidad ruminal de la Proteína, así como la estimación del Valor Nutritivo de la Pulpa de Garrofa, para su utilización en la alimentación de rumiantes, preferentemente.

II. MATERIAL Y METODOS

1. RECOGIDA Y MANIPULACION DEL MATERIAL EXPERIMENTAL

1.1. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

La recolección de las muestras de Garrofa objeto de estudio de esta Tesis, tuvo lugar durante los meses de Setiembre-Noviembre de 5 años consecutivos (1983-84-85-86-87) en las principales Comunidades Autónomas Españolas en donde se cultiva el Algarrobo.

En cada Comunidad Autónoma se procuró recoger muestras, de las más conocidas "variedades" o denominaciones locales, intentando que fueran representativas de las que se recolectan y comercializan habitualmente en ellas. En algunos casos se tomaron muestras de árboles espontáneos, bien por que en la zona, el cultivo del Algarrobo se encontraba en situación de abandono o bien por que en esa zona la plantación de árboles espontáneos presentaba una cierta importancia a nivel comercial.

Las muestras recogidas fueron evaluadas en sus características morfológicas en el Laboratorio, posteriormente troceadas y separadas en Pulpa y Garrofin. Los garrofines fueron a su vez caracterizados morfológica y estructuralmente, permitiendo el cálculo del Rendimiento en garrofin y en goma de la Garrofa. La Pulpa de Garrofa obtenida fue molida y analizada químicamente a fin de determinar su valor nutritivo en alimentación animal.

Los resultados obtenidos en cada caso fueron tratados estadísticamente, obteniendo las correlaciones y ecuaciones de predicción más importantes, respecto a la predicción de su rendimiento comercial, valor nutritivo y clasificación en "variedades" o denominaciones locales.

1.2. ORIGEN Y RECOLECCION DE LAS MUESTRAS

En la recogida de muestras de cada Comunidad Autónoma, se intentó abarcar el mayor número de "variedades" o denominaciones locales características, dando así prioridad a las Comunidades Autónomas en las que el cultivo del Algarrobo presenta una mayor importancia y a las denominaciones más cultivadas.

Cada muestra procedía de árboles distintos, aunque en algunos casos determinados la recolección fue realizada en los mismos árboles durante distintos años. Las denominaciones muestreadas en las distintas provincias españolas y en los diferentes años, se han recogido en los Cuadros II.1.1. y II.1.2.

El total de muestras recolectadas para su estudio fue de 182, según el siguiente reparto: Alicante= 34, Almería= 3, Barcelona= 8, Castellón= 33, Ibiza= 5, Málaga= 4, Mallorca= 49, Murcia= 2, Tarragona= 18, Valencia= 26.

Siempre que fue posible, se recolectaron muestras al azar de 100 Garrofas por árbol, intentando que éstas fueran representativas de la población de cada árbol.

En el momento de la recogida se tomaron además otros datos del árbol: denominación local, sexo, porte, etc., marcándose cada árbol para su posible identificación en el caso de que interesara repetir la recogida de muestra en años sucesivos.

Para el reconocimiento de las muestras, se utilizó el siguiente código de identificación:

Código postal /	2 siglas: finca, —	Nº de la /	Año de
provincial /	pueblo, prov., etc.	muestra /	cosecha

Ejemplo: 12 / PE - 2 / 86

12 = Castellón
 PE = Peñíscola
 2 = muestra de este mismo pueblo
 86 = año de la cosecha

1.3. MANIPULACION Y CONSERVACION

Las Garrofas recolectadas se introdujeron en bolsas de malla plástica para su transporte y conservación, en condiciones de sequedad y buena ventilación, evitando las bolsas de plástico o papel por las roturas y confusión de muestras que en este caso originan.

Las bolsas de malla conteniendo las muestras, se guardaron en cajas de cartón, para facilitar su ventilación, introduciendo bolas de naftalina para protegerlas de las polillas, hasta su posterior procesado en el laboratorio.

Cuadro II.1.1.

Relación del número de muestras recogidas, en las Comunidades Autónomas productoras de Garrofa, en los distintos años

Localización	1983	1984	1985	1986	1987	Total
Andalucía y Murcia						
Almería	--	--	3	--	--	3
Málaga	--	--	4	--	--	4
Murcia	--	--	--	2	--	2
Baleares						
Ibiza	1	4	--	--	--	5
Mallorca	31	17	--	1	--	49
Catalunya						
Barcelona	--	--	2	4	2	8
Tarragona	--	--	--	11	7	18
C. Valenciana						
Alicante	--	--	16	18	--	34
Castellón	--	--	10	23	--	33
Valencia	--	--	15	11	--	26
Total	32	21	50	74	9	182

Cuadro II.1.2.

Relación de "variedades" o denominaciones locales de las muestras de Garrofa recolectadas

Localización	Denominación	nº muestras
ANDALUCIA Y MURCIA		
Almeria	s/d	3
Málaga	s/d	4
Murcia	Mollar	1
	Ramillete	1
BALEARES		
Mallorca	Borde	2
	Costella d'ase	5
	De la Canal	1
	De la mel	2
	D'en Bugader	16
	Durayo	1
	Mollar	1
	Pasta negra	1
	Pic de beya	2
	Rotge	7
	s/d	11
Ibiza	Bobal	1
	Espanyola	1
	Orellona	1
	Panesca	2
CATALUNYA		
Barcelona	Banya de cabra	3
	Banya de marrà	2
	Surera	1
	s/d	2
Tarragona	Costella de ruc	3
	Misto	1
	Negra	3
	Negreta	1
	Pom negra	1
	Rojal	3
	Tendral	3
	Valenciana	3

Cuadro II.1.2. (Continuación)

Localización	Denominación	nº muestras
COMUNIDAD VALENCIANA		
Alicante	Blanca	3
	Borde	3
	Borrera	2
	Comuna	5
	Costella de bou	2
	Judeva	2
	Lindar	2
	Melera	2
	Mojonera	1
	Negra	2
	Panesca	2
	Royal	2
	Santamaría	2
	Vera	2
	s/d	2
	Castellón	Banyeta
Borde		2
Casuda		3
Costella de cavall		3
Costilla de Toro		1
De Cervera		2
Del Masclet		1
Del Pom		2
Mascletera		1
Matalafera		1
Murtera		2
Negra		4
Pomera		1
Primerenques		2
Ralladora		2
Royal		2
Roya		1
s/d	2	
Valencia	Aguaderas	1
	Blanca	1
	Cacha	2
	Costilla de burro	1
	Chopo	3
	Flor y Garrofa	1
	Judio	2
	Lisa	2
	Mallorquino	2
	Matalafera	6
	Melera	1
	Negra	2
Rocha	2	

Ya en el laboratorio, de las Garrofas recolectadas de cada variedad o denominación local, se eligieron 25 representativas, preparando con ellas una colección varietal de contraste y comprobación. Esta submuestra, se guardó en recipientes de cristal, de cierre hermético y con naftalina, a fin de protegerlas del ataque de insectos.

Cada submuestra para colección, se acompañó de una hoja en la que se anotó el código de identificación, la denominación local, las características físicas tanto de la Garrofa como de su semilla, el rendimiento en garrofin y el dibujo del contorno tanto de la Garrofa como del garrofin o bien la fotocopia de éstos, como se muestra en la Figura II.1.1.

El resto de Garrofas recolectadas se reservaron para la valoración de los componentes estructurales tanto de la Garrofa como del garrofin y la realización del análisis de la composición química y valor nutritivo de la pulpa de Garrofa.

2. VALORACION DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES

2.1. MEDIDAS MORFOLOGICAS DE LA GARROFA, TROCEADO Y RENDIMIENTO EN GARROFIN

De las muestras de 100 Garrofas recolectadas, una vez separada la submuestra de la colección varietal, se destinó una submuestra de 25 Garrofas/árbol para la obtención de sus medidas morfológicas según se indica en la Figura II.2.1. Las medidas realizadas fueron: peso (g), utilizando una balanza analítica con precisión de 0.01 g; longitud (cm) con ayuda de una cinta métrica de tela o flexible, midiendo el fruto de extremo a extremo sin incluir en la medida ni el pedúnculo ni el estigma; anchura (cm) y espesor total (cm) utilizando un pie de rey.

A continuación se procedió a realizar la determinación de la dureza al corte (Kg/cm^2) utilizando la tijera de Warner-Bratzler habitualmente utilizada para determinar la dureza de la carne y seguidamente se midió el espesor interior (cm) utilizando el pie de rey.

Una vez realizadas estas medidas tuvo lugar el troceado y desgrane manual para obtener los correspondientes



CÓDIGO:
12/PE-2/86

VARIEDAD: Negra

LOCALIZACIÓN:
Castellón



GARROFA

LONGITUD	13.45
ANCHURA	2.18
ESPESOR	0.74
PESO	11.14
Nº SEMILLAS	6.15

GARROFIN

LONGITUD	0.83
ANCHURA	0.69
ESPESOR	0.36
PESO	0.14

RENDIMIENTO: 6.66

OBSERVACIONES:

Garrafas cortas con garrafines pequeños

Figura II.1.1.

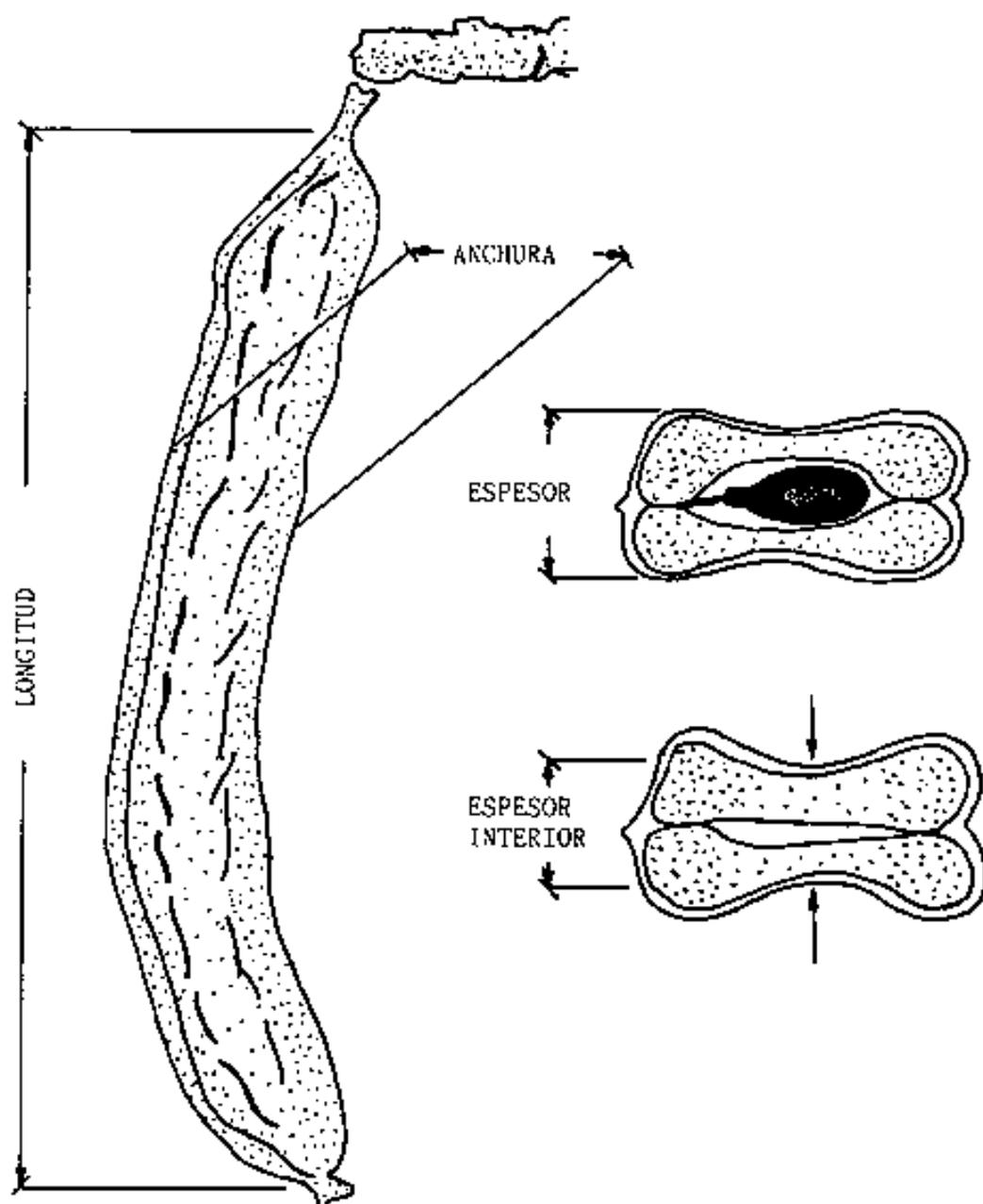


Figura II.2.1.

Medidas morfológicas de la Garrofa

garrofines y determinar el número de espacios carpelares, garrofines y garrofines abortados que presentaba cada Garrofa. Esta operación se realizó utilizando tijeras de podar y cortando el fruto por sus suturas laterales y poder así acceder a los espacios carpelares interiores.

La pulpa de las 25 Garrofas se separó de sus correspondientes garrofines y seguidamente se pesó cada una de estas fracciones por separado para poder realizar el cálculo del rendimiento en garrofin de la siguiente forma:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso Total garrofines}}{\text{Peso Total Garrofas}} \times 100$$

Los garrofines obtenidos en el troceado, se guardaron en pots herméticos y la pulpa se reservó para su posterior molido y realización del análisis químico.

2.2. MEDIDAS MORFOLOGICAS DEL GARROFIN Y SEPARACION DE SUS COMPONENTES

Del total de garrofines de cada submuestra de Garrofas, se eligieron 10 garrofines representativos al azar, los cuales fueron medidos tal como se indica en la Figura II.2.2.

En primer lugar se pesaron los garrofines individualmente utilizando una balanza analítica con precisión de 0.001 g y a continuación se midió la longitud (cm), anchura (cm) y espesor (cm) con la ayuda de un pie de rey.

Seguidamente otra submuestra de 10 garrofines fue pesada y sometida a desecación en estufa (Selecta modelo 297 D) a 103 ± 1 °C para poder determinar su contenido en materia seca.

La separación del garrofin en sus componentes estructurales, se realizó según la metodología descrita por Orphanos y Papaconstantinou (1969). Una submuestra de 25 garrofines, se sometió a un proceso de ebullición durante 30 min. A continuación se mantuvieron en maceración durante 12-24 h, transcurridas las cuales sus componentes fueron separados manualmente en epispermo ("cutícula"), endospermo ("goma") y embrión (eje embrionario y cotiledones) y llevados a estufa de 103 ± 1 °C para el cálculo de sus distintos componentes sobre materia seca.

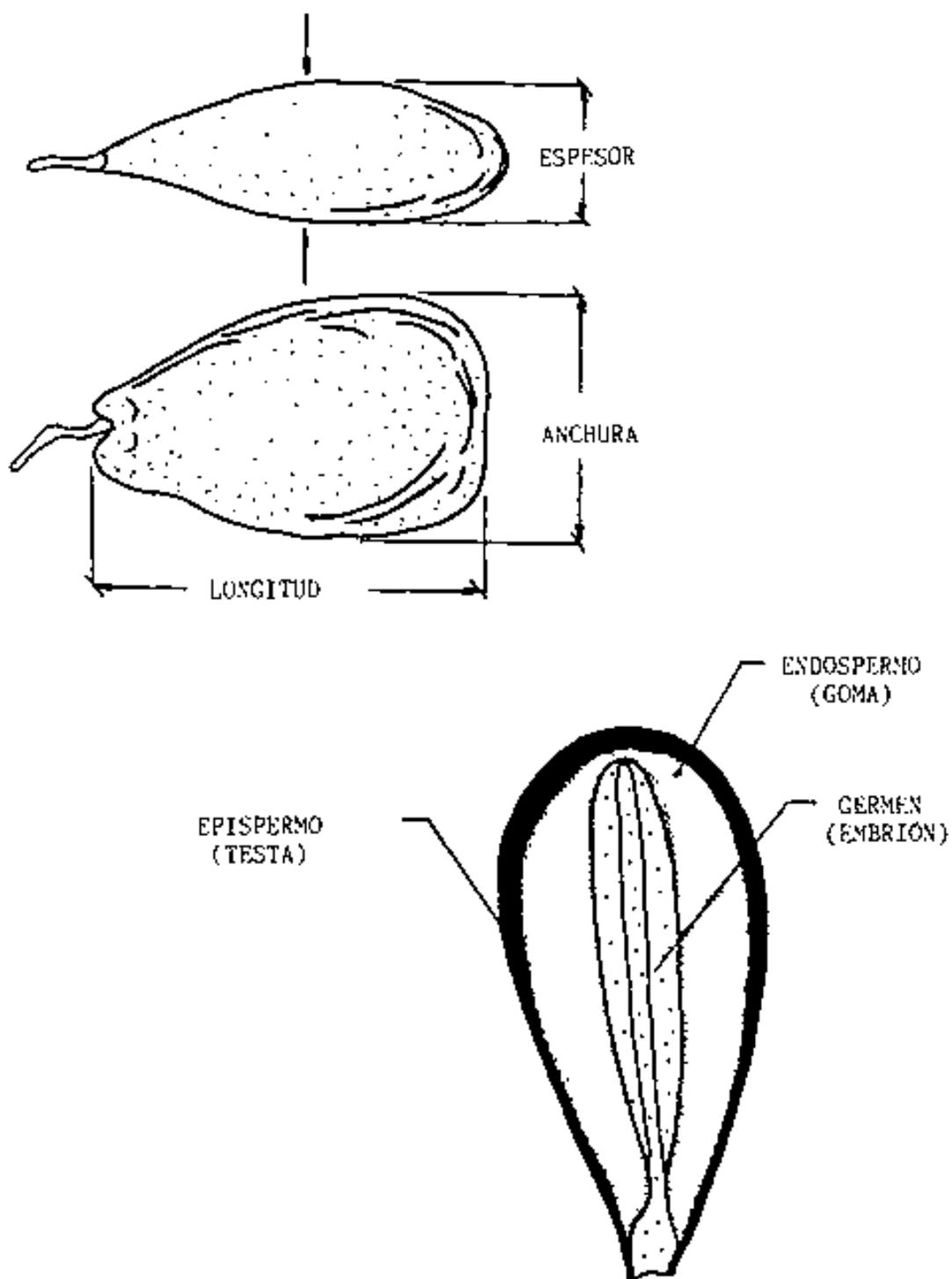


Figura II.2.2.

Medidas morfológicas y componentes estructurales del garrofin

3. ACONDICIONADO Y CONSERVACION DE LA PULPA PARA EL ANALISIS

La pulpa obtenida durante el troceado (apartado 11.2.1.), se molio primero groseramente con la ayuda de un molino de cuchillas, y posteriormente se realizo un molido más fino utilizando un molino ciclón de la firma comercial Retsch con malla de 1 mm ϕ . Esta pulpa molida se guardó en recipientes de cristal de cierre hermético de aproximadamente 200 g de capacidad y se reservó para su posterior análisis en Principios Inmediatos, Fibra de Van Soest, Azúcares y Energía Bruta. La pulpa se utilizó además para la realización de las calibraciones necesarias en la determinación de la composición química de la pulpa de Garrofa, por el método de Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIR).

La elección del molido a un diámetro de malla de 1 mm, se realizó por aconsejarse un tamaño de partícula inferior a 1 mm en el análisis químico de alimentos (BOE, 1989) y presentar una buena precisión en las calibraciones para el NIR (Williams y Thompson, 1978).

Para el acondicionamiento de la Pulpa de Garrofa utilizada en las pruebas de degradabilidad ruminal "in sacco", se tomó una submuestra de 10-20 Garrofas, las cuales fueron troceadas y desgranadas en las mismas condiciones ya indicadas. En este caso la pulpa fue triturada con un molino de cuchillas y tamizada posteriormente con un cedazo de 2 mm ϕ , asegurándonos de no utilizar partículas muy finas que se podrían perder por los poros de los sacos y falsear por tanto los resultados de la prueba.

4. DETERMINACION DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LA PULPA DE GARROFA

4.1. ANALISIS EN PRINCIPIOS INMEDIATOS DE WEENDE

El análisis en Principios Inmediatos, se realizó según el sistema Weende. Este sistema fué desarrollado por Henneberg y Stohman (1860) en la estación experimental de Weende (Alemania) y actualmente se sigue aplicando sin modificaciones importantes (AOAC, 1984).

El éxito de este sistema consistió en la creación de unos estimadores de los Principios Inmediatos que pueden ser denominados como Principios Nutritivos y son: Materia Seca, Cenizas, Proteína Bruta, Fibra Bruta, Grasa Bruta y MELN (Materiales Extractivos Libres de Nitrógeno).

Las distintas determinaciones correspondientes al análisis en Principios Inmediatos se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron sobre materia seca.

4.1.1. MATERIA SECA

La determinación de la Materia Seca se realizó por gravimetría, tomando 10 g de material y secándolo en estufa de desecación (Selecta modelo 297D) a 103 ± 1 °C durante 24 h, tiempo suficiente para llegar a peso constante.

4.1.2. CENIZAS

Del material obtenido en el apartado anterior, se tomaron 2 g por triplicado y se sometieron a calcinación en un horno mufla (Heraeus) a 550 °C durante un periodo de tiempo de 4 h, durante el cual se realiza la combustión total de la muestra.

4.1.3. PROTEINA BRUTA

La Proteína Bruta se determinó a partir de la valoración del contenido en Nitrógeno total según el método clásico de Kjeldahl (1883) modificado por Bremner (1960), multiplicado por el factor 6.25.

Para esta determinación se utilizaron 2 g de material y la digestión de las muestras se llevó a cabo en un digestor "Digestion System 20, 1015 Digester" (Tecator), a 420 °C durante 35 minutos.

La destilación y valoración de las muestras digeridas

se realizó en un aparato de destilación-valoración automática "Kjeltec Auto 1030 Analyzer" (Tecator), utilizando HCl 0.1 N como solución de valoración. La concentración de HCl se valoró a partir de una solución de $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ de concentración conocida, obteniéndose así el factor de corrección de la Normalidad.

4.1.4. FIBRA BRUTA

Esta determinación se realizó mediante hidrólisis sucesivas de la muestra, una ácida y otra alcalina, según el método Weende de Henneberg y Sthomann (1860) modificado por la AOAC (1984), utilizando 3 g de material y un "Fibertec 1020 hot extractor" (Tecator).

4.1.5. GRASA BRUTA

La determinación de la Grasa Bruta también denominada "Extracto Etereo", se basa en la disolución y extracción de los lípidos con disolventes orgánicos.

Para esta extracción se utilizaron 5 g de muestra, un extractor Soxhlet y éter de petróleo (40-60 °C) como solvente, siendo el tiempo de extracción de 6 h.

4.1.6. ESTIMACION DE LOS MELN

La suma algebraica del contenido en Cenizas, Proteína Bruta, Grasa Bruta y Fibra Bruta, nunca alcanza el 100% de la materia seca de un alimento, de manera que la fracción que se obtiene por diferencia, se denomina Materiales Extractivos Libres de Nitrógeno (MELN).

$$\text{MELN (\%)} = 100 - [\text{Cenizas (\%)} + \text{PB (\%)} + \text{GB (\%)} + \text{FB(\%)}]$$

4.2. DETERMINACION DE LA FIBRA DE VAN SOEST

A pesar de que la determinación de la Fibra Bruta se sigue utilizando en la práctica, se han propuesto numerosos métodos que aumentan la precisión de la valoración de los constituyentes de la pared celular de los vegetales. Entre estos métodos destaca el de la Fibra de Van Soest.

Este método que estima la fibra y su fraccionamiento en los componentes mayoritarios, se basa en el uso de detergentes aniónicos y catiónicos. Fue desarrollado por Van Soest (Van Soest, 1963; Van Soest y Wine, 1967; Goering y Van Soest, 1970). Esta estimación fue ideada para alimentos de rumiantes, aunque posteriormente se amplió para alimentos de no rumiantes y humanos.

El análisis de Van Soest se realizó de forma secuenciada (Van Soest y Robertson, 1985) y por triplicado, partiendo de 2 g de material y utilizando un "Fibertec 1020 hot extractor" de la firma comercial Tecator.

Siguiendo esta metodología analítica pudo obtenerse el contenido en Fibra Neutro Detergente (FND = pared celular o fibras totales), Fibra Acido Detergente (FAD = Lignocelulosa) y Lignina Acido Detergente (LAD = Lignina). Por diferencia se pudo deducir el contenido en Hemicelulosa (FND - FAD) y Celulosa (FAD - LAD).

4.3. MEDIDA INDIRECTA DEL CONTENIDO EN TANINOS

Van Soest y Robertson (1985), propuso una medida indirecta de los taninos basada en las soluciones detergentes utilizadas en la determinación de las fibras neutro y ácido detergentes. El fundamento de dicha medida consiste en que los taninos complejos son solubles en la Solución Neutro Detergente (SND) y muy poco solubles en la Solución Acido Detergente (SAD).

Por tanto, si se invierte la utilización de las soluciones detergentes del análisis secuenciado de la fibra de Van Soest, realizándose primero una determinación de la Fibra Acido Detergente y, a continuación del residuo obtenido, una valoración de la Fibra Neutro Detergente, a fin de obtener una aproximación del contenido en taninos complejos del alimento.

4.4. DETERMINACION DEL CONTENIDO EN AZUCARÉS

Para esta determinación se realizó una extracción y posterior hidrólisis de los azúcares según el método propuesto por Orphanos y Papaconstantinou (1969) para pulpa de Garrofa. A continuación los azúcares se valoraron, por cuadruplicado, en azúcares totales y reductores siguiendo el método colorimétrico de Somogyi (Somogyi, 1952), utilizando glucosa como estándar, con un margen de concentración de 10 µg/ml a 60 µg/ml.

La porción de azúcares no reductores de los azúcares totales se consideró como Sacarosa, debido a que Orphanos y Papaconstantinou (1969), indican que es probablemente el único azúcar no reductor presente en la pulpa de Garrofa.

5. DETERMINACION DEL CONTENIDO EN ENERGIA BRUTA

La Energía Bruta se determinó en una bomba calorimétrica adiabática "Ika Calorimeter C-4000 adiabatic" (Janke & Kunkel).

La preparación de la muestra se realizó en forma de pastilla de aproximadamente 0.5 g de material.

Las condiciones de ensayo dentro de la bomba fueron de 30 bar de presión de Oxígeno y 25 °C de temperatura inicial.

El cálculo de la capacidad calorífica del sistema adiabático se realizó por combustión de 1 g de ácido benzoico, como sustancia de referencia, bajo las mismas condiciones antes descritas.

6. DETERMINACION DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LA PULPA DE GARROFA POR EL METODO DE ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA EN EL INFRARROJO CERCANO (NIR)

El infrarrojo cercano se define como la parte del espectro situada entre las zonas de absorción del visible y del infrarrojo fundamental.

En el infrarrojo cercano se han encontrado longitudes de onda adecuadas para las determinaciones clásicas de calidad en productos agrícolas y alimenticios: humedad, proteína, grasa, carbohidratos, fibra y sus fracciones, etc.

Esta técnica analítica, relativamente reciente, se desarrolló en los años 60 a raíz de los trabajos realizados por Norris (Norris y Butler, 1961; Hart *et al.*, 1962; Norris, 1964; Norris y Hart, 1965), pero no fue hasta los años 70 que se dispuso de instrumentación específica para uso comercial. A partir de entonces se pudieron efectuar determinaciones de varios constituyentes simultáneamente sobre la misma muestra en una sola operación, evitando las interferencias entre los componentes de la misma por medio de una calibración específica para cada tipo de material.

Las principales ventajas que presenta esta nueva tecnología son: la velocidad de análisis, la facilidad de operación y el ser una técnica no destructiva.

Características del InfraAlyzer

Para la determinación de la composición química de la pulpa de Garrofa por el método de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano, se utilizó un InfraAlyzer 450 (Technicon), equipado con un disco de 19 filtros de longitudes de onda distintas entre 1445 y 2348 nm., acoplado a un ordenador PS2 IBM con disco duro de 20 Mb.

Las longitudes de onda de cada uno de los filtros así como los parámetros químicos asignados a cada una de las bandas de absorción se describen en el Cuadro II.5.1.

Procedimiento

Los componentes analizados según esta metodología fueron: Materia Seca, Proteína Bruta, Fibra Bruta, Grasa Bruta, Cenizas, Azúcares Totales, Azúcares Reductores, Fibra Neutro Detergente, Fibra Acido Detergente, Lignina Acido Detergente y Energía Bruta.

a) Obtención de espectros:

Para ello se realizó en primer lugar el análisis de los distintos componentes en el laboratorio según la metodología descrita anteriormente, de 63 muestras representativas del total, que cubrían el rango de medida esperado para muestras desconocidas. Estas muestras como se ha indicado anteriormente (apartado II.2.3.) habían sido trituradas y homogeneizadas con un molino ciclón (malla 1 mm ϕ).

Cuadro II.5.1.

Parámetros químicos asignados a cada banda de absorción observada con el InfraAlyzer 450.

Filtro	Long. onda (nm)	Parámetro
F 2	2336	Celulosa
F 3	2348	-HC=CHCH ₂
F 4	2310	=CH ₂
F 5	2270	Almidón
F 6	2230	Aminoácidos
F 7	2208	-CHO
F 8	2190	-HC=CH-
F 9	2139	-HC=CH-
F10	2180	Proteína
F11	1982	Proteína
F12	1818	Celulosa
F13	1778	Celulosa
F14	2100	Almidón
F15	1759	=CH ₂
F16	1940	Agua
F17	1734	-SH
F18	1722	=CH ₂
F19	1445	Aromático
F20	1680	Aromático

Del total de muestras analizadas, 52 se pasaron por el InfraAnalyzer 450 por duplicado y con 3 posiciones de lectura de la cápsula distintas (rotaciones). La rotación de la muestra se realiza por dos razones: incrementar el área de muestra que puede ser observada y suprimir el efecto de orientación de las partículas de la muestra, lo cual puede producir una disipación de la radiación incidente no uniforme.

Cada espectro obtenido consistió de las lecturas de absorción expresadas como el logaritmo del inverso de la reflectancia ($\log 1/R$). Estos datos fueron transferidos del InfraAnalyzer al ordenador, y analizados estadísticamente, permitiendo la visualización e impresión de los espectros y el archivo de los datos.

b) Software:

El Software de transferencia, visualización de espectros y análisis de datos utilizado, correspondió al paquete integrado de Microsoft (1985, 1986) y Bran+Luebbe (1987), compuesto por los programas IACAL P01 v 5.1. y IACAL IAANA PSI v 5.1. Los principales programas utilizados correspondieron a:

- Programa de adquisición de datos = Almacenamiento de datos, graficación de absorbancia o transreflectancia, almacenamiento de datos de predicción.
- Programa de procesado de datos = Listado y graficación de datos espectrales, edición/modificación de datos, introducción de datos obtenidos manualmente, transformación matemática.
- Programa de análisis de datos = Selección de longitudes de onda, análisis de regresión, análisis de correlación, diagnósticos internos.

c) Calibración:

Con los valores de reflectancia obtenidos se realizó el procedimiento de calibración, consistente en buscar la combinación de filtros que da una mejor relación lineal de la concentración del componente a analizar con la función de los datos de reflectancia, teniendo en cuenta que el número máximo aconsejado de filtros elegidos deben ser 6 por componente.

La selección de la mejor combinación de filtros se realizó a través de un análisis de regresión, usando el criterio de elegir las combinaciones que daban alto

coeficiente de correlación (R) y bajo error estándar (SE), asegurándose de que el conjunto de filtros resultante tenía relación con la composición química del material que se analiza.

Una vez realizadas las regresiones, se introdujeron los valores de los coeficientes obtenidos para cada una de las ecuaciones predictoras de cada constituyente, en la memoria del sistema, a fin de que la lectura fuera directa en porcentaje de constituyente.

Con las 11 muestras restantes de composición conocida, se ajustó la calibración mediante un ajuste de Bias y/o pendiente de calibración, consistente en relacionar los resultados del análisis de referencia con los de predicción que nos proporciona nuestro InfraAnalyzer. Esta corrección de la calibración se realizó calculando la ordenada en el origen y la pendiente y posteriormente recalculando las nuevas constantes de calibración.

Una vez ajustadas las distintas calibraciones, se procedió a pasar el resto de muestras de composición desconocida, siendo el tiempo requerido para el análisis de los distintos componentes de aproximadamente 1 min.

7. DETERMINACIÓN DE LA DEGRADABILIDAD RUMINAL

El método utilizado para estudiar la degradabilidad de la materia seca fue el denominado "in sacco", descrito por Orskov y McDonald (1979), Côté *et al.* (1982), Setälä (1983) y Michalet-Doreau *et al.* (1987). Este método permite seguir la evolución con el tiempo de la degradación del alimento en el rumen de animales fistulizados.

Preparación de la Pulpa

De todas las Garrofas recolectadas de distinto origen y denominación local, se tomaron 9 submuestras (10-20 Garrofas cada una) que presentaban distintos contenidos en proteína y en fibra bruta.

La pulpa de estas Garrofas, fue molida utilizando un molino de cuchillas y tamizada con un cedazo de malla 2 mm, tal como se ha indicado en el apartado II.3.

Preparación de los sacos

Los sacos o bolsas fueron confeccionados con un material indigestible (tela de nylon "Nytal") con tamaño de poro de 4.5 μ (medida realizada con una cámara lúcida acoplada a un microscopio) y cosidas con doble costura en tres de sus lados, constituyendo un rectángulo de 7 x 14 cm.

Posteriormente y antes de ser llenados con el alimento, los sacos fueron numerados, lavados con agua corriente, desecados en estufa a 70 °C durante 24 h, pesados y finalmente rellenos con 4 g de pulpa.

Animales

Se utilizaron 3 corderos machos, adultos, castrados, de raza Ripollesa y fistulizados a nivel del saco dorsal del rumen.

Los corderos recibieron un régimen alimenticio compuesto por 1 Kg de Heno de alfalfa y 400 g de alimento concentrado diariamente.

Metodología

La metodología utilizada fue la propuesta por Michalet-Doreau *et al.* (1987) para la medida de la degradabilidad "in sacco". Cada medida constó de 6 puntos de cinética: 2, 4, 8, 16, 24 y 48 h. y cada punto de cinética constó de 27 repeticiones (9 pulpas distintas x 3 corderos).

Los sacos con el alimento fueron introducidos en el rumen todos al mismo tiempo, antes de la comida (9 h), a excepción de los correspondientes a las 16 h que se introdujeron a las 17 h y se retiraron a las 9 h del día siguiente junto con los sacos correspondientes a las 24 h.

Cuando las bolsas se retiraron del rumen, fueron lavadas con agua corriente a mano y a continuación en una lavadora de sobremesa "Jata" (3 lavados de 1 minuto). Posteriormente se secaron a 70 °C durante 24 h, se pesaron para poder determinar la cantidad de alimento degradado en el rumen y finalmente se cuantificó la Proteína Bruta del residuo ruminal.

Esta técnica de determinación de la degradabilidad permite establecer la cinética de desaparición de la Materia Seca y de la Proteína Bruta y calcular el valor de referencia de la "degradabilidad teórica" (DT).

8. DETERMINACION DE LA PROTEINA DIGESTIBLE

Una porción del residuo ruminal obtenida en el apartado anterior, fue sometida a digestión, incubando la muestra en una solución de pepsina-HCl, durante 48 h a 39 ± 1 °C (Demarquilly y Chenost, 1969).

Posteriormente se determinó el contenido de Proteína de la fracción no digerida, siguiendo la metodología descrita en el apartado II.4.1.3., obteniéndose por diferencia el valor de Proteína Digestible.

9. TRATAMIENTO ESTADISTICO

El tratamiento estadístico de datos se realizó en un ordenador VAX 8800 del Centro de Cálculo de la Universidad Autónoma de Barcelona utilizando el paquete estadístico SPSS" (Norusis, 1986), realizándose las siguientes pruebas:

Para la descripción de la población y obtención de los estadísticos generales (media, máximo, mínimo y desviación estándar), se utilizó el programa "Condescriptive". En el caso de la obtención de los estadísticos por grupos de individuos de la misma "variedad" el programa utilizado fue "Breakdown".

En el estudio comparativo de las Garrofas de distintas Comunidades Autónomas, se realizó un análisis de variancia (ANOVA), utilizando el programa "Oneway" y según el siguiente modelo:

$$Y_{i,j} = \mu + A_i + \epsilon_{i,j}$$

donde:

$Y_{i,j}$ = Valor que toma la variable dependiente estudiada "Y", en cada una de las "i" Comunidades Autónomas, para cada uno de los "j" individuos.

μ = Media general de los valores de la variable "Y"

A_i = Efecto de la Comunidad Autónoma, siendo $i=1,2,3,4$ (1=Baleares, 2=Catalunya, 3=Comunidad Valenciana, 4=Andalucía y Murcia).

$\epsilon_{i,j}$ = Efecto aleatorio debido al individuo "ij"

Las relaciones entre los distintos parámetros analizados, ya sean morfológicos como químicos, se determinaron mediante el coeficiente de Correlación de Pearson, utilizando el programa "Pearson corr".

Para la realización de la tipología de las Garrofas, se elaboraron Histogramas con intervalos de 0.5 y 0.01, según el caso, ajustándolos a una distribución Normal.

En la obtención de las ecuaciones de predicción de la Energía a partir de parámetros de composición química, se realizaron regresiones múltiples, con ayuda del programa "Multiple Regression".

Finalmente, para la realización de un sistema de clasificación de las Garrofas españolas, se utilizó la taxonomía numérica o análisis de conglomerados, utilizando el programa "Cluster" en el que la escala utilizada fue la distancia euclídea.

El inconveniente que se presenta es que la distancia utilizada, puede resultar sustancialmente afectada por cambios de unidades en las variables, lo que conduce a agrupaciones diferentes de los elementos del colectivo. Para evitar este problema de dimensionalidad, previamente al análisis se estandarizaron los datos, utilizando la media y la varianza.