



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS

Departamento de Química Agrícola



**Caracterización de subproductos de cebolla  
como fuente de fibra alimentaria y otros  
compuestos bioactivos**

TESIS DOCTORAL

**Vanesa Benítez García**

Madrid, 2011



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS

Departamento de Química Agrícola



TESIS DOCTORAL

Caracterización de Subproductos de Cebolla  
como Fuente de Fibra Alimentaria y otros  
Compuestos Bioactivos

VANESA BENÍTEZ GARCÍA  
Madrid, 2011

**Directoras:** Dra. Esperanza Mollá Lorente  
Dra. Rosa María Esteban Álvarez





Facultad de Ciencias  
Departamento de Química Agrícola

ESPERANZA MOLLÁ LORENTE, PROFESORA TITULAR, Y ROSA MARÍA ESTEBAN ÁLVAREZ, CATEDRÁTICA DEL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

CERTIFICAN:

Que D<sup>a</sup> Vanesa Benítez García, ha realizado bajo nuestra dirección y en este Departamento el trabajo que lleva por título “Caracterización de subproductos de cebolla como fuente de fibra alimentaria y otros compuestos bioactivos” que constituye su Memoria de Tesis Doctoral. Dicho trabajo reúne las condiciones necesarias para su presentación y defensa.

Y para que conste a los efectos oportunos firmamos el presente certificado en Madrid, a 12 de Septiembre de 2011.

Fdo: Esperanza Mollá Lorente

Fdo: Rosa María Esteban Álvarez





Facultad de Ciencias  
Departamento de Química Agrícola

RAMÓN O. CARPENA RUIZ, CATEDRÁTICO Y DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID.

CERTIFICA:

Que el trabajo de investigación titulado: "Caracterización de subproductos de cebolla como fuente de fibra alimentaria y otros compuestos bioactivos" se ha realizado en este Departamento bajo la dirección de las Dras. Esperanza Mollá Lorente y Rosa María Esteban Álvarez, y que constituye la Memoria que presenta D<sup>a</sup> Vanesa Benítez García para optar al Grado de Doctor.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo el presente certificado en Madrid, a 12 de Septiembre de 2011.



## **Agradecimientos**

---



*Esta Tesis no hubiera sido posible sin la financiación del proyecto titulado "Valorización de subproductos y excedentes de cebolla (Allium cepa L.). Obtención de productos de interés alimentario" (AGL2003-09138-C04-02/ALI) del Plan Nacional de Recursos y Tecnologías Agroalimentarias del Ministerio de Ciencia y Tecnología y sin la Beca de Formación de Personal Investigador de la Comunidad de Madrid.*

*Hay muchas personas que de una forma directa o indirecta han hecho posible la realización de esta Tesis Doctoral:*

*En primer lugar quiero agradecer a mis dos directoras de tesis, la Dra. Esperanza Mollá Lorente y la Dra. Rosa M<sup>a</sup> Esteban Álvarez por haberme dado la oportunidad de entrar a formar parte del grupo de Agroalimentaria, hace ya unos cuantos años, y por haberme guiado en el mundo de la investigación. Esta Tesis no hubiese sido posible sin sus conocimientos, su apoyo constante y su paciencia. Es todo un placer trabajar a vuestro lado.*

*A la Dra. M<sup>a</sup> Angeles Martín-Cabrejas, por sus consejos, ayuda y apoyo, tan necesarios en algunos momentos. Al Dr. Francisco Javier López-Andreu por su interés, sus consejos y aliento constante. Soy muy afortunada por haber compartido estos años con vosotros.*

*Al Dr. Leon A. Terry por permitirme realizar parte del trabajo de esta Tesis en el laboratorio "Plant Science" de la Universidad de Cranfield (Reino Unido). A Gemma Chope y Katherine Cools, otras "onion girls", por su ayuda y comprensión; y a ellas y al resto de personas que formaban parte del laboratorio por hacer de mi estancia una experiencia inolvidable.*

*Al Dr. Ramón O. Carpena por la confianza que ha depositado en mí para el desempeño de tareas de gestión que también forman parte de mi formación. A la Dra. Pilar Zornoza por compartir conmigo sus conocimientos de estadística. Y al resto de profesores del Departamento de Química Agrícola que siempre han tenido una palabra amable y una sonrisa para hacer más llevadero el día a día.*

## Agradecimientos

---

*A Bea, Vane y Yol, que empezaron siendo mis compañeras y que con el paso del tiempo se convirtieron en mucho más, gracias por ayudarme dentro y fuera del trabajo, por animarme cuando lo he necesitado y por esos buenos ratos que hemos pasado y que espero sigamos pasando. Todo esto no hubiera sido posible sin vosotras.*

*A mis "compis" de despacho, Edu, todo un veterano, y M<sup>a</sup> Jose, una recién llegada, por ayudarme y por hecerme los largos días frente al ordenador mucho más amenos. A todas las personas que han pasado durante estos años por el Departamento de Química Agrícola y a los que aún están, todos ellos quedaran para siempre en mi memoria.*

*A mi gente de Pedre con la que he compartido tantas y tantas cosas y de los que tengo tan buenos recuerdos, en especial, a Tania y a Jara, que aunque ellas no lo crean, nuestras largas charlas han ayudado a que esta memoria este escrita. A los de "Sanse", las cosas en la vida a veces pasan por algo y en este caso ese algo sois vosotros, gracias por los momentos inolvidables que hemos pasado juntos. A Esther, con la que empecé mi andanza en el mundo de las cebollas, Luz, Raquel y todas esas personas que con sus palabras y sus risas me han ayudado a llegar hasta aquí.*

*A Irene y Maria, que son como de la familia, gracias por vuestra compañía, vuestro animo y por estar ahí cuando os he necesitado.*

*A Sofia, esa personita que me da tanta alegría, y a toda mi familia por su cariño y comprensión.*

*A mi hermana, mi amiga, ¿qué haría yo sin ti? Gracias por escucharme, apoyarme y ayudarme, y sobre todo gracias por compartir tu vida conmigo, eres única. A Fer, gracias por hacerla feliz.*

*A mis padres, mis incondicionales, porque siempre han confiado en mí, me han ayudado y apoyado. Es toda una suerte poder contar con vosotros y espero algún día poder ser tan buen ejemplo para alguien como lo habéis sido vosotros para mí, os quiero.*

A todos, GRACIAS

**A mis padres,**

**A mi hermana.**



**Índice**

---



---

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>Pág 3</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>Pág 9</b>
<b>III. ANTECEDENTES</b>	<b>Pág 13</b>
1. ALIMENTOS FUNCIONALES	Pág 13
2. FIBRA ALIMENTARIA	Pág 15
2.1. Concepto y definición	Pág 15
2.2. Composición	Pág 19
2.3. Clasificación	Pág 28
2.4. Propiedades físico-químicas	Pág 30
2.5. Efectos fisiológicos	Pág 37
2.6. Consumo y recomendaciones	Pág 46
2.7. Adición de fibra a alimentos	Pág 48
3. CEBOLLA	Pág 50
3.1. Origen y características botánicas	Pág 50
3.2. Producción	Pág 52
3.3. Composición química	Pág 53
3.4. Propiedades saludables de la cebolla	Pág 65
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>Pág 69</b>
1. MATERIAL	Pág 71
❖ Residuos de la industria y excedentes de cebolla	Pág 72
❖ Subproductos de cebolla	Pág 74
2. MÉTODOS	Pág 77
2.1. Parámetros físicos	Pág 77
2.2. Parámetros químicos	Pág 78
2.3. Fibra alimentaria	Pág 79
2.4. Carbohidratos no estructurales	Pág 82
2.5. Compuestos azufrados	Pág 83
2.6. Compuestos fenólicos	Pág 85
2.7. Residuo insoluble en alcohol	Pág 88
2.8. Propiedades físico-químicas	Pág 89

• Densidad aparente (DA)	Pág 89
• Capacidad de retención de aceite (CRAc)	Pág 89
• Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Pág 90
• Capacidad de gelificación	Pág 90
• Capacidad de retención de agua (CRA)	Pág 90
• Capacidad de hinchamiento (CH)	Pág 91
2.9. Propiedades hipoglucémicas	Pág 91
• Capacidad de adsorción de glucosa	Pág 91
• Índice de retardo en la diálisis de la glucosa	Pág 92
• Actividad residual $\alpha$ -amilasa	Pág 93
• Digestibilidad del almidón	Pág 93
2.10. Ensayo <i>in vivo</i> : Suplementación de la dieta con subproducto rico en fibra	Pág 94
2.11. Subproducto de cebolla como ingrediente alimentario con alto contenido en fibra	Pág 96
2.12. Tratamiento estadístico	Pág 100
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>Pág 101</b>
<b>CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE CEBOLLA</b>	<b>Pág 103</b>
❖ Interés del Estudio	Pág 103
❖ Parámetros físicos	Pág 103
❖ Parámetros químicos	Pág 105
❖ Fibra alimentaria	Pág 111
❖ Carbohidratos no estructurales	Pág 113
❖ Compuestos azufrados	Pág 117
❖ Compuestos fenólicos	Pág 120
❖ Capacidad antioxidante	Pág 125
❖ Conclusiones	Pág 126

---

<b>CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE CEBOLLA: EFECTOS DE LA ESTABILIZACIÓN TÉRMICA SOBRE LOS COMPONENTES BIOACTIVOS</b>	Pág 127
❖ Interés del Estudio	Pág 127
❖ Parámetros químicos	Pág 127
❖ Fibra alimentaria	Pág 134
❖ Carbohidratos no estructurales	Pág 138
❖ Compuestos azufrados	Pág 150
❖ Conclusiones	Pág 155
<b>CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE CEBOLLA: EFECTO DE LA ESTABILIZACIÓN TÉRMICA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y LA COMPOSICIÓN DE LA FIBRA ALIMENTARIA</b>	Pág 157
❖ Interés del Estudio	Pág 157
❖ Propiedades físico-químicas	Pág 158
✓ Densidad aparente (DA)	Pág 158
✓ Capacidad de retención de aceite (CRAc)	Pág 161
✓ Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Pág 162
✓ Capacidad de gelificación	Pág 163
✓ Propiedades de hidratación	Pág 165
❖ Fracciones de fibra	Pág 170
❖ Composición de la fibra alimentaria	Pág 175
❖ Conclusiones	Pág 186
<b>CAPÍTULO 4: OBTENCIÓN DE CONCENTRADOS DE FIBRA A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE CEBOLLA</b>	Pág 189
❖ Interés del Estudio	Pág 189
❖ Obtención del concentrado de fibra	Pág 189
❖ Propiedades físico-químicas	Pág 191
✓ Densidad aparente (DA)	Pág 192
✓ Capacidad de retención de aceite (CRAc)	Pág 194
✓ Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Pág 196
✓ Capacidad de gelificación	Pág 197

✓	Propiedades de hidratación	Pág 198
❖	Composición de los concentrados de fibra	Pág 202
✓	Nitrógeno total	Pág 202
✓	Compuestos azufrados	Pág 203
✓	Polisacáridos y lignina	Pág 203
✓	Compuestos fenólicos	Pág 208
❖	Evaluación comparativa de los concentrados de fibra	Pág 210
❖	Conclusiones	Pág 216
<b>CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN <i>IN VITRO</i> E <i>IN VIVO</i> DE LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LOS SUBPRODUCTOS DE CEBOLLA. UTILIZACIÓN COMO INGREDIENTE ALIMENTARIO FUNCIONAL</b>		Pág 217
•	<b>Evaluación <i>in vitro</i> del efecto hipoglucémico de la fibra de los subproductos de cebolla</b>	Pág 217
❖	Interés del estudio	Pág 217
❖	Capacidad de adsorción de glucosa	Pág 218
❖	Efecto sobre la difusión de la glucosa	Pág 220
❖	Efecto sobre la actividad $\alpha$ -amilasa	Pág 225
❖	Efecto sobre la digestibilidad del almidón	Pág 227
•	<b>Evaluación <i>in vivo</i> de los efectos de una dieta rica en grasa suplementada con subproductos de cebolla</b>	Pág 230
❖	Interés del estudio	Pág 230
❖	Estudio <i>in vivo</i>	Pág 230
•	<b>Evaluación de la utilización de los subproductos de cebolla como ingredientes alimentarios ricos en fibra</b>	Pág 236
❖	Interés del estudio	Pág 236
❖	Fibra alimentaria	Pág 236
❖	Propiedades físico-químicas	Pág 237
❖	Efecto hipoglucémico	Pág 237

❖ Evaluación de los parámetros de calidad	Pág 241
❖ Análisis sensorial	Pág 243
• Conclusiones	Pág 246
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>Pág 251</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>Pág 257</b>
<b>VIII. ANEXO</b>	<b>Pág 277</b>
1. ABREVIATURAS	Pág 279
2. PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS	Pág 281



## **Introducción**

---



El trabajo de Tesis Doctoral que se presenta forma parte del proyecto “Valorización de subproductos y excedentes de cebolla (*Allium cepa* L.). Obtención de productos de interés alimentario”(AGL2003-09138-C04-02/ALI) del Plan Nacional de Recursos y Tecnologías Agroalimentarias del Ministerio de Ciencia y Tecnología, en colaboración con el Instituto del Frío del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y con el Centro Nacional de Tecnología de los Alimentos (CNTA). Este trabajo se ha llevado a cabo fundamentalmente en el Departamento de Química Agrícola de la Universidad Autónoma de Madrid. Asimismo, durante el periodo Sep 2008- Nov 2008 se realizó una estancia de investigación en el laboratorio “Plant Science” de la Universidad de Cranfield.

En esta Tesis se ha abordado el estudio y caracterización de subproductos de cebolla, importante fuente de fibra alimentaria, con el fin de obtener información necesaria en relación con su idoneidad para el potencial desarrollo de un ingrediente alimentario con carácter funcional.

En los últimos años, las industrias agrícolas y alimentarias han iniciado una importante evolución de sus planteamientos para dar una respuesta innovadora a las múltiples y diversas facetas que se presentan en los sectores de la producción y transformación de productos agroalimentarios, en la mejora de la calidad nutricional y del carácter funcional de los alimentos, así como en la protección del medio ambiente.

En la actualidad, la cantidad de subproductos y residuos que genera la industria agroalimentaria es del orden de 220 millones de toneladas en Europa y de 5 millones de toneladas en España. El aprovechamiento y la valorización de los componentes presentes en estos subproductos y desechos constituyen un reto para la industria agroalimentaria. En general, estos subproductos vegetales se pueden usar como fertilizantes o para la alimentación animal. Sin embargo en los último años, debido a la presencia de componentes bioactivos en su

composición, se están realizando numerosas investigaciones para utilizarlos como fuente de ingredientes funcionales. En general, los subproductos del procesado de frutas y hortalizas podrían ser usados como fuente de pectinas, fibra alimentaria y compuestos fenólicos que poseen capacidades antioxidantes (Schieber y col., 2001; Rodríguez y col., 2006).

En este contexto, es donde se sitúa la industria relacionada con el sector de transformación de productos hortícolas, y en concreto con la producción y manufactura de cebollas. La cebolla es una hortaliza que se produce en grandes cantidades a nivel mundial y cuya tendencia es seguir incrementando. Junto con la producción aumentan también los residuos que se generan durante el procesado industrial y los excedentes que cada año quedan almacenados, aumentando el riesgo de propagación de plagas y enfermedades.

Anualmente, se producen del orden de 500.000 toneladas de residuos de cebolla en la Unión Europea, principalmente en España, Reino Unido y Holanda, y esta situación muestra perspectivas de agravarse debido a la tendencia actual de demanda creciente en el mercado de las cebollas procesadas.

Los residuos se generan principalmente durante el proceso de pelado industrial de las cebollas, que actualmente se encuentra en auge debido a la gran demanda, tanto por parte del consumidor como por parte de la industria de restauración, de cebollas enteras peladas, troceadas o aros de cebolla. Estos residuos incluyen la piel marrón, las dos capas carnosas externas y la base y cuello del bulbo.

Por otra parte, la industria de aromas alimentarios que utiliza la cebolla como materia prima para la obtención del denominado "aceite esencial" de cebolla, base de la elaboración de muchos preparados aromatizantes de uso alimentario, también contribuye al aumento de los residuos de cebolla.

Además de los residuos generados por la industria alimentaria, los agricultores producen una alta cantidad de residuos y excedentes, como es el caso de cebollas enteras que son descartadas en las etapas previas de selección y calibrado debido a formas irregulares, partes en mal estado o tamaños no comerciales.

La Normativa Europea obliga a gestionar dichos residuos, de modo que la investigación para el aprovechamiento de los mismos sería una interesante solución para la obtención de nuevos productos con valor añadido, ya que los residuos de cebolla no pueden ser reutilizados como piensos ni como fertilizantes orgánicos, debido al fuerte aroma desprendido y al rápido desarrollo de agentes fitopatógenos tales como *Sclerotium cepivorum*. Asimismo, como resultado del alto porcentaje de humedad, su reducción mediante combustión resulta muy costosa.

Los residuos de cebolla podrían presentar buenas propiedades tecnológicas y nutricionales, ya que la cebolla es fuente de compuestos antioxidantes, compuestos del "flavor", fibra alimentaria y fructanos (Schieber y col., 2001). En este sentido se han realizado estudios que demuestran que los tejidos de cebolla podrían ser utilizados como fuente de fibra alimentaria y fructanos (Jaime y col., 2001b; Jaime y col., 2002).

También con el objeto de valorizar los residuos de cebolla, se han llevado a cabo investigaciones para obtener vinagre a partir de zumo de cebolla utilizando distintos sistemas de fermentación, siendo el vinagre de cebolla un producto con valor añadido generado a partir de los residuos de cebolla (Horiuchi y col., 2004; González-Sáiz y col., 2008).

Ante esta situación, el procesamiento y estabilización de los residuos y excedentes de cebolla podría representar una solución para el problema medioambiental derivado de los residuos de cebolla, así como la obtención de subproductos estabilizados de cebolla que podrían usarse como ingredientes

funcionales naturales (Roldán y col., 2008). Los residuos de cebolla se pueden moler o prensar para obtener subproductos de cebolla como zumos, pastas y bagazos, que deben ser estabilizados para obtener productos seguros. Para esta estabilización se pueden usar distintas tecnologías como congelación, pasterización o esterilización.

**Objetivos**

---



El **objetivo general** de la presente Tesis Doctoral se centra en la caracterización de subproductos de cebolla con el fin de evaluar sus potenciales aplicaciones como base para la obtención de ingredientes alimentarios funcionales, especialmente ricos en fibra alimentaria.

Para el desarrollo del objetivo general, se han formulado los siguientes objetivos específicos:

**Objetivo 1.** Estudio de los residuos industriales y excedentes de cebolla, con especial atención a su composición en fibra alimentaria, fructooligosacáridos, polifenoles y compuestos azufrados, y enfocado al conocimiento de sus diferencias como materia prima potencial para la obtención de ingredientes alimentarios.

**Objetivo 2.** Caracterización de los subproductos de cebolla obtenidos a partir de excedentes de cebolla mediante distintos procesamientos y métodos de estabilización:

- Evaluación del efecto de las tecnologías de procesado y estabilización (Pasterización y Esterilización) sobre el contenido en fibra alimentaria, fructooligosacáridos y compuestos azufrados.

**Objetivo 3.** Estudio de las propiedades físico-químicas relacionadas con la fibra alimentaria y con la aplicación tecnológica de los subproductos:

- Evaluación del efecto de las tecnologías de procesado y estabilización (Pasterización y Esterilización) sobre las propiedades físico-químicas y la composición de la fibra.

**Objetivo 4.** Obtención de concentrados de fibra a partir de los subproductos estabilizados de cebolla.

- Estudio de la composición y de las propiedades físico-químicas de los concentrados de fibra.
- Estudio comparativo de las propiedades y potenciales aplicaciones de los concentrados de fibra y de los subproductos estabilizados de cebolla.

**Objetivo 5.** Evaluación *in vitro* e *in vivo* de los efectos fisiológicos de los subproductos estabilizados de cebolla.

- Estudio *in vitro* del efecto hipoglucémico de los subproductos de cebolla.
- Ensayos preliminares *in vivo* en ratas alimentadas con una dieta rica en grasas, suplementada con un subproducto de cebolla.

**Objetivo 6.** Evaluación de la idoneidad de un subproducto de cebolla como ingrediente funcional, rico en fibra alimentaria, mediante su incorporación en la formulación de una salsa de tomate. Estudio de su calidad sensorial y de las propiedades físico-químicas.

**Antecedentes**

---



## 1. ALIMENTOS FUNCIONALES

La ciencia de la nutrición ha experimentado grandes cambios en el último siglo. En épocas pasadas se consideraba que una alimentación equilibrada desde el punto de vista nutricional era aquella que prevenía las carencias de nutrientes. Actualmente, las sociedades prósperas han avanzado de forma que el concepto de alimentación equilibrada ha pasado a significar el consumo de una dieta óptima a base de alimentos que promuevan la salud y disminuyan el riesgo de enfermedades crónicas relacionadas con la alimentación. Basándose en esta evolución tiene lugar la aparición y desarrollo de los alimentos funcionales.

Un alimento se considera “funcional” cuando se demuestra satisfactoriamente que además de sus efectos nutritivos intrínsecos, ejerce un efecto beneficioso sobre una o más funciones específicas del organismo, de tal modo que resulte apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar, reducir el riesgo de enfermedad, o ambas cosas (Diplock y col., 1999). Los alimentos funcionales deben seguir siendo alimentos, quedando excluidos de la definición comprimidos y cápsulas, y deben demostrar sus efectos en las cantidades en las que se consumen normalmente en la dieta y su ingesta debe gozar de total seguridad en las condiciones de uso apropiadas. En la Tabla 1 aparecen algunos ejemplos de compuestos funcionales y su efecto beneficioso.

Desde un punto de vista práctico, un alimento funcional puede ser un alimento natural o también puede ser un alimento transformado tecnológicamente para retirar o modificar alguno de sus componentes o añadir un nuevo elemento.

En los últimos años, se ha avanzado mucho en cuanto a la identificación de nutrientes e ingredientes con efectos específicos sobre la salud. Estas sustancias pueden obtenerse de materias primas e incorporarse a alimentos destinados a grupos específicos de consumidores. Por otra parte, si un componente natural produce un efecto negativo sobre la salud, puede eliminarse. La tecnología

alimentaria puede utilizarse para modificar la composición de los alimentos en dos aspectos principales: la extracción y el enriquecimiento o adición de algún ingrediente funcional (Ashwel, 2001).

Extracción y separación: Estas tecnologías se utilizan para la obtención de ingredientes funcionales que ejercen un efecto positivo sobre la salud y el bienestar del hombre. Estos compuestos funcionales pueden así añadirse a productos alimenticios (adición o enriquecimiento) para el desarrollo de alimentos funcionales. Asimismo, estas tecnologías también pueden emplearse para eliminar un componente del alimento que interfiera con su valor nutricional óptimo (eliminación), y así conseguir un alimento más saludable.

Tabla 1. Compuestos funcionales y su acción fisiológica

Compuesto	Acción
Vitaminas E y C	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reducen los riesgos de enfermedades cardiovasculares y cáncer</li></ul>
Ácido Fólico	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reducen los defectos del tubo neural (recién nacido)</li><li>• Reducción de los niveles plasmáticos de homocisteína</li></ul>
Calcio	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aumento de densidad ósea</li></ul>
Selenio	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inmunomodulador</li><li>• Prevención contra el cáncer</li></ul>
Fructooligosacáridos (FOS)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Estimulan selectivamente el crecimiento y/o actividad de bacterias del colon (efecto prebiótico)</li></ul>
Fibra	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mejora de la función colónica</li><li>• Prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2 y obesidad</li></ul>
Compuestos azufrados	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mejora de la salud cardiovascular y efectos anticancerígenos</li></ul>
Compuestos fenólicos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Prevención enfermedad coronaria y actividades anticancerígenas</li></ul>
Isoflavonas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reducen la osteoporosis, promueven la salud cardiovascular y alivian los síntomas de la menopausia</li></ul>

Fuente: Howlet (2008).

Enriquecimiento o adición: consiste en añadir un compuesto funcional que inicialmente no existía en la composición del alimento o para que alcance un nivel más elevado y ejerza su efecto beneficioso.

## 2. FIBRA ALIMENTARIA

La fibra alimentaria fue ignorada durante mucho tiempo porque se pensaba que no tenía ningún tipo de utilidad, debido a su escaso valor nutritivo y a un nulo aporte calórico.

Sin embargo, en el siglo XX, desde la década de los setenta, la fibra suscita un gran interés, debido no sólo a que se ha demostrado que algunas fracciones de la fibra presentan una alta fermentabilidad y, por tanto, un determinado valor nutritivo, sino que se ha comprobado que posee numerosos y variados efectos fisiológicos en el organismo, que derivan en la reducción del riesgo de padecer determinadas enfermedades frecuentes en países desarrollados.

### 2.1. Concepto y Definición

El concepto de fibra alimentaria ha cambiado considerablemente en pocos años. Ahora se admite que la fibra está compuesta por algunas sustancias que previamente no se consideraban como tal y que presenta un papel importante sobre la salud, mayor del que se le atribuía con anterioridad. No existe una definición totalmente aceptada ni a nivel europeo ni mundial, sin embargo existe un consenso acerca de que la definición debe incluir el papel fisiológico de la fibra alimentaria (Gray, 2006).

El término “fibra” se utilizó por primera vez a comienzos del siglo XIX, aunque referido exclusivamente a forrajes de animales. Más tarde se usó el concepto de “fibra bruta” que se refería al residuo que permanecía tras el tratamiento de los alimentos con álcalis y ácidos.

Sin embargo, hasta 1953 no se utilizó el término de “Fibra Alimentaria” (FA) como tal; éste fue utilizado por primera vez por Hipsley para referirse a *“aquel material derivado de la pared celular vegetal que permanece en las heces”*. Más tarde, Trowell (1974) adoptó el término definiéndolo como *“el esqueleto que queda de las*

*paredes celulares de los productos vegetales, presentes en nuestra dieta, que es resistente a la acción hidrolítica de las enzimas digestivas del hombre*". Esta definición implica que la fibra procede, principalmente, de las paredes celulares vegetales, sin embargo, no incluye una serie de polisacáridos no digeribles presentes en algunos alimentos y aditivos alimentarios, tales como gomas vegetales, pectinas, celulosa y almidones modificados. Por ello, Trowell y col. (1976) ampliaron la definición para incluir *"todos los polisacáridos, más la lignina, presentes en la dieta, que no son hidrolizados por las enzimas digestivas del hombre"*. De acuerdo con los conocimientos que actualmente se tienen, el único polisacárido digerible de las plantas es el almidón; en consecuencia, según esta definición el término fibra alimentaria se refiere, principalmente, a los polisacáridos distintos del almidón presentes en la dieta, como más tarde algunos autores la definirían.

Con posterioridad, se han ido proponiendo nuevas definiciones del término fibra alimentaria, como la de Cummings en 1981, Englyst y col. en 1982 y Eastwood en 1992, así como la de Bravo y col. (1995) en la que se incluyen los oligosacáridos, polisacáridos, polifenoles, almidón y proteínas resistentes al ataque enzimático.

Las definiciones más recientes emanan de la "American Association of Cereal Chemists", del "US Institute of Medicine", de la "Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments", del "Codex Alimentarius Commission" y del "Health Council of The Netherlands". Estas definiciones incluyen el efecto fisiológico de la fibra alimentaria, aunque con diverso énfasis (Gray, 2006):

*American Association of Cereal Chemists (AACC, 2001). "La fibra alimentaria es la parte o partes comestibles de las plantas y los carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado y que fermentan completa o parcialmente en el intestino grueso. La fibra alimentaria incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas. La fibra*

alimentaria promueve efectos fisiológicos beneficiosos como un efecto laxante y/o la regulación del colesterol y la glucosa sanguíneos” (AACC, 2001). Esta definición trata de reunir los aspectos reguladores, analíticos, nutricionales y fisiológicos de la fibra alimentaria y la inclusión de otras sustancias asociadas de las plantas como taninos o compuestos de Maillard, pudiendo extenderse a más componentes en el futuro. Esta definición fue adoptada por la AOAC (“Association of Official Analytical Chemists Internacional”) (McCleary, 2003).

*US Institute of Medicine (2002)*. Este organismo utiliza los siguientes conceptos para la definición:

- Fibra alimentaria: Carbohidratos no digeribles y lignina que proceden directamente del tejido vegetal.
- Fibra funcional: Carbohidratos no digeribles aislados que tienen efectos fisiológicos beneficiosos para el ser humano. Dentro de este grupo se consideran también a los fructooligosacáridos y al almidón resistente.
- Fibra total: Sería la suma de la fibra alimentaria y la fibra funcional.

Estos conceptos fueron adoptados por la “Food and Nutrition Board of the US Institute of Health” (McCleary, 2003).

*Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA, 2002)*. Según este organismo la fibra alimentaria consiste en:

- Carbohidratos (grado de polimerización  $\geq 3$ ) de origen vegetal y lignina u otros componentes no-carbohidratos, como polifenoles, ceras, saponinas, cutina, fitatos y fitoesteroles.
- Carbohidratos (grado de polimerización  $\geq 3$ ) que han sido procesados física, enzimática o químicamente, o que han sido sintetizados.

- Además, la fibra alimentaria no puede ser digerida ni absorbida en el intestino delgado, y al menos debe tener una de las siguientes propiedades: estimular la fermentación colónica, reducir los niveles de colesterol preprandial o reducir los niveles de glucosa en sangre y/o niveles de insulina postprandial.

*Codex Alimentarius Commission (CAC, 2006)*. Este concepto de fibra alimentaria coincide con lo señalado por el organismo anterior, añadiendo además que cuando los polisacáridos están en el tejido vegetal, la fibra alimentaria puede incluir fracciones de lignina y/u otros componentes que están asociados a dichos polisacáridos en la pared celular y que de hecho se pueden cuantificar por el método gravimétrico de la AOAC. Las fracciones de lignina y/u otros componentes, es decir, fracciones proteicas, compuestos fenólicos, ceras, saponinas, fitatos, cutina y fitoesteroles están íntimamente asociados a los polisacáridos. En este caso estas sustancias están incluidas en la definición de fibra alimentaria porque pueden proporcionar un efecto beneficioso adicional.

Sin embargo, cuando estos compuestos se añaden a un alimento que contiene polisacáridos no digeribles no pueden ser considerados como fibra porque no se encuentran estrechamente asociados, tal y como se indicaba anteriormente.

*Health Council of The Netherlands (2006)*. “La fibra alimentaria es un conjunto de sustancias que no se digieren ni se absorben en el intestino delgado humano, que tienen estructura química de carbohidratos, compuestos análogos a éstos, así como lignina y sustancias relacionadas”.

De todo lo expuesto, se deduce también que a lo largo del tiempo se han desarrollado numerosos métodos con el fin de estimar de forma cuantitativa la fibra total de los alimentos con un grado razonable de fiabilidad y reproducibilidad.

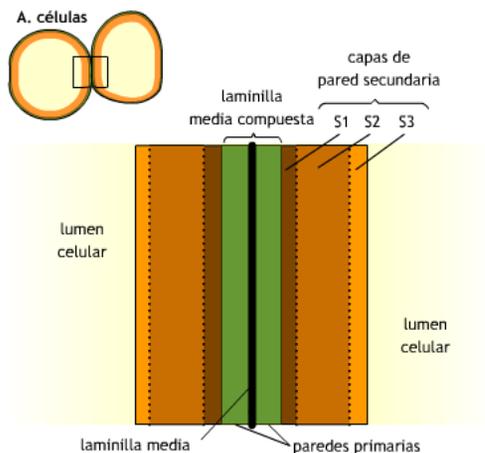
Actualmente, ningún método analítico es capaz de medir todos los componentes de la fibra en los alimentos, por lo que existe la necesidad de encontrar un método capaz de analizar todos los componentes descritos en la definición de la fibra alimentaria, y que al mismo tiempo excluya aquéllos que no interesen. Debido a la ausencia de un acuerdo internacional para definir y elegir un método adecuado para el análisis de la fibra alimentaria existen diversos métodos para aislar y fraccionar el grupo de sustancias que la conforman.

## **2.2. Composición**

### *Origen*

El origen fundamental de la fibra alimentaria es la pared celular de los vegetales, que consiste en una serie de polisacáridos, a menudo asociados o sustituidos con proteínas y compuestos fenólicos en algunas células, junto con la lignina. Este origen tiene una gran importancia, ya que sus componentes son los constituyentes de la fibra alimentaria, y además sus estructuras y enlaces determinan sus efectos fisiológicos (Selvendran y col., 1990; Bach Knudsen, 2001; Mateos-Aparicio, 2008).

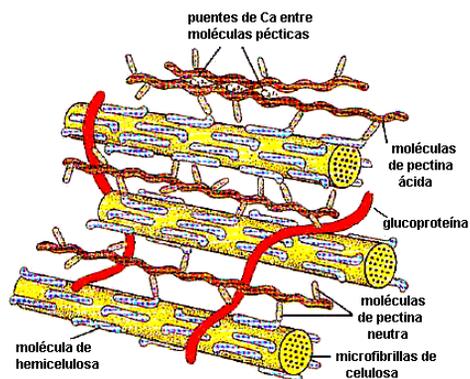
En la pared celular se pueden distinguir tres partes (Figura 1). La lámina media que es la capa más externa y está formada principalmente por sustancias pécticas. La pared primaria que está formada fundamentalmente por hemicelulosas y algo de celulosa. Se trata de una matriz desordenada donde está embebida la celulosa. Y por último, la pared secundaria que aparece cuando la célula termina su crecimiento. Está formada por celulosa, hemicelulosas, sustancias pécticas y lignina. Consta de tres capas: S1, S2 y S3 (Mateos-Aparicio, 2008)



**Figura 1.** Partes de la pared celular (Fuente [www.biologia.edu.ar/botanica/tema7/7-2pared1.htm](http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema7/7-2pared1.htm))

Todavía es necesario alcanzar un conocimiento profundo de la estructura de la pared celular, y aunque la estructura química de los componentes individuales está muy definida, sus proporciones relativas se conocen menos. En general, se considera que la pared está constituida por dos fases la fase fibrilar o esqueleto, y la fase amorfa o matriz (Figura 2).

La fase fibrilar está formada por celulosa, cuyas cadenas lineales de glucosa pueden alcanzar 4  $\mu\text{m}$  de longitud. Éstas se combinan en una disposición muy ordenada (mediante puentes de hidrógeno) que le otorga propiedades cristalinas, formando fibrillas elementales que se reúnen en microfibrillas visibles con microscopio electrónico. Los diseños formados por las microfibrillas son muy variables. En la pared primaria las fibrillas están entrelazadas, dispuestas aparentemente al azar, mientras que en la pared secundaria se disponen paralelamente. La separación de la pared secundaria en capas resulta principalmente de la orientación de las fibrillas: en una casi horizontal, en la siguiente casi vertical, y en la tercera nuevamente casi horizontal.



**Figura 2.** Estructura de la pared celular (Raven y col. 1991)

La fase amorfa está formada por hemicelulosas, sustancias pécticas y glicoproteínas; esta fase puede lignificarse. Las hemicelulosas revisten las fibrillas de celulosa y cristalizan con ella, uniéndolas, mientras que las sustancias pécticas están unidas entre sí mediante puentes de  $\text{Ca}^{++}$ . Las proteínas de la pared son ricas en serina e hidroxiprolina, y están unidas a arabinosa, glucosa y galactosa. Se cree que dichas glicoproteínas actúan como elementos estructurales, porque forman cadenas que pueden asociarse a otros componentes.

En la pared primaria es dominante la matriz amorfa, mientras que la fase fibrilar está reducida al 8-25%. En la pared secundaria domina la fase fibrilar, y la matriz amorfa está formada por hemicelulosas y lignina, mientras que las sustancias pécticas y las proteínas prácticamente desaparecen.

### *Componentes*

Para el estudio de la composición de la fibra sus componentes se pueden clasificar en cuatro grupos (Tabla 2): Polisacáridos y oligosacáridos no digeribles, carbohidratos análogos, lignina y otras sustancias asociadas de las plantas.

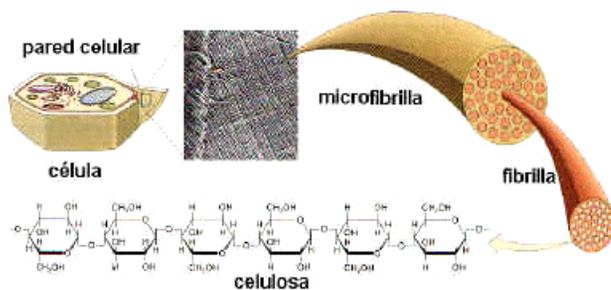
**Tabla 2.** Componentes de la Fibra Alimentaria

<b>Polisacáridos y oligosacáridos no digeribles</b>	Celulosa Hemicelulosa Pectina $\beta$ -Glucanos Gomas Mucílagos Almidón resistente Fructanos, fructooligosacáridos Galactooligosacáridos
<b>Carbohidratos análogos</b>	Dextrinas (oligosacáridos producidos por la hidrólisis ácida del almidón) Derivados sintéticos: hidroxipropilmetilcelulosa, metilcelulosa
<b>Lignina</b>	
<b>Otras sustancias asociadas de las plantas</b>	Fitatos Cutina Saponinas Suberina Taninos Ceras

Informe Comité Técnico de Fibra Alimentaria, Septiembre 2001 (AACC, 2001)

### Polisacáridos no digeribles

*Celulosa:* Polímero lineal no ramificado de alto peso molecular formado por unidades de D-glucosa unidas por enlaces  $\beta$  (1-4), lo que proporciona una configuración extendida y rígida que no puede ser degradada por las enzimas del intestino humano. Los grupos hidroxilo de las unidades de glucosa favorecen la formación de puentes de hidrógeno intra- e intercatenariamente lo que conduce a la formación de microfibrillas de 10 a 25 nm de espesor que forman una estructura cristalina muy estable (Figura 3). La celulosa es un compuesto muy higroscópico, se hincha pero no se disuelve en agua ni en la mayoría de los disolventes. Es el componente más abundante de las paredes celulares de las plantas superiores (Lineback, 1999; Mataix y Gassull, 2002), representando cerca de 1/4 de la fibra alimentaria de los granos de cereales y frutas, y de 1/3 en hortalizas y frutos secos (Gray, 2006).



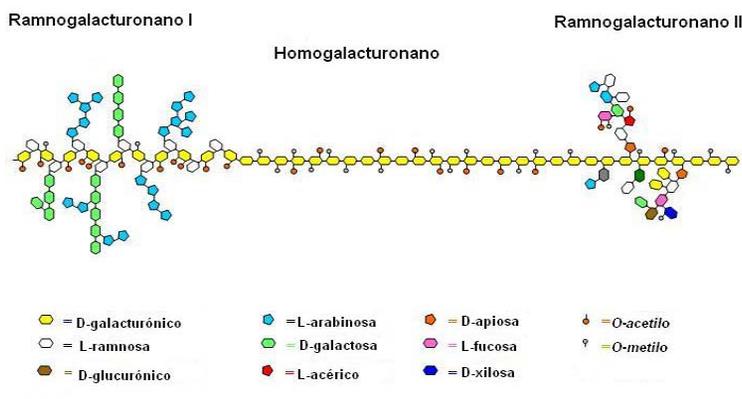
**Figura 3.** Estructura y disposición de la celulosa dentro de la pared celular (Moore y col., 1995)

*Hemicelulosas:* Polisacáridos de estructura compleja y composición química heterogénea, que junto con la celulosa, constituyen los polisacáridos mayoritarios de la pared celular. En general, son polímeros con una cadena principal plana de azúcares con enlaces  $\beta$  (1-4), de la que puede salir un número variable de ramificaciones laterales cortas. Además, se caracterizan por no formar agregados cristalinos, y por tanto su estructura es menos rígida que la de la celulosa. Las hemicelulosas no se digiere en el intestino delgado humano, aunque sí se degradan parcialmente en el colon por la acción de la microbiota intestinal. Los principales azúcares que la constituyen son de la serie D, xilosa, galactosa, manosa, glucosa, ácido galacturónico, y de la serie L, arabinosa, ramnosa y fructosa, y los polímeros hemicelulósicos más abundantes y distribuidos son los xilanos, los  $\beta$ -glucanos y los xiloglucanos (Lineback, 1999).

Las hemicelulosas se pueden clasificar en *hemicelulosas neutras* que incluyen pentosanas de arabinosa y xilosa, y hexosanas de galactosa, manosa y glucosa, y *hemicelulosas ácidas*, donde aparecen los ácidos galacturónico y glucurónico. Las diferencias en la composición química hacen que presenten distintas propiedades físicas y químicas, de manera que en este grupo existen componentes solubles e insolubles (Lineback, 1999; Mataix y Gassull, 2002; Gray, 2006).

*Sustancias pécticas:* Bajo este nombre se engloban un grupo de sustancias asociadas a las hemicelulosas en las paredes celulares que actúan como cemento, es decir, llenan los espacios intercelulares en tejidos jóvenes y proporcionan firmeza y textura a frutas y hortalizas.

Son una compleja mezcla de polisacáridos coloidales cuyos principales constituyentes son los ramnogalacturonanos (I y II), consistentes en cadenas de ácido D-galacturónico unidos por enlaces  $\alpha$  (1-4) con residuos interpuestos de L-ramnosa. Estos polímeros pueden aparecer parcialmente esterificados con grupos metilo (pectinas) o libres (ácidos pécticos). Además, pueden presentar cadenas laterales, siendo los azúcares neutros más comunes la D-galactosa y la L-arabinosa, que se asocian al ramnogalacturonano, formando cadenas de galactanos, arabinanos y arabinogalactanos (Lineback, 1999) (Figura 4).



**Figura 4.** Estructura de las sustancias pécticas (Mateos-Aparicio, 2008)

La solubilidad en agua de las sustancias pécticas depende del grado de polimerización, presencia de cadenas laterales y de grupos metilo, así como la distribución de éstos. También tienen capacidad de formar geles en presencia de ácidos, sales y azúcares, por lo que se usan como gelificantes y espesantes en diferentes productos alimenticios. Además, son capaces de absorber gran

cantidad de agua (hidrocoloides). Estas sustancias ni se absorben ni se digieren en el intestino delgado, pero sufren hidrólisis y fermentación en el colon.

*β-Glucanos*: Polímeros de glucosa con distintos enlaces entre las unidades; son pequeños y presentan una estructura ramificada (Figura 5). Estas características influyen en su solubilidad y les hace capaces de formar soluciones viscosas. Estos compuestos son los mayoritarios en las paredes celulares de los granos de avena y cebada. Tienen gran interés como fuente de fibra soluble (Gray, 2006).

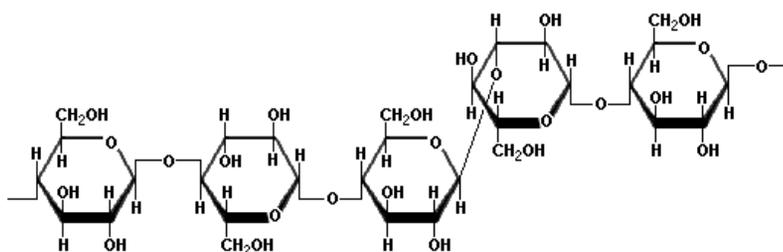


Figura 5. Estructura del  $\beta$ -Glucano

*Gomas y mucílagos*: Hidrocoloides que comprenden una amplia mezcla de polisacáridos viscosos. Estos polisacáridos suelen ser utilizados como aditivos alimentarios por su capacidad de gelificación, sus propiedades espesantes, estabilizantes y emulsificantes. Se pueden obtener de distintas fuentes, como son los exudados de plantas, las semillas de cereales y las algas.

*Almidón resistente*: Es el almidón que no se digiere en el intestino delgado y que es fermentado por la microflora del intestino grueso. Existen cuatro clases de almidón resistente: almidón físicamente inaccesible, gránulos de almidón nativo, almidón retrogradado y almidón químicamente modificado. El contenido de almidón resistente de los alimentos puede variar durante su almacenamiento y durante la preparación del alimento, por lo que su cuantificación exacta en el momento de consumirlo es prácticamente imposible (AACC, 2001; Gray, 2006).

### **Fructanos y oligosacáridos no digeribles**

Este grupo incluye a los fructanos y a los oligosacáridos con un grado de polimerización de 3-10 que resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas. Los oligosacáridos no digeribles (OND) están presentes de manera natural en los alimentos, principalmente en hortalizas, cereales y frutas. Estos compuestos se pueden incluir en la definición de fibra alimentaria debido a su resistencia a la digestibilidad y su fermentación en el colon, y a que presentan efectos fisiológicos similares a los de los polisacáridos no digeribles. Estos oligosacáridos son muy fermentables y presentan lo que se conoce como efecto prebiótico (Gray, 2006; Mussatto y Mancilha, 2007).

*Fructanos:* Tales como la inulina y los fructooligosacáridos (FOS). Son los prebióticos más conocidos y los únicos OND que en la actualidad poseen una alegación en salud, concedida por la Comisión Europea (Tuohy y col., 2005), de manera que se permite su comercialización en Europa como ingredientes funcionales.

*α-Galactósidos:* Incluyen a la rafinosa, estaquiosa y verbascosa. Se encuentran normalmente en legumbres y están asociados con la flatulencia que produce el consumo de éstas (Lineback, 1999).

### **Carbohidratos análogos**

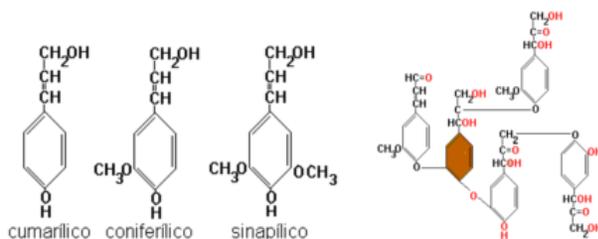
*Carbohidratos sintéticos:* Dentro de éstos se incluyen derivados sintéticos de la celulosa, como metilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa, que no son digeribles, son solubles y se fermentan poco en el colon, y que han sido aceptados como parte de la fibra alimentaria ya que son cuantificadas por el método oficial de la AOAC. Además, también forma parte de este grupo la povidina, que es un polímero no digerible que se sintetiza a partir de glucosa y sorbitol con un grado de polimerización medio de 12, resistente a la hidrólisis enzimática en el intestino y que fermenta parcialmente en el colon,

aproximadamente el 50% en humanos. Además, tiene propiedades prebióticas y espesantes. Ha sido estudiado por sus propiedades funcionales y fisiológicas, pero no es cuantificada por los métodos de análisis de fibra (AACC, 2001).

*Dextrinas resistentes:* Éstas se producen por calentamiento a pH básico o por tratamiento enzimático del almidón, y suelen presentar un grado de polimerización de 15. Son parcialmente indigeribles por las enzimas digestivas humanas y parcialmente fermentadas en el colon, por lo que se comportan fisiológicamente como fibra alimentaria. El efecto prebiótico de las dextrinas no ha sido confirmado todavía (Gray, 2006).

### Lignina

Se trata de macromoléculas heterogéneas que forman polímeros tridimensionales de alto peso molecular por copolimerización oxidativa de alcoholes de la serie fenilpropano (alcohol cumarílico, coniferílico y sinapílico) (Figura 6). Forman la estructura de la parte más dura o leñosa de los vegetales, y es totalmente indigerible. En la pared vegetal se encuentra unida químicamente a las hemicelulosas y, debido a su influencia sobre algunos aspectos de la fisiología gastrointestinal, se la incluye dentro de la categoría de fibra alimentaria. Esos efectos fisiológicos que se le atribuyen nunca se han demostrado en el hombre (Mataix y Gassull, 2002).



**Figura 6.** Monómeros y estructura de la lignina

### **Sustancias asociadas de las plantas**

*Taninos:* Además de lignina, en las paredes celulares se encuentran otros compuestos fenólicos, que en algún caso están unidos a los polisacáridos y son componentes minoritarios de la pared. Pueden ser hidrolizables, obteniéndose glucosa y ácidos fenólicos como productos de la hidrólisis, o taninos no hidrolizables.

*Fitatos:* El ácido fítico está asociado con la fibra en algunos alimentos; sus grupos fosfato tienen la capacidad de unirse a cationes como hierro, cinc, calcio y magnesio, lo que influiría en la absorción de estos minerales en el tracto gastrointestinal.

*Ceras:* Son mezclas de alcoholes, ácidos grasos y ésteres de ácidos grasos.

*Cutina:* Consiste en polímeros de hidroxiácidos con carácter bipolar que le permiten disponerse entre la estructura polisacárida de la pared celular.

*Suberina:* Su composición química es semejante a la de la cutina pero presenta un mayor número de ácidos dicarboxílicos y de fenoles.

Tanto ceras, como cutina y suberina tienen función impermeabilizante.

### **2. 3. Clasificación**

Al igual que su definición, la clasificación de la fibra está en pleno debate y puede realizarse atendiendo a distintos factores.

Una primera clasificación se puede realizar en función de la solubilidad de la fibra, lo que la divide en fibra insoluble y fibra soluble (Figura 7). Además, desde un punto de vista práctico, se considera apropiado clasificar la fibra según su grado de fermentación, lo que da lugar a grupos claramente diferenciados, el de las fibras totalmente fermentables y el de las parcialmente

fermentables (Figura 8). En la actualidad los dos conceptos más aceptados en torno a la fibra son: fibra fermentable, soluble y viscosa; y fibra parcialmente fermentable, insoluble y no viscosa (García Peris y Velasco Gimeno, 2007). Aunque, por ejemplo, la inulina y los FOS son solubles y fermentables, pero tienen una viscosidad muy baja.

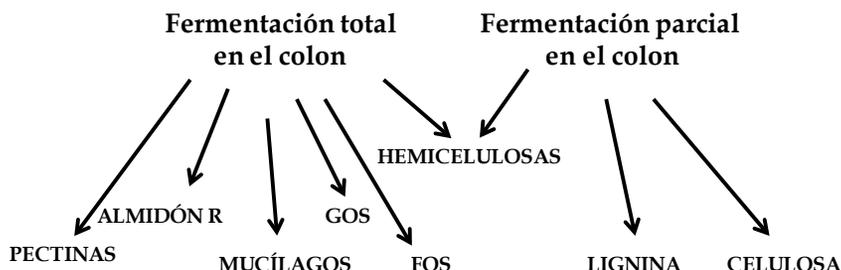
Fibra	Lignina		Insoluble en agua ("fibra insoluble")
	Polisacáridos no almidónicos	Celulosa	
		Hemicelulosa (tipo B)	
	Hemicelulosa (tipo A) Pectinas Gomas Mucilagos Otros Polisacáridos	Soluble en agua ("fibra soluble")	
Sustancias análogas a la fibra	Inulina Fructooligosacáridos		En su mayoría soluble en agua
	Almidón resistente		
	Azúcares no digeribles		

**Figura 7.** Clasificación de la fibra en función de su solubilidad en agua (Escudero y González, 2006)

En general, la fibra insoluble y parcialmente fermentable incrementa la motilidad del tracto gastrointestinal, lo que se traduce en un efecto laxante; aumenta la masa fecal y el peso de las heces e interfiere en la absorción de nutrientes, reduciendo, por ejemplo, la absorción de glucosa. En esta fracción se engloban celulosa, lignina y algunas hemicelulosas.

Por otra parte, la fibra soluble y totalmente fermentable al contacto con el agua forma geles viscosos en el intestino. Desde el punto de vista de funcionalidad intestinal, estas fibras retrasan el vaciamiento gástrico y ralentizan el tránsito intestinal. Además, se relaciona con el metabolismo de carbohidratos y lípidos.

En este sentido, se ha comprobado que la fibra soluble es capaz de disminuir los niveles de colesterol y triglicéridos en sangre, y retardar la absorción de glucosa. Esta fracción se haya compuesta por algunas hemicelulosas, sustancias pécticas, gomas, mucílagos, almidón resistente, inulina y oligosacáridos.



**Figura 8.** Clasificación de las fibras en función del grado de fermentación (García Peris y Velasco Gimeno, 2007)

Dada la confusión en cuanto a la clasificación de la fibra, en 1998 la FAO/WHO propuso una clasificación basada en el grado de polimerización de la misma, que incluía a los monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos, almidones y polisacáridos no-almidón (García Peris y col., 2002).

Más tarde, intentando incluir todos los conocimientos existentes acerca de la fibra, Ha y col. (2000) propusieron una clasificación que incluye el sitio de acción de la fibra, así como si es o no degradada por las enzimas colónicas, su origen (pared celular o no) y su naturaleza química.

## 2.4. Propiedades físico-químicas

La funcionalidad de los productos ricos en fibra y sus efectos fisiológicos dependen más de las propiedades físico-químicas que presenten que de su composición química (Figuerola y col., 2005). Estas propiedades vienen determinadas por el origen de la fibra, porcentaje de las fracciones soluble e insoluble que la formen, estructura de los tejidos, naturaleza de los compuestos

intracelulares, madurez del fruto, procesamiento que hayan sufrido o adición de compuestos (aditivos alimentarios, almidones modificados) que influyen en las características físico-químicas de los alimentos procesados (Guillon y Champ, 2000; Jaime y col., 2002).

Las principales propiedades físico-químicas de la fibra son: tamaño de partícula, características de superficie de la partícula, propiedades de hidratación, formación de soluciones viscosas, capacidad de retención de compuestos orgánicos, capacidad de intercambio catiónico y capacidad de fermentación.

#### *Tamaño de partícula*

Juega un papel importante en el control de numerosos procesos del tracto digestivo como son el tiempo de tránsito, la fermentación y la excreción fecal (Guillon y Champ, 2000). Esto afecta principalmente a la capacidad de adsorción y retención de sales, a la degradación de los compuestos intracelulares (como proteínas, almidón y lípidos) por las secreciones digestivas, y a la superficie expuesta a las secreciones intestinales, así como a las bacterias (Jaime, 2000).

El tamaño de partícula depende del tipo de pared celular y del grado de procesamiento que presente el alimento vegetal, pero también puede variar durante el tránsito en el tracto digestivo como resultado de la masticación, paso por el estómago y degradación bacteriana en el intestino grueso (Guillon y Champ, 2000), reduciéndose considerablemente el tamaño.

Como regla general el tamaño óptimo medio de partícula varía entre 350 y 200  $\mu\text{m}$ . Un tamaño menor puede tener consecuencias negativas, ya que podrían pasar por persorción al sistema linfático y circulatorio lo que provocaría un aumento en la actividad del riñón.

### *Características de superficie de la partícula*

La porosidad y la superficie disponible son propiedades que influyen en otras características físico-químicas, como el proceso de fermentación de la fibra alimentaria, además de jugar un papel importante en la adsorción o unión de algunas moléculas. En este sentido, un mayor número de poros permite una mayor hidratación de la partícula, y una mayor superficie disponible posibilita una unión mayor a cationes y a moléculas orgánicas. Esta propiedad va a depender del origen y tratamiento al que se someta al alimento (Guillon y Champ, 2000).

### *Propiedades de hidratación*

Capacidad de retención del agua: La fibra tiene capacidad para retener agua, es decir, es capaz de inmovilizar agua dentro de la matriz que la forma. Algunas moléculas de agua son adsorbidas por las superficies expuestas de los polímeros de la fibra, otras quedan dentro de la matriz de la pared celular, y otras llenan las células deshidratadas y las células parcialmente rotas. En cualquier caso, la hidratación de la fibra se produce mediante la formación de puentes de hidrógeno.

Capacidad de hinchamiento: Se trata de la primera parte del proceso de solubilización y consiste en la entrada de agua entre las macromoléculas, lo que hace que éstas se expandan hasta que son completamente extendidas y dispersadas, después de lo cuál se solubilizarían. La capacidad de hinchamiento es variable, por ejemplo las pectinas aisladas tienen gran capacidad para hincharse, pero cuando forman parte de una malla con pocas sustancias hidrofílicas esta capacidad se ve disminuida (Bach Knudsen, 2001).

La capacidad de hinchamiento y la capacidad de retención de agua proporcionan una visión general de la hidratación de la fibra e información útil para el suplemento de los alimentos con fibra (Guillon y Champ, 2000).

Solubilidad: La capacidad de los polisacáridos de solubilizarse en agua depende de su estructura; en el caso de que los polisacáridos adopten estructuras regulares y ordenadas no es posible su solubilización, como la celulosa o los arabinosilanos lineales, de manera que estas estructuras sólo pueden hincharse. Sin embargo, las pectinas normalmente son solubles en agua, aunque esta solubilidad va a depender del grado de esterificación de las cadenas de ácido galacturónico, así como de la cantidad de cadenas laterales que presenten en su estructura. La mayoría de las gomas usadas como aditivos alimentarios son solubles en agua, mientras que las ceras y cutinas debido a su carácter lipídico son hidrofóbicas y, por tanto, insolubles en agua, al igual que la lignina.

En general, la composición química y las características físicas de la fibra van a influir en las propiedades de hidratación, por ejemplo, las fibras que están compuestas principalmente por paredes primarias presentan mayor capacidad de hidratación que aquéllas que están compuestas mayoritariamente por secundarias. Asimismo, procesamientos como molienda, secado, tratamiento térmico o extrusión, que modifican las propiedades físicas de la fibra, también afectan a las propiedades de hidratación. Las condiciones del medio como pH, fuerza iónica y la naturaleza de los iones, también pueden influir en la hidratación de fibras que contengan polielectrolitos (grupos carboxilo cargados en las fibras ricas en pectinas); la constante dieléctrica del medio y la temperatura también pueden afectar a la hidratación (Guillon y Champ, 2000).

#### *Formación de soluciones viscosas*

La mayoría de los polisacáridos dan soluciones viscosas cuando se disuelven en agua (Bach Knudsen, 2001). El aumento de la viscosidad y formación de geles tiene importancia ya que los componentes viscosos pueden retrasar el vaciado gástrico. Esto es importante para diabéticos e individuos obesos, ya que al disminuir la velocidad del vaciado gástrico, la absorción en el intestino es más

lenta, lo que origina una respuesta glucémica en la sangre más reducida después de las comidas.

#### *Capacidad de retención de compuestos orgánicos*

La fibra posee la propiedad de unirse a un gran número de compuestos orgánicos tales como sales biliares, colesterol u otras grasas, hidratos de carbono, como la glucosa, y proteínas, e incluso a sustancias cancerígenas. Esta adsorción o unión se produce a lo largo del tracto gastrointestinal, evitando así que las enzimas digestivas puedan degradarlos y que sean absorbidos a través de la mucosa intestinal. Esto puede tener un papel importante en determinados efectos fisiológicos que se le atribuyen a la fibra alimentaria, por ejemplo, el efecto hipocolesterolémico e hipoglucémico.

El efecto hipocolesterolémico lo presentan sobre todo aquellas fibras ricas en ácidos urónicos y compuestos fenólicos. El mecanismo por el cual los ácidos biliares se adsorben en la fibra todavía no se conoce con exactitud; se han propuesto uniones hidrofóbicas e interacciones iónicas en las que están involucrados cationes de calcio y aluminio (Thibault y col., 1992). Además, el pH, el tiempo de exposición, las formas físicas y químicas de la fibra y la naturaleza de los ácidos biliares pueden influir en la capacidad de absorción de los ácidos biliares (Guillon y Champ, 2000).

#### *Capacidad de intercambio catiónico*

La capacidad de intercambio catiónico es debida a la presencia de grupos ionizables en la estructura química de la fibra y de sustancias asociadas como el ácido fítico, que tiene una elevada capacidad de fijar cationes divalentes y trivalentes, sobre todo el calcio. Los grupos ionizables presentes en la fibra son los grupos carboxilo o grupos hidroxilo de las pectinas. Estos últimos no tienen un efecto nutricional sobre la absorción de minerales y elementos traza, mientras que las sustancias asociadas como los fitatos pueden tener un efecto

negativo, al disminuir el grado de disponibilidad de algunos cationes divalentes esenciales como hierro, cinc y calcio (Jaime, 2000; Guillon y Champ, 2000). Aunque la capacidad de intercambio catiónico puede estar relacionada con ciertos desequilibrios minerales que puede presentar el organismo debido al consumo de fibra, *in vivo* se produce la fermentación de la fibra soluble, que es la responsable principal de dicha capacidad (Guillon y col., 2000). No obstante, esta propiedad podría tener un efecto positivo, ya que elementos metálicos potencialmente tóxicos podrían ser también retenidos y eliminados del organismo junto con la fibra alimentaria.

Además, esta capacidad de intercambiar cationes podría tener otro efecto positivo según Furda (1990), quien indica que las fibras con alta capacidad de intercambiar cationes podrían atrapar, desestabilizar y desintegrar la emulsión de los lípidos, lo que produciría un descenso en su difusión, absorción y utilización, incluido el colesterol.

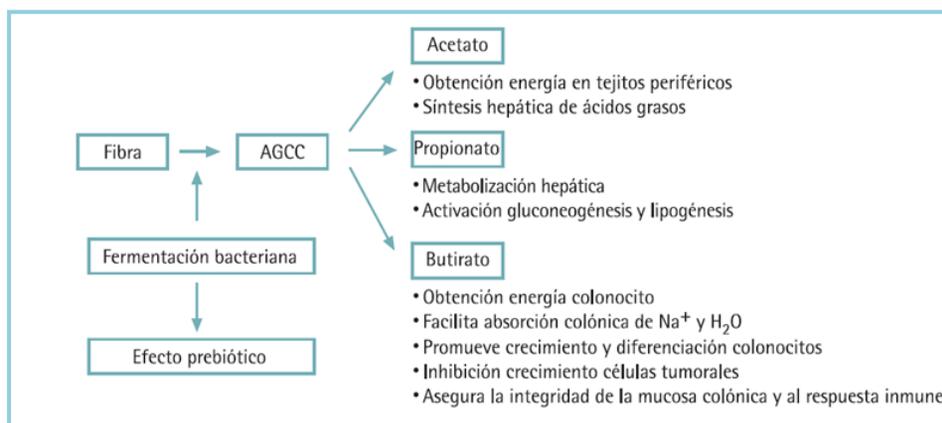
### *Capacidad de fermentación*

La fibra llega al intestino grueso, después de haber atravesado el estómago y el intestino delgado, sin haber sufrido ningún tipo de degradación, y es aquí donde muchos de sus componentes sufren una fermentación total o parcial por las enzimas bacterianas presentes en él. Las principales bacterias que son capaces de hidrolizar los polisacáridos de la fibra son *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Ruminococcus* y algunas especies de *Eubacterium* y *Clostridium* (Guillon y col., 2000). Los polisacáridos son degradados a oligosacáridos por las enzimas extracelulares de las bacterias del colon, siendo utilizados como fuente de energía, produciendo ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como acetato, butirato y propionato, gases como hidrógeno, dióxido de carbono y metano, dando lugar también a un aumento de la biomasa (Schneeman, 1986).

La velocidad y el grado de fermentación dependen de la concentración en la que estén presentes los polisacáridos, sus propiedades físico-químicas, su

solubilidad y estructura, su procesamiento (Dust y col., 2004), la accesibilidad de las bacterias a estos polisacáridos y la presencia de otros componentes vegetales capaces de inhibir la actividad enzimática (Bravo y col., 1994). En este sentido, aquellas fuentes de fibra que tengan una alta solubilidad pueden ser rápidamente degradadas por las bacterias, probablemente debido a la capacidad de retención de agua que permite a las bacterias penetrar dentro de la matriz de fibra. Por ejemplo, la mayoría de los polisacáridos solubles, los polioles y los oligosacáridos fermentan rápida y completamente, mientras que el almidón resistente fermenta completamente, aunque de forma lenta, y la celulosa y las hemicelulosas son parcialmente resistentes a la fermentación.

Es probablemente la capacidad de fermentación, la propiedad más importante de un gran número de fibras, ya que de ella derivan multitud de efectos tanto locales como sistémicos (Figura 9) (Escudero y González, 2006).



**Figura 9.** Acciones derivadas de la fermentación de la fibra alimentaria

## 2.5. Efectos fisiológicos

Los efectos beneficiosos de la fibra han sido atribuidos al papel modificador que ejerce sobre algunas actividades fisiológicas del intestino humano que a su vez influyen en la actividad metabólica del cuerpo. El aumento del bolo fecal, mejorando las funciones del intestino grueso, la disminución de los niveles plasmáticos de colesterol, así como una disminución de la respuesta glucémica, son los principales efectos beneficiosos atribuibles a un consumo adecuado de fibra, mientras que la disminución de la biodisponibilidad de nutrientes parece ser el único aspecto adverso debido a la ingestión de niveles inapropiados de fibra en la dieta.

Los mecanismos de acción no están totalmente definidos, aunque están relacionados con las propiedades físico-químicas de la fibra. Los efectos fisiológicos aparecen resumidos en la Figura 10.

	Fibra soluble	Fibra insoluble	Efecto fibra total
<b>Estómago</b>	↓ Vaciamiento gástrico ↑ Distensión gástrica		↑ Sensación de saciedad
<b>Intestino delgado</b>	↓ Tiempo de tránsito FORMACIÓN DE SOLUCIONES VISCOSAS (GELES)	“EFECTO ESPONJA”	↓ Absorción de nutrientes (glucosa, lípidos) ↓ Reabsorción ácidos biliares
<b>Colon</b>		ABSORCIÓN CANCERÍGENOS ↑ Fermentación bacteriana ↑ AGCC ↓ Tiempo de tránsito	EFECTO PREBIÓTICO ↑ Absorción agua y Na <sup>+</sup> ↑ Proliferación celular normal ↓ pH luz intestinal ↓ Proliferación células tumorales ↑ Volumen contenidos intestinales (efecto laxante)

**Figura 10.** Efectos fisiológicos de la fibra (Zarzuelo y Gálvez, 2005)

*Promoción de la saciedad y reducción del consumo de calorías*

Los alimentos ricos en fibra alimentaria son digeridos más despacio que otro tipo de alimentos, ya que se necesita más tiempo para masticarlos, lo que contribuye a la secreción de saliva y jugo gástrico. Además, la fibra alimentaria retrasa el vaciado gástrico, porque distiende las paredes del tracto gastrointestinal, estimulando los reflejos de saciedad y enlenteciendo la absorción de nutrientes. Por otro lado, algunos estudios en seres humanos indican que tanto el contenido de fibra como su estructura son importantes en la inducción de la sensación de saciedad (Slavin, 2005; Bornet y col., 2007).

Sin embargo, el principal efecto para explicar la sensación de saciedad de la fibra podría ser el aumento de la secreción de colecistoquinina, ya que retrasa el vaciado gástrico, disminuye la hiperglicemia postprandial y aumenta la saciedad. La fibra alimentaria aumenta su secreción, porque su viscosidad aumenta el tiempo de contacto entre la grasa, los aminoácidos y los receptores intestinales, lo que favorece la unión y por tanto la secreción (Holt y col., 2001; Mälkki, 2001).

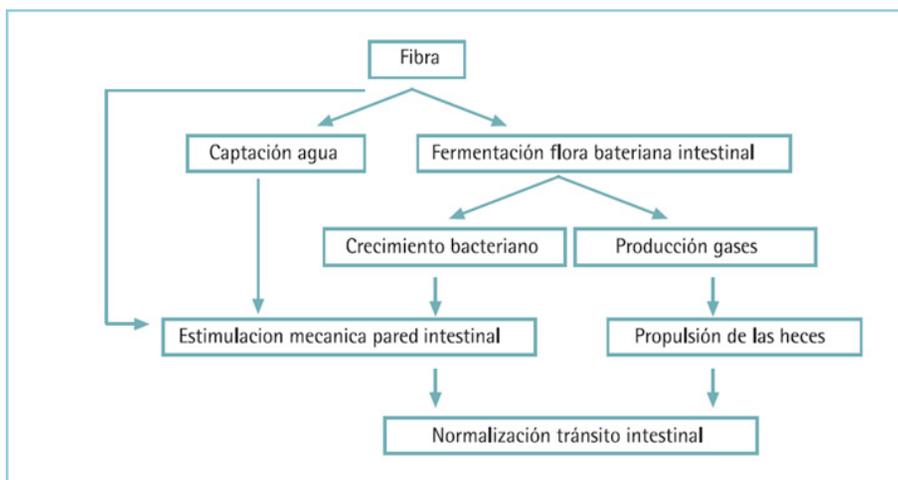
Los mecanismos fisiológicos implicados en el efecto de la fibra sobre la reducción del consumo de calorías son su baja densidad calórica, el aumento de la saciedad y la disminución de la eficiencia en la absorción en el intestino delgado (Slavin, 2005; Bornet y col., 2007).

Todo lo expuesto anteriormente unido a que la fibra puede modificar la deposición de grasa y estimular la lipólisis vía insulina podría resultar en una reducción del peso corporal. No obstante, la suplementación con fibra como ayuda en la prevención y control de la obesidad es un tema controvertido, a pesar de que existen estudios epidemiológicos que han demostrado que la fibra alimentaria es una importante herramienta en la prevención de la obesidad.

### *Regulación de la función colónica*

En el colon es donde la fibra ejerce sus máximos efectos, ya que además de diluir el contenido intestinal, sirve de sustrato para la flora bacteriana, capta agua y fija cationes (Figura 11). Los efectos fisiológicos de la fibra alimentaria en el colon dependen de los componentes que la constituyen. La fibra insoluble presenta efectos mecánicos que implican el acortamiento del tiempo de tránsito intestinal, mientras que la fibra soluble tiene efectos sistémicos (Bennett y Cerda, 1996).

La fibra, en especial la insoluble o poco fermentable, debido a su capacidad para retener agua, produce un aumento del bolo fecal, con heces más blandas que disminuyen la presión intraluminal del colon. Al mismo tiempo, el hinchamiento del bolo fecal aumenta el peristaltismo, reduciendo el tiempo de tránsito intestinal; es, por tanto, fundamental en la prevención y en el tratamiento del estreñimiento. Los efectos de la fibra sobre el aumento del bolo fecal y la regulación del ritmo y del tránsito intestinal se deben también a la estimulación de la flora bacteriana y al aumento de la producción de gas (García Peris y Velasco Gimeno, 2007).



**Figura 11.** Mecanismo de acción de la fibra sobre el tracto gastrointestinal

La fibra soluble viscosa es metabolizada por las bacterias colónicas en mayor medida que la fibra insoluble, así la viscosidad disminuye y los productos de degradación de la fermentación son usados como nutrientes por la microflora del colon. El aumento de la masa celular microbiana tiene una alta capacidad de retención de agua, causando el ablandamiento de las heces y evitando el estreñimiento (Gray, 2006; Mussatto y Mancilha, 2007).

Además, la fibra alimentaria actúa positivamente en casos de diarrea, en el tratamiento de la enfermedad de colon irritable, y parece tener un papel positivo en la diverticulitis y la enfermedad inflamatoria intestinal (Gray, 2006).

La fermentación de la fibra por la flora del colon favorece la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), que a su vez promueven la reabsorción de agua y electrolitos, como sodio y cationes divalentes, estimulan el trofismo intestinal, sobre todo el butirato que aporta energía, aumenta el flujo sanguíneo del colon, incrementa la secreción pancreática y de otras hormonas gastrointestinales, además de estimular el sistema nervioso autónomo, y el mantenimiento de la función de barrera intestinal (García Peris y col, 2002). Además, los AGCC inhiben el crecimiento de bacterias perjudiciales y estimulan el de la flora intestinal beneficiosa, reducen intolerancias y alergias alimentarias y la producción de compuestos no deseables como aminas, fenoles y ácidos biliares secundarios (Gray, 2006).

### *Sistema inmune y función de barrera intestinal*

El mecanismo por el que la fibra afecta a la función inmune en el intestino todavía no ha sido establecida, aunque se han propuesto varios mecanismos como hipótesis (Schley y Field, 2002).

El primer mecanismo sugiere que la modulación del sistema inmune se produce por contacto directo entre las bacterias ácido lácticas o productos bacterianos

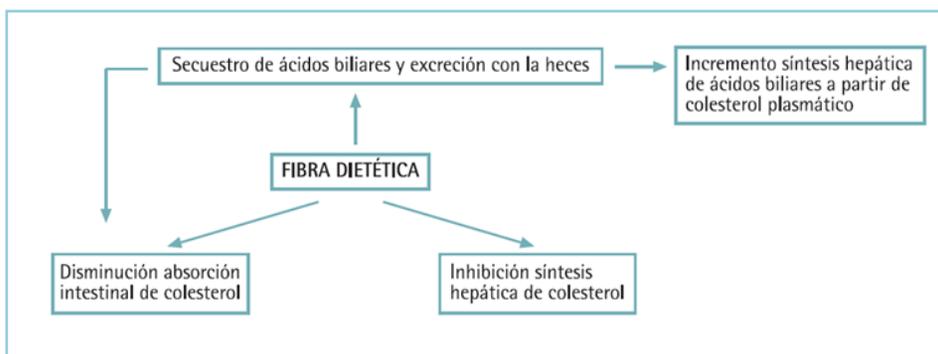
(componentes de la pared celular o citoplasmáticos) y células del sistema inmune en el intestino. Este mecanismo ha sido apoyado por estudios *in vitro*.

El segundo mecanismo sería la producción de AGCC por la fermentación de la fibra. Existen varios estudios que apoyan directa o indirectamente las propiedades inmuno-moduladoras de los AGCC (Pratt y col., 1996; Bohming y col., 1997). Los AGCC, sobre todo el butirato, tienen propiedades anti-inflamatorias, porque disminuyen la producción de algunas citoquinas proinflamatorias (Schley y Field, 2002). Además, el butirato disminuye la expresión de receptores específicos de células inmunes y epiteliales, influye en la activación de los linfocitos e inhibe la proliferación celular (Gray, 2006).

El tercer mecanismo por el que la fibra alimentaria afecta al sistema inmune del intestino es la regulación en la producción de mucus. Existen estudios que muestran cómo la fibra produce un incremento en dicha producción; el aumento en la cantidad de mucus, que se produce como respuesta al descenso del pH que acompaña a la producción de AGCC, provoca una reducción en el número de bacterias que pasan a través del intestino (Schley y Field, 2002).

#### *Reducción del colesterol sanguíneo*

El efecto reductor del colesterol sanguíneo de distintas fuentes de fibra alimentaria ha sido ampliamente documentado. Los distintos mecanismos propuestos para explicar los beneficios de la fibra estarían relacionados con la capacidad de la fibra para limitar la absorción intestinal del colesterol y quelar las sales biliares, así como para inhibir alguna enzima implicada en la síntesis endógena del colesterol (Figura 12) (Escudero y González, 2006).



**Figura 12.** Mecanismos de la acción hipocolesterolémica de la fibra

Por un lado, una alta viscosidad del alimento va a limitar el acceso del colesterol a la mucosa intestinal, y además los componentes de la pared celular van a dificultar la formación de micelas, lo que impediría la emulsión del colesterol. Asimismo, la pared celular va a actuar como barrera física entre las grasas y las enzimas digestivas en el intestino. Por todo ello, una proporción alta de colesterol va a ser excretada con las heces fecales.

Por otro lado, los ácidos biliares se van a unir a los componentes de la fibra en el intestino delgado, lo que va a disminuir su reabsorción en el íleon terminal. Por tanto, la cantidad de ácidos biliares que llega al colon para su excreción junto a las heces es mayor, descendiendo la cantidad de estos ácidos que regresa al hígado por circulación enterohepática. Los ácidos biliares reabsorbidos vuelven al hígado y regulan tanto la síntesis de colesterol como la formación de nuevos ácidos biliares. Así, el descenso en la reabsorción de los ácidos biliares produce un déficit de sus niveles hepáticos lo que hace que aumente su síntesis, para lo que se va a utilizar tanto el colesterol del hepatocito como el sanguíneo, lo que va a disminuir la cantidad de colesterol.

Por último, el consumo de fibra podría producir una disminución de la síntesis de colesterol en el hígado por diferentes motivos. Uno de ellos sería debido a la reducción de la concentración de insulina en sangre por consumo de fibras

viscosas, ya que la insulina se encarga de estimular la enzima limitante en la síntesis de colesterol, hidroximetil glutaril coenzima A reductasa. Otro de los factores que influiría en la síntesis de colesterol podría ser el perfil alterado de los ácidos biliares en el hígado, especialmente la alta concentración de ácido deoxicólico, el cuál es capaz de inhibir la síntesis del colesterol (Mälkki, 2001). Además, el propionato generado durante la fermentación de la fibra en el colon llega al hígado donde inhibe la actividad de la hidroximetil glutaril coenzima A y por tanto la síntesis de colesterol (Guillon y col., 2000; García Peris y col., 2002).

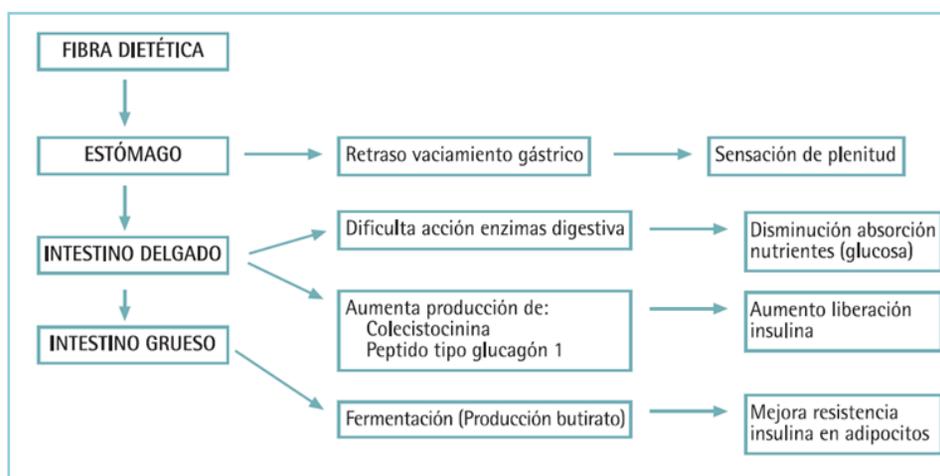
Además, el consumo de fibra produciría una alteración en la producción de lipoproteínas en el hígado y descenso de las mismas en el torrente sanguíneo, lo que resultaría en un descenso de los niveles totales de colesterol y colesterol LDL, lo que disminuiría el riesgo de enfermedad coronaria (Gray, 2006).

#### *Atenuación de la glucosa en sangre*

Los alimentos ricos en fibra alimentaria, especialmente en fibra soluble, se caracterizan por reducir la respuesta glucémica, lo que provoca que la respuesta de la insulina sea menor y más lenta, por lo que se recomienda el consumo de este tipo de alimentos a personas diabéticas (Guillon y Champ, 2000; Gray, 2006).

Varios estudios han demostrado que una dieta rica en carbohidratos no digeribles reduce la concentración de glucosa en sangre y disminuye el grado de hiperinsulinemia en los pacientes con diabetes tipo 2 (Chandalia y col., 2000). La fibra alimentaria puede ser interesante en los individuos con diabetes tipo 1 debido a que presenta carbohidratos de digestión lenta que regulan las necesidades de insulina porque la absorción intestinal de los nutrientes se produce de manera más lenta, mejorando la tolerancia a la glucosa (Holt y col., 1996; AACC, 2001).

Los mecanismos implicados en el efecto de la fibra sobre la respuesta glucémica están relacionados con la estructura del alimento, especialmente con la integridad de las paredes celulares, y con las características intrínsecas de la fibra, principalmente su capacidad para incrementar la viscosidad (Figura 13). Así, los alimentos con menor índice glucémico son aquéllos que no están fraccionados, ya que en éstos la fibra está incluida en la pared celular, y si ésta no se rompe durante el proceso de preparación o masticado, va a proteger al almidón, que se encuentra dentro de la célula, hasta el estómago o incluso hasta la acción microbiana en el intestino grueso. Por tanto, aquellos alimentos que posean las paredes celulares más resistentes presentarán un índice glucémico menor (Guillon y Champ, 2000; Gray, 2006).



**Figura 13.** Mecanismos de acción de la fibra en el control de la glucemia

Por otro lado, la viscosidad podría influir en la absorción de la glucosa por varios mecanismos como son retraso en el vaciamiento gástrico, descenso en la accesibilidad de la  $\alpha$ -amilasa hacia su sustrato (almidón), retardo en la absorción de la glucosa por quedar atrapada en la fibra, por descender su difusión y por un incremento de la capa de agua que se forma en la superficie del intestino delgado.

Además, la fibra alimentaria produce el incremento de la liberación de la insulina y la disminución de la resistencia a esta hormona. Este factor parece jugar un papel muy importante en el control de la glucemia en pacientes con diabetes tipo 2. Algunos de estos efectos se deben a la capacidad de la fibra para estimular la liberación de varias hormonas gastrointestinales como la colecistoquinina (CCK) y el péptido glucagón tipo 1 (GLP-1). Estas hormonas han demostrado que ralentizan el vaciamiento gástrico, incrementan la liberación de insulina e inhiben la secreción de glucagón por el páncreas. Por otra parte, promueven la captación de glucosa por los tejidos periféricos y reducen la aportación hepática de glucosa, efectos que mejorarían la resistencia a la insulina. A esta última acción también puede contribuir la formación de AGCC por la fermentación de la fibra alimentaria, ya que el butirato podría actuar reduciendo la resistencia periférica a la insulina. Además, el propionato inhibe la gluconeogénesis en el hígado (Escudero y González, 2006; García Peris y col., 2002).

### *Prevención contra el cáncer*

El efecto de la fibra alimentaria sobre el cáncer colorrectal es un tema que genera controversias. Existen varios mecanismos mediante los cuales el consumo de fibra alimentaria podría contribuir a la reducción del riesgo de cáncer colorrectal, así como de otras enfermedades crónicas del aparato digestivo (Gray, 2006). Entre ellos se encontrarían la dilución y unión a carcinógenos potenciales, disminución del tiempo de tránsito intestinal, cambios en el perfil de sales biliares dentro del colon y producción de AGCC tras la fermentación de la fibra (Bingham y col., 2003; Gray, 2006).

La fibra alimentaria al reducir el tiempo de tránsito intestinal evita una prolongada exposición de las células colónicas a mutágenos fecales. Por otro lado, la fibra puede diluir los ácidos biliares produciendo una fase sólida dispersa, la cual absorbe sales biliares reduciendo su presencia en el agua fecal.

Estas sales podrían causar irritación crónica en el colon y estimular la proliferación de la mucosa colónica, actuando así como promotores de tumores. Además, la fermentación de la fibra en el colon produce un aumento de AGCC que presentan un papel potencial en la prevención contra el cáncer de colon e infecciones colónicas por varios mecanismos (Guillon y Champ, 2002).

La producción de AGCC provoca una disminución del pH, que inhibe el crecimiento de ciertas cepas bacterianas patogénicas y de putrefacción, y estimula el crecimiento de bifidobacterias y lactobacilos, lo que aumenta la inmunidad celular y se puede traducir en una reducción del riesgo de desarrollo de cáncer de colon. Además, un pH colónico bajo puede ayudar en la excreción de carcinógenos (Mussatto y Mancilha, 2007). Entre los AGCC, el butirato puede actuar como regulador de la expresión de genes involucrados en la proliferación y diferenciación de las células del colon, de manera que podría ejercer un papel importante en los mecanismos de defensa en contra de la carcinogénesis en el intestino grueso (Guillon y col., 2000; García Peris y col., 2002; Bingham y col. 2003; Escudero y González, 2006). Además, los AGCC inducen la apoptosis de las células del colon, disminuyen los niveles de los productos de degradación de fenoles y péptidos y favorecen la formación de antioxidantes celulares (Gray, 2006).

## **2.6. Consumo y recomendaciones de ingesta**

Las estimaciones del consumo de fibra alimentaria dependen de la metodología de análisis elegida por las instituciones gubernamentales de los diferentes países y grupos de investigación, por lo que la comparación del consumo entre distintos países no resulta muy concisa.

La media de consumo de fibra alimentaria oscila entre 12 y 29 g/día en los distintos países, existiendo, en general, diferencias de consumo para hombres y mujeres. Las estimaciones para mujeres son menores que para los hombres, aunque esto es lógico ya que la ingesta de alimentos y energía total,

normalmente, es menor en mujeres que en hombres (Gray, 2006; Mateos-Aparicio, 2008).

Los requerimientos diarios de fibra alimentaria varían en función del organismo que los establezca. Así, la FAO/WHO (2004) estima que los requerimientos de fibra son >25 g/día de fibra alimentaria; la Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (2001) recomienda 25-30 g/día; German Nutrition Society (2000), 30 g/día; Health Council of The Netherlands (2006), 30-40 g/día; Nordic Nutrition Recommendations (2004), 25-35 g/día de fibra alimentaria; Department of Health (1991), en Reino Unido, recomienda 18 g/día de polisacáridos no-almidón; Institute of Medicine (2002), en Estados Unidos, recomienda 31-38 g/día de fibra total para hombres y 21-25 g/día para mujeres (Gray, 2006; Mateos-Aparicio, 2008). Para la población española se recomienda 20-30 g (Cervera y col., 1999).

**Tabla 3.** Requerimientos diarios de fibra alimentaria distribuidos por sexo y edad

<i>GRUPO</i>	<i>HOMBRE (g/día)</i>	<i>MUJER (g/día)</i>
1-3 años	19	19
4-8 años	25	25
9-13 años	31	26
14-18 años	38	26
19-30 años	38	25
31-50 años	38	25
51-70 años	30	21
> 70 años	30	21

Fuente: Slavin, 2005

Además, las necesidades diarias de fibra alimentaria varían con la edad y el sexo; así, Slavin (2005) distribuyó los requerimientos atendiendo a estos parámetros (Tabla 3). Las necesidades más altas se encuentran en el intervalo de edades comprendidas entre los 14-50 años, con un valor de 38 g/día para el hombre y 25-26 g/día para la mujeres.

En general, comparando el consumo de fibra con los requerimientos diarios aconsejados, se puede decir que el consumo de fibra es inferior al recomendado, por lo que sería aconsejable aumentarlo.

## **2.7. Adición de fibra a alimentos**

La demanda de productos con alto contenido en fibra alimentaria ha traído consigo un mayor desarrollo de los productos ya existentes, así como de nuevos productos formulados con fibra procedente de numerosas fuentes. En el mercado existe una amplia variedad de fracciones de fibra alimentaria empleadas como suplementos con fines dietéticos o para la elaboración de alimentos funcionales, como productos de panadería, galletas con alto contenido de fibra...Tradicionalmente, los cereales constituían la base de estos productos. Sin embargo, actualmente se están tratando de encontrar nuevas fuentes para la formulación de productos con un alto contenido de fibra en vista de que las propiedades y composición de la fibra dependen de su origen. Por este motivo, a la hora de añadir fibra alimentaria hay que proceder con cautela y no generalizar sobre la naturaleza preventiva y terapéutica de la misma. En este sentido, es importante especificar la fuente de la fibra añadida, ya que su naturaleza química, funcionalidad, así como los efectos sobre la salud son propios de cada tipo de fibra.

La fibra es el principal componente de muchos subproductos de la industria alimentaria, por lo que sería interesante determinar su potencial utilización con el fin de obtener nuevas fuentes de fibra. El aprovechamiento de los subproductos procedentes de las industrias agroalimentarias es un aspecto de suma importancia. La utilización de estos materiales supone una rentabilidad económica posibilitando nuevos productos con mayor valor añadido. La búsqueda de fuentes alternativas de fibra es, sin duda, uno de los objetivos actuales en la comunidad científica. También desde el punto de vista ecológico, la eliminación de subproductos disponibles en grandes cantidades, supondría

una ventaja de relevante impacto medioambiental (Esteban y col., 1998; Guillón y Champ, 2002).

La adición de fibra a un alimento cambia sus propiedades fisiológicas, pero también puede influir en las sensoriales. Por ello, de cara a la adición de fibra a los alimentos se debe tener en cuenta que los productos no deben sufrir alteraciones en su aspecto, textura, aroma y/o sabor, o al menos en una medida muy pequeña. Las alteraciones organolépticas que se producen en algunos casos son evitables, como por ejemplo el escaso olor originado en muchos alimentos debido al aporte de material fibroso, que puede paliarse mediante la adición de aromas, como la vainilla. En otros no es posible, por lo que la única solución es estudiar qué tipo y cantidad de fibra se puede añadir sin producir cambios en las características de los alimentos. Ejemplos de alimentos enriquecidos con fibra son pan, galletas, productos lácteos,... aunque también se han encontrado nuevos usos en alimentos como “mousses” enriquecidas, gelatinas o bebidas que emulan a postres sabrosos.

En general, un “ingrediente de fibra ideal” debe reunir los siguientes requisitos (Larrauri, 1999):

- No poseer componentes indeseables desde el punto de vista nutricional
- Estar lo más concentrado posible, de modo que pequeñas cantidades tengan el máximo efecto fisiológico.
- Ser neutro en sabor, color, textura y olor
- Tener una composición adecuada (relación fracción soluble:insoluble) y componentes bioactivos asociados
- Tener una buena vida media que no afecte negativamente al alimento al que se añade.
- Ser bien aceptado por parte del consumidor
- Poseer los efectos fisiológicos esperados
- Tener un precio razonable.

### 3. CEBOLLA

#### 3.1. Origen y Características Botánicas

La cebolla es un cultivo muy antiguo, cuyo origen no se conoce con exactitud. Algunos autores afirman que procede de Asia Central, otros de Asia Occidental y otros opinan que su origen se encontraría en el Norte de África. Lo que sí se conoce es que este cultivo ha sido usado desde la antigüedad tanto como alimento como para el tratamiento de enfermedades. Las primeras referencias de esta planta se remontan a la primera dinastía egipcia (3.200 a.C), en el Codex Ebers (1.550 a.C), papiro egipcio de Medicina en el que aparecen fórmulas a base de cebolla y ajo para el tratamiento de varias enfermedades como problemas de corazón, dolores de cabeza, picaduras, etc.; también aparece mencionada en el Éxodo de los israelitas (1.500 a.C) y en la India hay citas de su uso medicinal en el siglo VI a.C.

Más tarde, en la época de los griegos y los romanos, diversos autores como Hipócrates, Teofrasto y Plinio describen la existencia de distintos tipos de cebolla. Durante esta época existía un gran consumo de cebolla, ya que se creía que esta hortaliza aumentaba la fuerza de los soldados, y fueron los romanos quienes extendieron este cultivo al resto de los países mediterráneos.

En la Edad media, el cultivo de la cebolla se encontraba extendido por toda Europa y era una hortaliza de uso común. Durante este periodo se desarrollaron las cebollas de bulbo grande que darían lugar a las variedades modernas. Esta planta llegó a América por medio de Cristóbal Colón, incorporándose con rapidez a la cocina de muchos pueblos americanos.

### Características Botánicas y agronómicas



La cebolla es una planta monocotiledónea que pertenece al superorden *Liliflorae*, orden *Aspurgales*, familia *Alliaceae*, tribu *Alliae* y género *Allium*. La denominación de la especie es *Allium cepa* L.

**Figura 14.** Planta cebolla (*Allium cepa* L.)

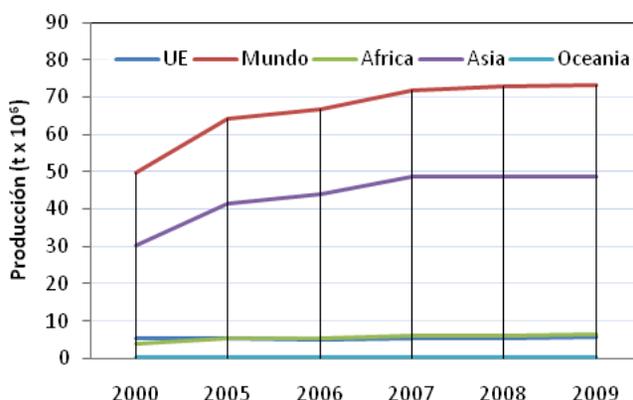
La planta de la cebolla presenta el tallo reducido a una plataforma, que da lugar por debajo a numerosas raíces y por encima a hojas, cuya base carnosa e hinchada constituye el bulbo. El bulbo está formado por numerosas capas gruesas y carnosas, que realizan las funciones de reserva de sustancias nutritivas necesarias para la alimentación de los brotes. Las distintas capas del bulbo están recubiertas de membranas secas, delgadas y transparentes, que son la base de las hojas. La sección longitudinal muestra un eje caulinar llamado corma. El sistema radicular es fasciculado, corto y poco ramificado, siendo las raíces blancas, espesas y simples. Las hojas son alargadas, fistulosas y puntiagudas en su parte libre. Las semillas son negras, angulosas, aplastadas y de superficie rugosa.

Esta hortaliza se cultiva en todos los países del mundo gracias a su gran diversidad, que le ha permitido adaptarse a diferentes condiciones climatológicas, latitudes, fotoperiodos, etc., lo que ha dado lugar a un gran número de variedades, que se diferencian en el color, sabor, materia seca, forma, sabor “picante o ardiente” e incluso en su composición química. Aunque, en general, se adapta mejor a climas templados o cálidos, la gran disponibilidad de variedades permite que se adapte a zonas frías. Así en las primeras fases de cultivo es capaz de tolerar temperaturas bajo cero, pero para la formación y maduración del bulbo requiere temperaturas más altas y días

largos, cumpliéndose estos requisitos en primavera para las variedades precoces o de día corto, y en verano-otoño para las tardías o de día largo.

### 3.2. Producción

El cultivo de cebolla está ampliamente extendido por los cinco continentes. De acuerdo con la FAO (2011) la cebolla se cultiva en al menos 175 países y la superficie mundial dedicada a este cultivo se ha incrementado en un 50% con respecto al año 1995. Asimismo, la producción mundial de cebolla casi se ha duplicado en los últimos doce años, situándose en más de 70 millones de toneladas en el 2009 (Figura 15). Esta producción convierte a la cebolla en el segundo cultivo hortícola más importante después del tomate y representa en torno al 10% de la producción vegetal mundial. En la Figura 15 y Tabla 4, se muestra la evolución de la producción de cebollas por continentes y países. El continente con mayor producción es el Asiático, que cuenta con el 64% de la producción mundial, siendo China e India los mayores productores. Dentro de la Unión Europea, España y Holanda son los principales países productores con más de un millón de toneladas.



**Figura 15.** Evolución de la producción de cebolla por continentes (Fuente: FAOSTAT, 2011)

**Tabla 4.** Producción de cebolla en los principales países productores

t x 10 <sup>3</sup>	2000	2005	2006	2007	2008	2009
China	14105	19054	19598	20567	20823	21047
India	4721	9433	10847	13900	13565	13900
EEUU	3253	3334	3250	3612	3407	3401
Irán	1344	1685	2038	2014	1849	1512
Japón	1247	1087	1161	1265	1271	1154
Brasil	1142	1138	1346	1360	1367	1512
España	960	1006	1100	1184	1063	1263
Holanda	821	1082	942	1085	1236	1269
Indonesia	773	733	795	803	854	953
Argentina	545	765	698	700	678	650
Reino Unido	393	414	359	304	349	376

Fuente: FAOSTAT, 2011

### 3.3. Composición química

En general, la cebolla presenta (Tabla 5) aproximadamente un 90% de agua, es baja en calorías y tiene un contenido moderadamente alto de azúcares y fibra. Sin embargo, presenta un bajo nivel de lípidos y proteínas, siendo los aminoácidos más abundantes la arginina y al ácido glutámico. En cuanto a las vitaminas y minerales (Tabla 6), la cebolla tiene bajos niveles de sodio y un alto contenido de vitamina B<sub>6</sub>, ácido fólico, calcio, magnesio, fósforo y potasio.

**Tabla 5.** Principales constituyentes de la cebolla (% materia fresca) y valor calórico (kcal/100 g mf)

Constituyentes	Contenidos
Valor calórico	38
Humedad	89,7
Proteína	1,2
Lípidos	0,2
Cenizas	0,8
Fibra Alimentaria	1,8
Carbohidratos simples	8,6

Fuente: Ros y col., 2010

Aunque la composición nutricional de la cebolla es compleja y depende de la variedad, las condiciones de crecimiento y engrosamiento del bulbo, del tiempo de recolección, así como de la duración y tipo de almacenamiento, la cebolla ha sido reconocida como una importante fuente de fibra alimentaria y de valiosos fitonutrientes, como fructooligosacáridos, compuestos azufrados y flavonoides. Estos componentes bioactivos tienen unos efectos potencialmente beneficiosos para la salud, además de ser también interesantes desde un punto de vista tecnológico debido a sus propiedades antioxidantes, antipardeamiento o modificadoras de la textura.

**Tabla 6.** Principales elementos minerales y vitaminas

Mineral	mg 100 g <sup>-1</sup> mf	Vitamina	mg 100 g <sup>-1</sup> mf
Calcio	10,00	A (Retinol)	0
Cinc	0,22	E (Tocoferol)	0,130
Cobre	0,19	B <sub>1</sub> (Tiamina)	0,042
Fósforo	20,00	B <sub>2</sub> (Riboflavina)	0,020
Hierro	0,14	B <sub>6</sub> (Piridoxina)	0,116
Magnesio	33,00	B <sub>9</sub> (Ácido fólico)( $\mu$ g)	19
Manganeso	0,06	C(Ácido Ascórbico)	6,4
Potasio	3,00		
Sodio	157		

Fuente: Ros y col. (2010)

### *Fructanos y Fructooligosacáridos (FOS)*

Los carbohidratos no estructurales constituyen la fracción mayoritaria de la materia seca de la cebolla, en torno al 65-80% y están constituidos fundamentalmente por glucosa, fructosa, sacarosa y fructanos de bajo peso molecular, fructooligosacáridos (FOS) (Jaime y col., 2001a; Davis y col., 2007).

Los fructanos son polímeros de fructosa con una glucosa terminal, cuyo grado de polimerización (GP) varía de 2 unidades a más de 60. Normalmente, son lineales con una estructura GF<sub>n</sub>, consistente en una glucosa terminal (G) unida mediante enlace glucosídico  $\alpha$  (1-2) a la fructosa (F), mientras que las demás

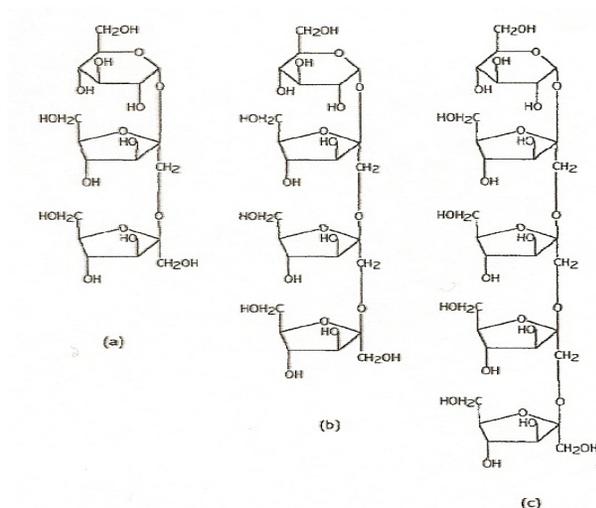
unidades de fructosa se unen entre sí por enlace  $\beta$  (2-1). Dentro de los fructanos lineales se encuentran: la inulina, con un GP menor de 60; la oligofructosa, subgrupo de la inulina que incluye aquellos compuestos con un GP menor de 20, aunque normalmente se considera GP menor de 9 (Roberfroid, 1999); y los FOS con un grado de polimerización de 1-5 según algunos autores (Bornet y col., 2002), de 2-12 según otros (Shiomi y col, 2005) o de 3-5 (Spiegel y col., 1994).

Sin embargo, en la cebolla se producen un tipo especial de fructanos llamados neoserias de inulina; en ellos a la estructura descrita anteriormente se uniría una fructosa al OH de la posición 6 del residuo de glucosa y de ahí elongaría con unidades de fructosa mediante enlaces  $\beta$  (2-1). La síntesis de FOS en los bulbos de cebolla se localiza en las vacuolas de las células y están involucradas tres enzimas la sacarosa:sacarosa 1-fructosiltransferasa (1-SST), que inicia la síntesis de los FOS transfiriendo un residuo de fructosa de una molécula de sacarosa a otra, formándose así la 1-kestosa; después la fructano:fructano 1-fructosiltransferasa (1-FFT) elonga la cadena; y la fructano:fructano 6-fructosiltransferasa une un residuo de fructosa mediante enlace 2-6 iniciando la formación de los FOS de la neoserie de la inulina (Shiomi y col., 2005).

Los fructanos presentes en la cebolla normalmente tienen un grado de polimerización entre 3 y 15, siendo los más abundantes la 1-kestosa ( $GF_2$ ), que sería el principal, la nistosa ( $GF_3$ ) y la 1-F-nistosa ( $GF_4$ ) (Figura 16). La composición de FOS tiene importantes implicaciones fisiológicas durante la formación del bulbo, la maduración, el periodo de latencia y la brotación. Sin embargo, esta composición varía con el tipo de cebolla (verde o seca), la variedad, el contenido en materia seca y el estado de madurez; además la distribución de los FOS varía a lo largo del bulbo, de dentro a fuera. Se ha observado que los FOS de bajo grado de polimerización están relacionados con aquellas variedades con un contenido en materia seca  $< 10\%$ , mientras que en

las cebollas con alto contenido en materia seca el grado máximo de polimerización está entre 10 y 15 (Shiomi y col., 2005).

Los fructooligosacáridos son considerados prebióticos ya que no son digeridos en el tracto gastrointestinal humano debido a la presencia en su estructura de enlaces  $\beta$  (2-1), y así llegan intactos al colon, donde son totalmente fermentados por las bacterias anaerobias allí presentes y producen efectos beneficiosos al sujeto que lo consume al estimular el crecimiento y/o actividad de un número limitado de especies bacterianas beneficiosas del colon (Gibson y col., 2004).



**Figura 16.** Estructura de los principales FOS (a)Kestosa (b)Nistosa (c) 1-F-Nistosa (Hogart y col., 2000)

Como resultado de la fermentación se producen ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como acetato, propionato y butirato, así como L-lactato, acompañados de un aumento de los contenidos en gases (hidrógeno, dióxido de carbono y metano). Los AGCC son absorbidos a través de la mucosa intestinal y su metabolización se lleva a cabo en el hígado y en los tejidos periféricos y algunos en el mismo colon. En comparación con otros productos fermentables, como

pectina o lactulosa, la fermentación de los FOS produce mayores porcentajes de ácido propiónico y butírico.

Los efectos fisiológicos más importantes relacionados con el consumo de FOS se describen a continuación:

Agente anticariogénico. Como no pueden ser hidrolizados por las enzimas de las bacterias bucales no producen caries (Gibson y Roberfroid, 1995).

Efectos sobre los niveles de glucosa, insulina y lípidos plasmáticos. En estudios *in vivo* se ha visto que el consumo de FOS por parte de sujetos con diabetes tipo 2, hace disminuir significativamente el nivel de glucosa sérica en comparación con aquéllos a los que se les suministró sacarosa. Por otro lado, los niveles de colesterol sérico total, triglicéridos y colesterol LDL disminuyen por el consumo de FOS, lo que reduce el riesgo de padecer aterosclerosis y otras enfermedades cardiovasculares (Choque-Delgado y col., 2010).

Efecto bifidogénico. Quizás el efecto fisiológico más conocido de los FOS sea su capacidad para estimular el crecimiento de bifidobacterias en el intestino. El colon es un complejo ecosistema con más de 400 especies diferentes de bacterias. Algunas de ellas ejercen actividades beneficiosas para la salud, mientras que otras tienen efecto patógeno como son la producción de toxinas o de sustancias cancerígenas. Entre las beneficiosas se encuentran los Lactobacilos y las Bifidobacterias, cuya concentración se ve incrementada por el consumo de FOS. Esto se debe a que las bifidobacterias contienen  $\beta$ -fructosidasas, capaces de hidrolizar los FOS. El aumento de este tipo de bacterias produce la inhibición del crecimiento de bacterias patógenas (por disminución del pH del medio y por la secreción de una sustancia bactericida), la estimulación de componentes del sistema inmune, mejora en la motilidad y en la función gastrointestinal, reducción de colesterol y, además, ayuda a la absorción de ciertos iones y a la síntesis de vitaminas del grupo B y K (Choque-Delgado y col., 2010).

Efecto protector frente a la diarrea causada por patógenos. Esto se debe a la exclusión competitiva de los patógenos, como *C. difficile*, por un aumento de la microflora beneficiosa.

Efecto protector contra el estreñimiento. Debido al aumento del nivel de bifidobacterias, los FOS previenen el estreñimiento, al aumentar la masa y humedad de las heces excretadas, estimulando el peristaltismo intestinal (Choque-Delgado y col., 2010).

Efecto anticancerígeno. No se conoce muy bien el mecanismo mediante el cual los prebióticos controlan la carcinogénesis, la bibliografía sugiere que podrían actuar combinando varios factores entre los que se encuentran el aumento de la producción de AGCC, reducción de la proliferación celular causada por el cáncer y reducción de la expresión de ciertas enzimas involucradas en la patogénesis del cáncer de colon (Choque-Delgado y col., 2010).

Absorción de cationes. Actúan mejorando la absorción y biodisponibilidad de minerales, tales como calcio, magnesio y hierro (Choque-Delgado y col., 2010).

Modulador del sistema inmune. Los cambios en la composición y características metabólicas de las bacterias del colon producidas por una dieta rica en FOS ocasiona efectos positivos sobre el sistema inmune (Buddington y col., 2002).

Los estudios de toxicidad realizados sugieren que los FOS no poseen potencial de genotoxicidad y pueden ser considerados como seguros (Spiegel y col., 1994). El único efecto adverso observado tras la ingestión de grandes cantidades de FOS fue la existencia de heces blandas o diarrea y flatulencia.

Además de los efectos fisiológicos, la mezcla de fructooligosacáridos presenta ciertas propiedades tecnológicas. Los FOS tienen un sabor similar a la sacarosa, pero con un poder edulcorante un 30% menor, alta capacidad de retención de agua, lo que evita el secado de los alimentos, y baja actividad de agua, que es

interesante para controlar la contaminación microbiana. Además, son bajos en calorías, aproximadamente presentan de un 40-50% de las calorías que muestran carbohidratos digeribles como la sacarosa. Por otro lado, sirven para controlar el pardeamiento causado por la reacción de Maillard en alimentos tratados por calor, ya que al no ser reductores no producen este tipo de reacciones. Son estables a pH mayor de 3 y hasta temperaturas de 130 °C. No forman soluciones viscosas y son físicamente estables. Son fáciles de incorporar a alimentos y bebidas (Bornet y col., 2002; Mussatto y Mancilha, 2007).

Gracias a estas características los FOS se usan como sustitutos de grasa o azúcares para disminuir el valor calórico de alimentos; así pueden ser utilizados como ingredientes en galletas, tartas, pasteles, chocolate, cereales de desayuno, barritas de cereales, golosinas, pudding, mermeladas, productos lácteos como helados, yogur y leche, bebidas como café, cacao y té y productos como el tofu, entre otros (Voragen, 1998; Bornet y col., 2002; Mussatto y Mancilha, 2007). En Japón, los fructooligosacáridos son utilizados en más de 500 productos alimentarios, con el consiguiente aumento del consumo diario (Spiegel y col., 1994).

### *Compuestos azufrados*

Las fracciones volátiles de las hortalizas son muy complejas y pueden estar constituidas por docenas de componentes. Sin embargo, el aroma característico de cada producto lo dan uno o unos pocos compuestos, contribuyendo el resto al matiz.

La cebolla, al igual que todos los cultivos del género *Allium*, contiene gran cantidad de compuestos azufrados, responsables de sus aromas fuertes y penetrantes. Este tipo de aromas sólo se ponen de manifiesto cuando se destruyen los tejidos y la enzima Alliinasa entra en contacto con los precursores del "flavor" (S-alqu(en)il-L-cisteín-sulfóxidos: ACSOs), convirtiéndolos en compuestos olorosos. En la cebolla se encuentran tres de estos precursores:

metiína (S-metil-L-cisteín-sulfóxido), propiína (S-propil-L-cisteín-sulfóxido) e isoalliína (trans-(+)-S-(1-propenil)-L-cisteín-sulfóxido). Este último representa más del 80% del total de los ACSOs y es el principal responsable de la química del flavor de la cebolla.

Los diferentes compuestos organosulfurados se forman después de una serie de actuaciones enzimáticas. Así, cuando la alliinasa entra en contacto con el precursor, al trocearse o machacarse el bulbo, éste se hidroliza formando un ácido S-alqu(en)il-cisteín-sulfénico y un ácido iminopropiónico que se hidroliza espontáneamente para formar amonio y ácido pirúvico. Un indicador del “flavor” de la cebolla sería la cantidad de piruvato generada por gramo de materia fresca.

La mayor parte de los compuestos del “flavor” de la cebolla se forman mediante reacciones espontáneas de reestructuración de los ácidos S-alqu(en)il cisteín-sulfénicos, entre ellos y con otros compuestos (Figura 17). El resultado es una mezcla de más de 50 compuestos entre los que se encuentran tiosulfatos, tiosulfonatos, mono-, di- y tri-sulfuros. Un ejemplo de estos compuestos es el sulfóxido de tiopropanal, que deriva de la isoalliína, y es el responsable del efecto lacrimógeno de la cebolla (Rose y col., 2005). Los principales constituyentes de los volátiles de la cebolla son el dipropil disulfuro y trisulfuro y el propenil disulfuro (Munday y Munday, 2001).

La sensación picante o ardiente que produce la cebolla en la boca y en la garganta es causada por algunos compuestos azufrados. La relación entre los compuestos que producen la sensación picante o ardiente y el nivel de azúcares determina la percepción del dulzor en una cebolla. Idealmente, una cebolla dulce tendría un alto nivel de azúcares y bajo nivel de compuestos que producen el picor o ardor (Vagen y Slimestad, 2008).

Los compuestos organosulfurados ejercen diversos efectos biológicos como: inducción de la detoxificación de carcinógenos, inhibición de la proliferación de

células tumorales, efecto antimicrobiano y antioxidante, inducción de la detención del ciclo celular e inducción de la apoptosis (Rose y col., 2005). Se ha sugerido que estos compuestos actúan como agentes quimiopreventivos a través de la combinación de los efectos biológicos mencionados (Moriarty y col., 2007). Además, estos compuestos presentan efecto protector frente a la enfermedad cardiovascular, ya que disminuyen los niveles plasmáticos de colesterol y triglicéridos y además actúan como antiagregante plaquetario e hipotensor (Rose y col., 2005).

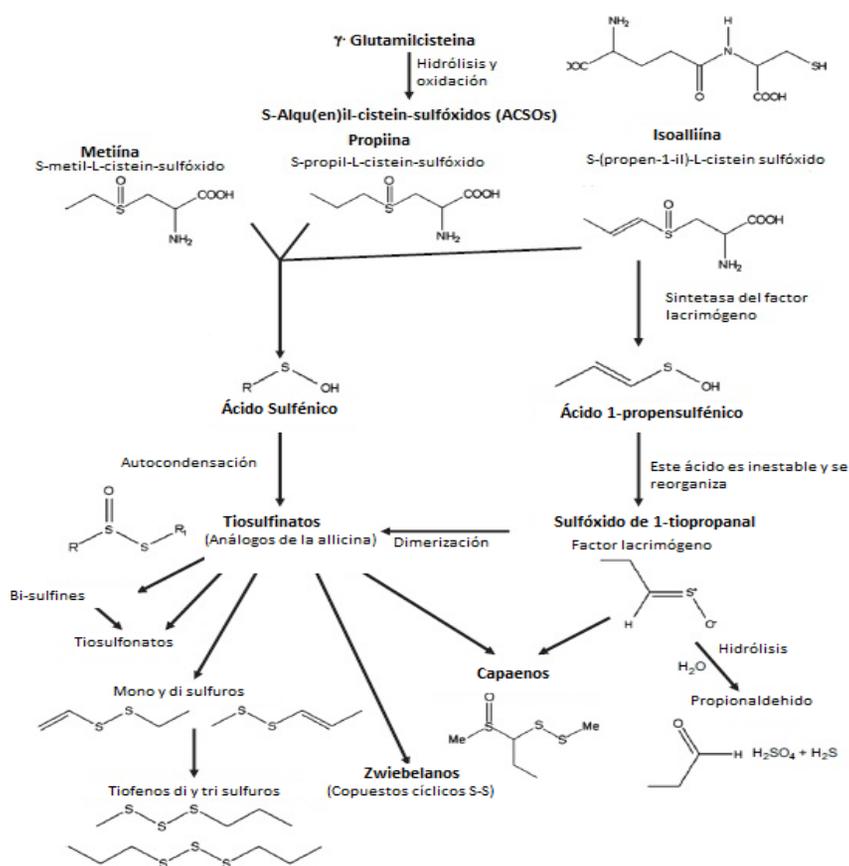


Figura 17. Formación de los compuestos organosulfurados de la cebolla

### *Flavonoides*

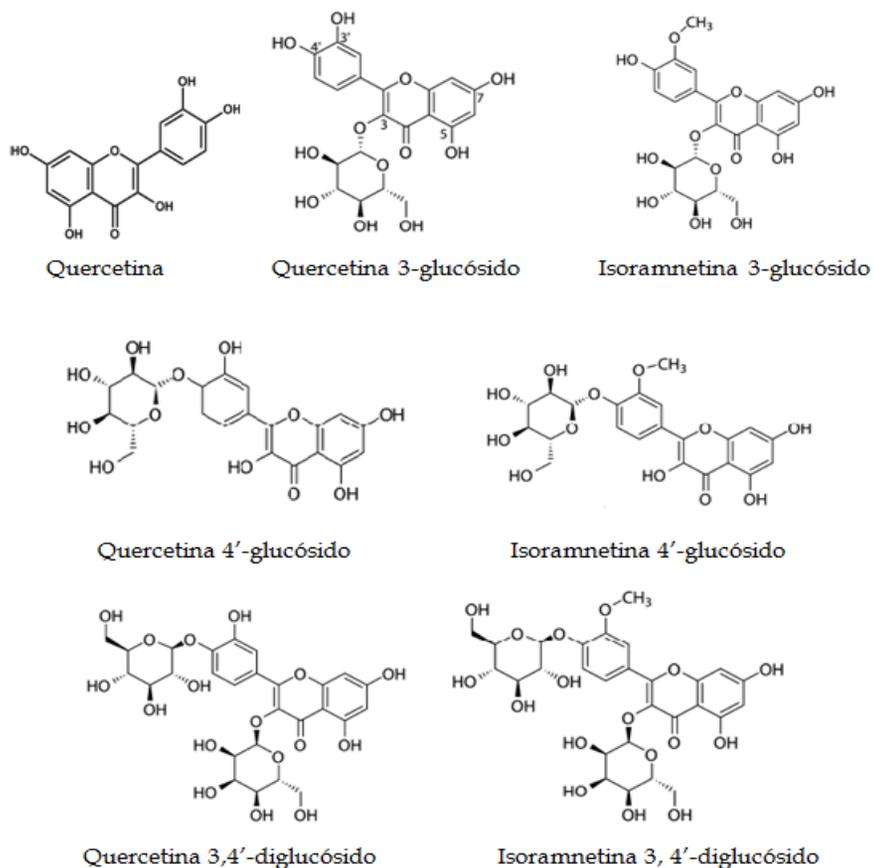
La cebolla es una de las principales fuentes de flavonoides de la dieta ya que presenta una concentración superior a la existente en otros vegetales. Dos subgrupos de flavonoides están representados en la cebolla: las antocianinas, que dan el color rojo/púrpura a algunas variedades, y los flavonoles, como la quercetina y sus derivados, que son los responsables del color amarillo de la pulpa y del marrón de la piel de algunas variedades (Griffiths y col., 2002). La cebolla sintetiza flavonoles como medio de protección frente a la radiación UV y al peróxido de hidrógeno (Hirota y col., 1998).

En la cebolla se han caracterizado al menos 25 flavonoles entre los que destacan quercetina, isoramnetina y kaempferol conjugados (Tsushida y Suzuki, 1995; Roldán-Marín y col., 2009), siendo los derivados de quercetina los más importantes en todos los cultivares (Figura 18). El principal azúcar es la glucosa que se une a la quercetina en las posiciones 3, 4' y 7. Además, han sido identificados derivados análogos del kaempferol y la isoramnetina como pigmentos minoritarios (Slimestad y col., 2007). Estudios previos han mostrado amplios intervalos de quercetina que oscilan entre 110-295 mg kg<sup>-1</sup> para los bulbos de cebolla roja y 119-286 mg kg<sup>-1</sup> para los bulbos de variedades amarillas (Patil y Pike, 1995; Tsushida y Suzuki, 1996).

Los principales glucósidos presentes en la cebolla son quercetina 3,4'-diglucósido y quercetina 4'-glucósido (Bonacorsi y col., 2008; Slimestad y col., 2007), representado en la mayoría de los casos más del 80% del total de flavonoides de la cebolla (Lombard y col., 2005).

La absorción y el metabolismo de la quercetina y sus glucósidos han sido descritos por Aherme y O'Brien (2002). Los glucósidos de quercetina son transformados en sus respectivas agliconas en el intestino grueso por la actividad glicosidasa de las bacterias intestinales y absorbidas. Sin embargo,

varios estudios han demostrado que los glucósidos de quercetina se absorben mejor que su correspondiente aglicona (Hollman y col., 1995).



**Figura 18.** Estructura de algunos de los flavonoles presentes en la cebolla

La quercetina, además de su utilidad en el tratamiento y prevención de enfermedad cardiovascular, obesidad y cáncer, también presenta actividad antihistamínica, interesante para la prevención de ataques alérgicos y asmáticos, y protege frente a la osteoporosis y el envejecimiento (Muñoz y col., 2010). En general, los beneficios para la salud de la quercetina serían el resultado de la combinación de sus actividades antioxidante y antiinflamatoria (Davis y col., 2009).

En estudios realizados se ha observado que la quercetina puede reducir la oxidación de las LDL, reduciendo así el riesgo de enfermedad coronaria y aterosclerosis; además, es capaz de interferir en la actividad de ciertas enzimas, dando lugar a la reducción de la isquemia experimental y del daño oxidativo que ocurre después de una isquemia o de otra situación patológica. Asimismo, se ha observado que presenta actividad antihipertensora y que mejora de la función endotelial (Bischoff, 2008; Muñoz y col., 2010).

Por otro lado, debido a su actividad estrogénica, se ha sugerido la utilidad de la quercetina en el tratamiento y la prevención de tumores dependientes de estrógenos como el cáncer de mama o próstata. Además, la quercetina al actuar como agente neutralizante de radicales y quelante de metales, podría presentar un efecto preventivo y terapéutico en los cánceres anteriormente mencionados y en otros como el de colon y pulmón. También se ha observado que en estos últimos la quercetina puede provocar apoptosis celular. Los resultados de los estudios acerca del efecto beneficioso de la quercetina sobre el cáncer muestran resultados diversos, no encontrándose dicho efecto en algunos casos. Por tanto, es necesario realizar un mayor número de estudios para corroborar los resultados obtenidos hasta el momento (Bischoff, 2008; Muñoz y col., 2010).

### *Otros componentes bioactivos*

En los últimos años se han aislado varios compuestos nuevos en la cebolla, encontrándose entre ellos algunas saponinas y péptidos que se han estudiado por su potencial efecto beneficioso para la salud. Varias investigaciones han mostrado cómo las saponinas aisladas de ajo y cebolla presentan efectos antifúngicos, antitumorales, citotóxicos, antiespasmódicos, como coagulante sanguíneo y como reductor del colesterol (Lanzotti, 2006).

La 5-hidroxi-3-metil-4-propilsulfanil-5H-furan-2-ona y otros cuatro compuestos aislados de la cebolla podrían actuar como agentes quimiopreventivos (Xiao y Parkin, 2007).

### 3.4. Propiedades saludables de la cebolla

Las propiedades beneficiosas para la salud de las hortalizas del género *Allium* han sido respaldadas por numerosos estudios *in vitro*, *in vivo* y *ex vivo*. En concreto, a la cebolla se le atribuyen gran cantidad de efectos beneficiosos para la salud relacionados con sus efectos antioxidante, anticarcinogénico, hipolipidémico, hipoglicémico y antiagregante. Tradicionalmente, en la medicina popular la cebolla se usaba como agente antifúngico y antibacteriano, protector cardiovascular, hipoglicémico, antioxidante y anticancerígeno, y antiasmático. Actualmente, se considera que una dieta rica en cebolla induce una serie de beneficios para la salud que podrían ayudar en la prevención de las dos enfermedades con mayor prevalencia, el cáncer y las enfermedades cardiovasculares (Roldán-Marín, 2009).

#### *Propiedades anticarcinogénicas*

El consumo habitual de hortalizas del género *Allium* ha sido evaluado en estudios epidemiológicos, principalmente estudios de casos y controles, donde se ha observado un efecto protector de estos vegetales, incluida la cebolla, frente al cáncer. En concreto, se ha observado que su consumo está relacionado con la reducción del riesgo de desarrollar cáncer de esófago y estómago (Dorant y col., 1996; Gao y col., 1999), cáncer de próstata (Hsing y col., 2002), tumor cerebral (Hu y col., 1999), cáncer de pulmón (Sankaranarayanan y col., 1994) y cáncer colorrectal (Tuyns y col., 1988; Iscovich y col., 1992).

Dorant y col. (1996) encontraron una fuerte asociación entre el consumo de cebolla y una reducción en la incidencia del cáncer de estómago. Este efecto quimiopreventivo de la cebolla puede estar relacionado con sus propiedades antibacterianas, ya que la inhibición del crecimiento de las bacterias en la cavidad gástrica podría reducir la conversión de nitrato a nitrito en el estómago, disminuir la probabilidad de formación endógena de compuestos carcinogénicos N-nitroso y reducir la infección por *Helicobacter pylori*.

El efecto quimiopreventivo de las especies del género *Allium* parece estar mediado por varios mecanismos: por alteración del metabolismo carcinogénico por un aumento de la actividad enzimática de detoxificación, lo que facilita la excreción de los carcinógenos del cuerpo, o bien inhibiendo la activación de procarcinógenos; también por la inhibición del daño oxidativo gracias a su capacidad antioxidante; por la inhibición de la proliferación celular, por la inducción de la apoptosis, y de la división celular; por prevención del daño cromosómico; y por la inhibición de las actividades lipooxigenasa y ciclooxigenasa (efecto antiinflamatorio). El mecanismo directo de inhibición de las células tumorales no se conoce con exactitud, pero se cree que está relacionado con el efecto que ejercen sobre el sistema inmune (Griffiths y col., 2002; Rose y col., 2005; Corzo-Martínez y col., 2007).

Los compuestos más relacionados con esta actividad serían los compuestos azufrados, los flavonoides, como quercetina y kaempferol, y también compuestos orgánicos derivados del selenio, así como alguna saponina (Griffiths y col., 2002; Rose y col., 2005; Corzo-Martínez y col., 2007).

### *Propiedades relacionadas con enfermedades cardiovasculares*

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) incluyen cardiopatías coronarias (ataques cardíacos), enfermedades cerebrovasculares (apoplejía), aumento de la tensión arterial (hipertensión), vasculopatías periféricas, cardiopatías reumáticas, cardiopatías congénitas e insuficiencia cardíaca. Los factores de riesgo son determinados principalmente por causas incontrolables (herencia, género y edad) y por aquellas relacionadas con el estilo de vida (tabaquismo, sedentarismo, estrés y dieta poco saludable) que pueden ser modificadas.

Alteraciones en el perfil lipídico, diabetes, hipertensión y obesidad son algunos de los factores asociados con la aparición temprana de ECV. La cebolla presenta propiedades hipolipídicas, hipoglicémicas y antitrombóticas y, por tanto, podría ser útil en la prevención de las ECV (Roldán-Marín, 2009).

Los estudios sobre el efecto hipolipidémico de la cebolla están menos avanzados que en otras especies del género *Allium* como el ajo. Sin embargo, algunas investigaciones han demostrado que la cebolla posee compuestos con capacidad para reducir los niveles de triglicéridos en sangre y para inhibir la biosíntesis hepática *in vitro* de colesterol en ratas (Effendy y col., 1997; Corzo-Martinez y col., 2007). Además, han mostrado un efecto hipolipidémico moderado en animales de experimentación como cerdos sanos alimentados con una dieta rica en grasas (Ostrowska y col., 2004; Gabler y col., 2006). Entre los compuestos involucrados en la reducción del nivel de colesterol sérico y la severidad de la aterosclerosis se encuentran el metil-cisteín-sulfóxido (Kumari y Augusti, 2007) y la quercetina (Glasser y col., 2002), además de la fibra.

La efectividad de la cebolla como agente hipoglucémico ha sido poco estudiada, aunque en estudios realizados con ratas diabéticas se observó cómo la ingesta de cebolla iba acompañada de un efecto hipoglucémico (Babu y Srinivasan, 1999; El-Demerdash y col., 2005; Lee y col., 2008). Componentes bioactivos de cebolla, como el metil-cisteín-sulfóxido, ejercen su acción antidiabética estimulando la producción y secreción de insulina por el páncreas, interfiriendo en la absorción de la glucosa y favoreciendo el ahorro de insulina (Srinivasan, 2005).

Estudios sobre la acción antitrombótica de la cebolla han puesto de manifiesto que sus extractos acuosos inhiben, tanto *in vitro* como *in vivo* (Ali y col., 1999; Ali y col., 2000; Hubbard y col., 2006), la formación del tromboxano, potente inductor de la agregación plaquetaria (Moon y col., 2000). La actividad antiplaquetaria de la cebolla está determinada por su genotipo, por factores ambientales, tiempo de almacenamiento, así como por la concentración original de compuestos organosulfurados y el contenido de azufre en el bulbo (Goldman y col., 1996). Estudios epidemiológicos han mostrado que esta actividad es una propiedad de los compuestos organosulfurados. En particular,

se ha demostrado la actividad antitrombótica de una clase de  $\alpha$ -sulfinil-disulfuros (Capaenos) (Block y col., 1997).

#### *Propiedades antiasmáticas*

Ciertos compuestos derivados de la cebolla, como tiosulfatos y capaenos, han mostrado propiedades antiasmáticas. Esta propiedad se debe a que estos compuestos poseen una gran capacidad para inhibir *in vitro* las enzimas ciclooxigenasa y lipooxigenasa que inician el metabolismo de eicosanoides que conduce a la restricción bronquial (Wagner y col., 1990).

#### *Propiedades antibióticas*

Los extractos de cebolla ejercen una fuerte actividad antifúngica, antibacteriana, antiparasitaria y antiviral (Corzo-Martínez y col., 2007), siendo los compuestos azufrados los principales agentes antimicrobianos (Rose y col., 2005), aunque algunas proteínas, saponinas y compuestos fenólicos también podrían contribuir a esta actividad (Griffiths y col., 2002). Extractos acuosos y aceites de cebolla fueron activos frente a varias bacterias gram-positivas, pero inefectivas contra gram-negativas, los zumos fueron efectivos frente a varias especies de levaduras, y los aceites frente a hongos dermatofitos (Zohri y col., 1995).

## **Materiales y métodos**



## 1. MATERIAL

Para la realización del estudio se utilizaron dos variedades de cebolla (*Allium cepa* L.), Recas y Figueres, procedentes de Cataluña. Las cebollas fueron suministradas por gentileza de Cebacat (Asociació Catalana de Productors i Comercializadors de Cebolla). Todas las cebollas estudiadas forman parte del margen de merma comercial que tiene esta asociación. Se incluyen cebollas, que siendo comercializables por tamaño, presentan ciertos defectos que no permiten su comercialización, como son podredumbre interior, quemaduras en capas externas, pérdida de la túnica exterior o aparición de brotación. Asimismo se incluyen parte de los excedentes de producción.

La variedad Recas (Figura 19), producida en Lleida, se caracteriza por pertenecer a las cebollas tipo “grano”, por ser de ciclo tardío y de día largo. Presentan un bulbo grueso, globoso, duro y de forma uniforme. Tienen una piel muy adherida, poco desprendible y de color dorado. Su carne es blanca amarillenta, dura, jugosa, picante y muy apreciada en la cocina. Son cebollas de vida larga, que se conservan muy bien durante el almacenamiento y el transporte, lo que les confiere unas cualidades óptimas para su exportación. Su comercialización se produce de Septiembre a Abril y se comercializan calibres de 1-6 (diámetro mayor de 5 cm).



**Figura 19.** Cebollas variedad Recas

En cuanto a la variedad Figueres (Figura 20), es autóctona de Cataluña y se caracteriza por tener un bulbo grueso, redondo-achatado, de forma irregular y

una piel de color entre cobrizo y morado. Sus capas internas son de color violáceo y sabor dulce, no pican. Se comercializa de Julio a Abril y se usan especialmente para el consumo directo.



**Figura 20.** Cebollas variedad Figueres

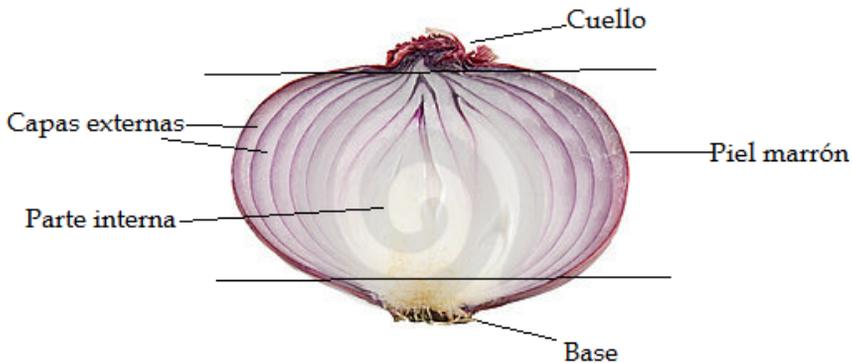
#### *Residuos de la industria y excedentes de cebolla*

En la caracterización de los residuos industriales de cebolla y de los excedentes se usaron cebolla enteras y distintas partes del bulbo de cebolla que se corresponden con los residuos generados durante la manipulación industrial de cebolla para la comercialización del corazón del bulbo, ya sea entero, troceado o en aros (Figura 21). En la industria se procede a la colocación de la cebolla en un soporte, que al girar pone en contacto al bulbo con una cuchilla en cada extremo, de tal manera que la parte inferior y superior, cuello y base respectivamente, quedan seccionadas; posteriormente, la piel marrón y las capas carnosas externas son separadas a mano por trabajadores de la industria.

Los nombres de los distintos residuos de cebolla (Figura 21) usados a lo largo de la memoria se detallan a continuación:

- Cebolla entera (CE): incluye cebollas con todas sus partes y/o tejidos.
- Piel marrón (PM): se corresponde con la piel seca externa.

- Base-cuello (BC): incluye la parte superior e inferior del bulbo.
- Capas externas (CExt): formado por las dos primeras capas carnosas externas.
- Capas internas (CI): sería el corazón del bulbo.



**Figura 21.** Partes de cebolla usadas para los análisis

### Preparación de las muestras

Para la obtención de la muestra de cebolla entera, a partir de los 30 kg de cada una de las variedades estudiadas se hicieron tres replicados de diez cebollas cada uno. Estas cebollas se trocearon con todas sus partes, se congelaron inmediatamente con nitrógeno líquido y seguidamente fueron almacenadas en un congelador a  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta su posterior liofilización. La congelación ultrarrápida se usó con el fin de paralizar casi por completo e irreversiblemente toda la actividad metabólica y así conservar la calidad inicial de la materia prima.

Para la obtención de las secciones se hicieron tres replicados de veinte cebollas cada uno, separándose las secciones en cada una de las cebollas. Primero se

separaron la base y el cuello del bulbo, mediante el corte a unos 5-10 mm de ambos extremos del bulbo. La piel marrón, capas externas y parte interna se separaron manualmente. Una vez obtenidas las secciones, se trocearon y se repitió el mismo proceso de congelación realizado para las cebollas enteras.

Todas las muestras se liofilizaron y, posteriormente, se trituraron y tamizaron (0,5 mm), almacenándose en congelación hasta la realización de los análisis.

### *Subproductos de cebolla*

Los subproductos de cebolla proceden del procesado industrial de cebollas enteras de las variedades analizadas en el apartado interior. La obtención y los tratamientos de estabilización de estos subproductos se realizaron en el CNTA (Centro Nacional de Tecnología y Seguridad Alimentaria, San Adrián, Navarra).

Los subproductos se obtuvieron mediante dos tipos de procesado:

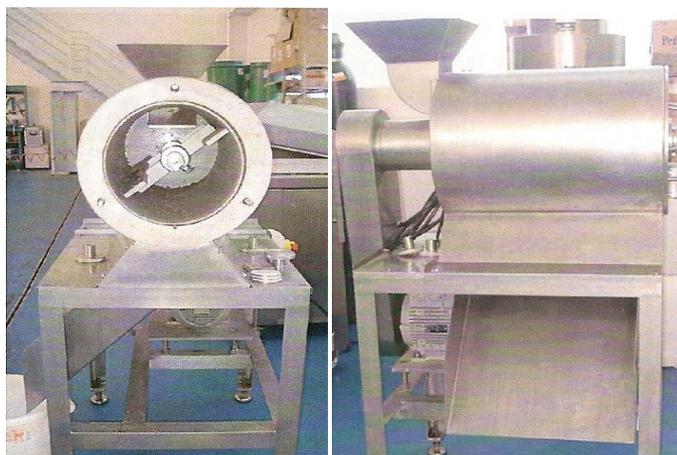
El **Procesado 1**, que consiste en la trituración de las cebollas enteras en una cubitadora con rejilla de 10 x 10 mm (Figura 22) y un prensado posterior en una prensa de tornillo (Figura 22). Tras este procesado se obtuvieron los siguientes subproductos:

- Pasta (P): producto obtenido tras la trituración de las cebollas enteras.
- Bagazo (B): parte sólida que queda tras el prensado de la Pasta.
- Zumo (Z): residuo líquido que queda tras el prensado de la Pasta.



**Figura 22.** Cubitadora (Izqda.) y Prensa de tornillo (Dcha.) usadas en el Procesado 1 (Fuente CNTA)

El **Procesado 2** consiste en un tamizado de las cebolla enteras en un tamiz de 2 mm de poro (Figura 23). Tras este procesado se obtiene el subproducto denominado Puré (Pu).



**Figura 23.** Vista frontal y lateral del Tamiz usado para el Procesado 2 (Fuente CNTA)

La estabilización de los subproductos se realizó mediante tres tratamientos. Un tratamiento de congelación con nitrógeno líquido hasta alcanzar  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y dos

tratamientos de estabilización térmica, Pasterización (P) (100 °C hasta una  $F_{100}^{16} \geq 10$ , con adición de ácido cítrico suficiente (0.10%) para  $pH < 4,6$ ) y Esterilización (E) (115 °C hasta una  $F_{121}^{10} \geq 6$ ).

La congelación se llevó a cabo en un armario criogénico Frigothermic, modelo L.S.1. (Figura 24), que sirve para congelar por choque productos alimenticios. El producto se enfría a la temperatura deseada gracias a una atmósfera de gas fría y una aspersión directa de nitrógeno líquido. Los subproductos congelados serán considerados como Control a lo largo del estudio.



**Figura 24.** Armario criogénico Frigothermic (Izda.) y Autoclave horizontal (Dcha.) usados para la estabilización de los subproductos de cebolla (Fuente CNTA)

Para la esterilización y la pasterización, el producto se envasó en bolsas de plástico (PETP/ALU/OPA/PP) esterilizables de 2 L y se trató en un autoclave tradicional (Figura 24).

Todos los subproductos se liofilizaron, molieron y tamizaron (0,5 mm) y se almacenaron en un congelador hasta la realización de los análisis.

De cada uno de los subproductos se disponía de tres replicados; en el caso de los productos congelados (control) cada replicado consistía en un anaclín de un litro y medio, mientras que en el caso de los subproductos tratados térmicamente eran bolsas esterilizables de medio litro.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Parámetros Físicos

#### *Peso*

Para la determinación del peso se eligieron 30 cebollas al azar de cada una de las variedades y se pesaron de forma individual en una balanza con precisión  $\pm 0,01$ .

#### *Calibre*

El calibre de la cebolla viene determinado por el diámetro y la altura de la misma. Para esta determinación se eligieron 30 cebollas al azar de cada variedad y mediante un calibre se realizaron en cada una de las cebollas cuatro medidas transversales, correspondientes al diámetro, y una medida longitudinal, correspondiente a la altura.

#### *Número de anillos y grosor medio del anillo (GMA)*

Para determinar el número de anillos (número de capas carnosas), las cebollas fueron seccionadas por la mitad con un cuchillo a través del eje de la altura, procediéndose a continuación a contar el número de anillos (Sinclair y col., 1995). Se realizaron diez repeticiones para cada variedad. El grosor medio del anillo fue calculado mediante la siguiente fórmula (Sinclair y col., 1995):

$$\text{GMA} = \text{Diámetro} / (2 \times n^{\circ} \text{ anillos})$$

## 2.2. Parámetros químicos

### *Humedad*

El contenido en agua de las cebollas enteras, los residuos y los subproductos de cebolla se determinó mediante pesada, con una precisión de  $\pm 0,1$  mg, antes y después del secado de la muestra en estufa a 65 °C y presión atmosférica, hasta alcanzar peso constante.

### *Nitrógeno total*

La determinación del nitrógeno total se realizó mediante una mineralización Kjeldhal (método 32.1.22, AOAC, 1995). La determinación del amonio fue llevada a cabo mediante una colorimetría, basada en una modificación del método Berthelot que consiste en la fijación de un átomo de nitrógeno con dos moléculas de fenol bajo la acción oxidante del hipoclorito. Se obtiene un compuesto de color azul de indofenol. Como fenol se utiliza el salicilato sódico y se emplea nitroprusiato sódico como catalizador.

### *Cenizas*

El contenido de cenizas se determinó por mineralización de las muestras a una temperatura de 525 °C en un horno mufla durante 4 horas (método 934.01, AOAC, 1995). Simultáneamente se realizó un blanco sin muestra.

### *Elementos minerales*

La determinación de los minerales se llevó a cabo en el Servicio Interdepartamental de Investigación (SIDI) de la Universidad Autónoma de Madrid. Se analizaron por ICP-MS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo) (Elan 6000 PE Sciex) con una digestión previa en vaso abierto.

## 2.3. Fibra Alimentaria

### *Método enzimático-gravimétrico*

Para evaluar el contenido de fibra alimentaria y sus fracciones soluble e insoluble se utilizó el método enzimático-gravimétrico (método 991.42, AOAC, 1995). Se trata de un método en el que la fibra es aislada como residuo indigestible y medida graviméricamente, tras la eliminación enzimática de los compuestos que no forman parte de ella, y posterior corrección del contenido en proteínas resistentes a las enzimas y en cenizas. Los residuos que permanecen después del tratamiento enzimático ( $\alpha$ -amilasa, proteasa y amiloglicosidasa) se lavan con agua a 70 °C y se aíslan por filtración, constituyendo el residuo gravimétrico insoluble (RGI), que tras restar el contenido en cenizas y proteínas constituye la fibra insoluble (FI). La fibra soluble se precipita con etanol. Los residuos así obtenidos constituyen el residuo gravimétrico soluble (RGS) que, después de sustraer el contenido en proteínas y cenizas, representa la fibra soluble (FS). La fibra total (FT) se calcula como la suma de FI y FS. La determinación de cenizas y de proteínas (mediante N Kjeldahl  $\times 6,25$ ) se llevó a cabo en los residuos gravimétricos, según los métodos descritos en el apartado 2.2.

### *Método enzimático-químico*

La determinación de la fibra alimentaria como suma de cada uno de sus constituyentes requiere llevar a cabo una hidrólisis ácida de los residuos de fibra soluble e insoluble obtenidos tras el método enzimático-gravimétrico previamente descrito. El objetivo de la hidrólisis es liberar los principales componentes de la fibra alimentaria, azúcares neutros y ácidos urónicos. Se determinó siguiendo el método descrito por Jaime (2000).

Los residuos de fibra insoluble (100 mg  $\pm$  0,1 mg) se sometieron a una hidrólisis secuencial, en ácido sulfúrico 12 M (primaria) para dispersar la celulosa, y

posteriormente a una hidrólisis en ácido sulfúrico 0,6 M (secundaria). Los residuos de fibra soluble ( $85 \text{ mg} \pm 0,1 \text{ mg}$ ) se sometieron únicamente a la hidrólisis secundaria.

Los residuos finales que se obtienen tras la hidrólisis ácida de la fracción de fibra insoluble y posterior filtración sobre placas filtrantes (porosidad nº 4) y lavado con agua desionizada a  $95 \text{ }^\circ\text{C}$ , se cuantificaron gravimétricamente como lignina Klason. Para ello se secaron los residuos en estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , durante 18 horas y se pesaron con precisión de  $\pm 0,1 \text{ mg}$ .

#### Determinación de azúcares neutros por HPLC

Para la determinación de los azúcares neutros se neutralizaron los hidrolizados, empleando una resina de intercambio iónico AG4-X4 (Bio-Rad, CA, USA). Tras la neutralización, la muestra se llevó a sequedad, se redisolvió en agua Milli Q, ajustando el pH a 6,5-7,5 y se filtró por un cartucho Sep-Pak C18 (Millipore, MA, USA) y un Millex HV13 ( $0,45 \text{ } \mu\text{m}$ ) (Millipore, MA, USA). La determinación y cuantificación de los azúcares neutros se llevó a cabo mediante HPLC. El equipo Beckman está constituido por un inyector, dos bombas de solvente que actúan en condiciones isocráticas, una interfase y un detector de índice de refracción. El sistema usado para controlar los módulos, cuantificar y calibrar los cromatogramas fue el programa informático System Gold versión 8.0 (Jaime, 2000).

El sistema analítico utilizado para separar los azúcares neutros fue una precolumna Carbo-P Refill (Bio-Rad, CA, USA) en serie con una columna de análisis de carbohidratos Aminex HPX-87P (Bio-Rad, CA, USA) de tipo ión intercambiable, que separa mezclas de mono- y disacáridos, eluyendo primero los disacáridos, luego los monosacáridos y, por último, los azúcares alcohol. La columna se calienta a  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  en un horno con termostato. La fase móvil está constituida por agua desionizada filtrada ( $0,45 \text{ } \mu\text{m}$ ) y desgasificada por ultrasonidos. El flujo usado fue de  $0,5 \text{ mL min}^{-1}$ . El tiempo del cromatograma

fue aproximadamente de 30 min. El volumen de inyección fue de 100  $\mu$ L (Jaime, 2000).

Para la identificación y cuantificación de las muestras se empleó el método de patrón interno (eritritol), y las curvas de calibrado con patrones de azúcares puros (Sigma-Aldrich, MO, USA). Los patrones utilizados, consistían en una mezcla de: celobiosa (Cel), glucosa (Glu), xilosa (Xil), galactosa (Gal), arabinosa (Ara) y manosa (Man). Los tiempos de retención, así como los factores de respuesta del aparato, fueron verificados cada 10 muestras por medio de la inyección de una muestra patrón.

#### Determinación de celulosa

La celulosa, debido a su alto grado de cristalinidad, no es hidrolizable si no se dispersa previamente en medio ácido concentrado. Si se suprime este paso se hidrolizan sólo los polisacáridos no celulósicos, y por diferencia con el tratamiento completo se puede conocer el contenido de la celulosa. Esta diferencia se cuantifica como la diferencia entre los contenidos de glucosa más celobiosa por HPLC, obtenidos en ambos tratamientos de hidrólisis. Para establecer el contenido de celulosa hay que tener en cuenta la conversión del resultado de la glucosa en el de celulosa multiplicando por un factor de 0,9, debido a la pérdida de moléculas de agua en el paso de monosacáridos a polisacáridos. Además, durante la hidrólisis 0,6 M se produce una leve hidrólisis de celulosa, aproximadamente de un 10%, por lo que la diferencia entre la hidrólisis fuerte y la suave corresponde al 90% de la celulosa presente en las muestras (Jaime, 2000).

#### Determinación de ácidos urónicos

La determinación de ácidos urónicos se realizó mediante una colorimetría en medio ácido concentrado que hidroliza los ácidos poligalacturónicos en unidades de ácido galacturónico, que se condensan con el reactivo

colorimétrico. El reactivo utilizado fue el *m*-hidroxidifenilo (MHDP), específico para la reacción con ácidos urónicos, y como patrón se empleó ácido galacturónico monohidratado. Para cada muestra se hizo un blanco en el que el MHDP fue sustituido por un volumen igual de NaOH 0,5% (Martín-Cabrejas, 1993).

## **2.4. Carbohidratos no estructurales**

### *Azúcares solubles y fructooligosacáridos*

Para determinar los fructooligosacáridos (FOS) y los azúcares solubles se realizó una extracción y cuantificación de los mismos siguiendo el método descrito por Jaime y col. (2001a), que consiste en una extracción etanólica secuencial con etanol al 70% (100 °C, 10 min). A continuación, las muestras se centrifugaron (2000 g, 15 min) y se recogió el sobrenadante. La extracción se repitió cuatro veces más, desechando el residuo final. Todos los sobrenadantes se concentraron hasta sequedad en un rotavapor a temperaturas menores de 30-33 °C. El residuo se redisolvió en 50 mL de agua desionizada. Las muestras se filtraron por un cartucho Sep-Pak y por un filtro Millex HV<sub>13</sub> (0,45 µm de poro) (Millipore, MA, USA).

La cuantificación de los azúcares solubles y de los fructooligosacáridos se realizó por HPLC. El equipo es el descrito en el apartado 2.3. La separación de los azúcares se llevó a cabo en una columna de intercambio catiónico Aminex HPX-42C (Bio-Rad, CA, USA), ideada para la separación de oligosacáridos. La fase móvil estaba constituida por agua desionizada filtrada (0,45 µm) y desgasificada. El flujo usado fue de 0,5 mL min<sup>-1</sup>. La temperatura de la columna fue de 85 °C. El tiempo del cromatograma fue de 30 min. El volumen de inyección fue 100 µL.

Los picos cromatográficos fueron identificados por comparación de los tiempos de retención con su correspondiente curva de calibrado. Los patrones usados

fueron glucosa, fructosa y sacarosa (Sigma-Aldrich, MO, USA) y 1-fructofuranosilnístosa, nístosa y 1-kestosa (Wako Pure Chemical Industries, Osaka, Japón).

### *Fructanos Totales*

El contenido de fructanos totales en las muestras liofilizadas se midió usando un kit enzimático para fructanos (K-FRUC) (Megazyme, Co., Wicklow, República de Irlanda) de acuerdo con las instrucciones del fabricante (método AOAC 999.03, método AACC 32.32). La muestra se incubaba primero con sacarasa para hidrolizar la sacarosa a fructosa y glucosa, que son reducidos a azúcares alcohol con la solución alcalina de NaBH<sub>4</sub>, que se neutraliza con ácido acético. Después, la muestra se incubaba con fructanasa (exo-inulinasa) para hidrolizar los fructanos a fructosa y glucosa, que se miden con el método ácido *p*-hidroxibenzoico hidrazida (PAHBAH).

## **2.5. Compuestos azufrados**

### *Azufre total*

El contenido de azufre total fue determinado mediante análisis químico elemental usando un analizador elemental LECO CHNS-932 (LECO, Michigan, USA). El método analítico consiste en una oxidación o combustión completa e instantánea de la muestra (1 mg ms), en condiciones óptimas de temperatura (T<sup>a</sup> combustión: 1000 °C y T<sup>a</sup> reducción: 650 °C) y atmósfera de oxígeno (20 y 10 cc), que transforma la muestra en sus productos de combustión (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>).

### *S-Alqu(en)il-cisteín-sulfóxidos*

Para el análisis de los S-alquenil-cisteín-sulfóxidos se usó el método descrito por Mallor y Thomas (2008), que requiere una extracción previa de los compuestos

y una posterior cuantificación por HPLC. Para la extracción, se pesan 10 mg de muestra liofilizada y se añade 1 mL de metanol:cloroformo:agua (12:5:3); se agita y se deja incubando toda la noche a -20 °C. Después de este tiempo se toman 700 µL del extracto y se le añade 385 µL de agua y 315 µL de cloroformo, se mezcla bien y se centrifuga a 13,000 g durante 30 s. De la fase superior resultante se cogen 790 µL que se traspasan a otro eppendorf y se liofiliza. Finalmente, el extracto se resuspende en 600 µL de HCl 0,03 M y se filtra por un filtro de 0,2 µm antes de inyectarlas en el HPLC.

Para el análisis de estos derivados se usó un sistema de HPLC de la serie 1200 de Agilent (Agilent, Reino Unido) unido a detector de fotodiodo array Agilent 1200 DA G1315B/G1365B que permite obtener el espectro UV-visible de los picos durante el desarrollo cromatográfico, proporcionando información sobre diferentes parámetros espectrales. El volumen de inyección fue de 15 µL y la separación a 25 °C se llevó a cabo en una columna ZORBAX Eclipse XDB-C18, (4,6 mm x 250 mm, 5 µm de tamaño de partícula) que es una columna de fase inversa cuyo relleno es una fase ligada de organosilados, en concreto octadecil-silil-ligada (C-18), unida a una guarda columna Agilent ZORBAX Eclipse XDB (1,0 mm x 17 mm, Part no. 5185-5921). La fase móvil utilizada fue HCl 0,03 M, desgasificada por sonicación a un flujo de 0,6 mL min<sup>-1</sup>. La detección se realizó a 215 nm y el tiempo de cromatograma fue de 27 min, con cinco minutos de lavado. Los datos se procesaron en el programa informático Agilent ChemStation Rev. B.02.01. La identificación de los picos se hizo mediante comparación de los mismos con los tiempos de retención y los espectros de patrones, y se cuantificaron mediante las curvas de calibrado obtenidas de los patrones. Metil-cisteín-sulfóxido y propil-cisteín-sulfóxido fueron calibrados frente a sus patrones correspondientes, mientras que 1-propenil-cisteín-sulfóxido se calibró frente a alil-cisteín-sulfóxido.

## 2.6. Compuestos fenólicos

Para determinar los compuestos fenólicos fue necesario realizar una extracción previa y sobre los extractos se realizó la determinación colorimétrica de los compuestos fenólicos totales y los flavonoides totales, la determinación e identificación de los flavonoles por HPLC y la determinación de la capacidad antioxidante.

### *Extracción de los compuestos fenólicos*

Los compuestos fenólicos se extrajeron usando el método descrito previamente por Downes y col. (2009). Las muestras liofilizadas se pesan ( $150 \text{ mg} \pm 0,5 \text{ mg}$ ) y disuelven en 3 mL de una mezcla 70:29,5:0,5 de metanol (grado analítico): agua Milli Q: ácido clorhídrico (grado analítico). Después de agitar bien, los viales se colocan en un baño con agitación a  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 90 min, agitando las muestras con el vórtex cada 15 min. Una vez finalizado el tiempo de incubación, las muestras se dejan enfriar y se filtran con un filtro de  $0,2 \text{ }\mu\text{m}$ .

### *Polifenoles totales*

Esta determinación es una valoración global de los polifenoles, utilizando para ello un método basado en el carácter reductor de los mismos. La cuantificación se realiza por la medida del complejo azul formado por los polifenoles con una mezcla de ácidos fosfomolibdico y fosfotúngstico, conocida como reactivo de Folin-Ciocalteu, utilizando una curva patrón de ácido gálico (Singleton y Rossi, 1965). La absorbancia se mide a  $765 \text{ nm}$  y el resultado se expresa como miligramos equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de materia seca.

### *Flavonoides totales*

Para la determinación de los flavonoides totales se siguió el método descrito por Downes y col. (2010) que consiste en una colorimetría utilizando quercetina

como patrón. Para el desarrollo de la colorimetría se ponen 100  $\mu\text{L}$  de patrón o de extracto de las muestras en una cubeta de plástico de 4,5 mL, se añaden 3 mL de la disolución de NaOH 4% (en 50:50 etanol:agua Milli Q), se mezcla bien y se deja 10 min a temperatura ambiente para que desarrolle el color. La absorbancia se mide a 420 nm usando un blanco con 100  $\mu\text{L}$  de agua desionizada sustituyendo al patrón y a la muestra. El resultado se expresa como miligramos equivalentes de quercetina (EQ) por gramo de materia seca. Los patrones de concentración 0,50, 0,25, 0,10, 0,05, 0,025, 0,010 y 0,005  $\text{mg mL}^{-1}$  de quercetina se preparan a partir de una disolución madre de 1,0  $\text{mg mL}^{-1}$  (100  $\text{mg} \pm 0,5 \text{ mg}$  de quercetina (Sigma-Aldrich, MO, USA) se disuelven en 50 mL de etanol (HPLC) y se enrasa a 100 mL con agua destilada).

### *Flavonoles*

Para el análisis de los flavonoles por HPLC, se empleó el método de Downes y col. (2010) con ligeras modificaciones. Se usó un sistema de HPLC de la serie 1200 de Agilent (Agilent, Reino Unido) unido a un detector de fotodiodo array Agilent 1200 DA G1315B/G1365B. El volumen de inyección fue de 10  $\mu\text{L}$  y la separación a 30 °C se llevó a cabo en una columna ZORBAX Eclipse XDB-C18 (4,6 mm x 150 mm, 5  $\mu\text{m}$  de tamaño de partícula, Part no. 993967-902) que es una columna de fase inversa cuyo relleno es una fase ligada de organosilados, en concreto octadecil-silil-ligada (C-18), unida a una guarda columna Agilent ZORBAX Eclipse XDB (1,0 mm x 17 mm, Part no. 5185-5921). La fase móvil está compuesta por dos eluyentes; el eluyente A formado por agua milli Q con 0,5  $\text{g L}^{-1}$  de ácido trifluoroacético (TFA) y el eluyente B es acetonitrilo con 0,5  $\text{g L}^{-1}$  de TFA. Se trata de una fase con incremento y decrecimiento del porcentaje del eluyente B de la siguiente forma: 5-10%, 5 min; 10-25%, 5 min; 25-85%, 6 min; 85-5%, 4 min; 5%, 5 min. El flujo fue de 0,8  $\text{mL min}^{-1}$  y la detección se realizó a 370 nm. El tiempo de cromatograma fue de 25 min, con 5 min de lavado. Los datos se procesaron en un programa informático Agilent ChemStation Rev. B.02.01.

Se utilizaron curvas de calibrado obtenidas de los patrones reales de quercetina 3-glucósido, quercetina 4'-glucósido, quercetina 3,4'-diglucósido y quercetina (PlantChem, Sandnes, Norway); la isoramnetina 3,4'-diglucósido y la isoramnetina 4'-glucósido se cuantificaron con los glucósidos equivalentes de quercetina.

Para la preparación de los patrones se disuelven 5 mg de cada uno de los patrones en 10 mL de metanol (HPLC) para dar una concentración final de cada uno de ellos en la mezcla de 0,5 g L<sup>-1</sup>; a partir de ésta se cogen alícuotas para obtener las siguientes concentraciones 0,1, 0,05, 0,01, 0,005, 0,001 g L<sup>-1</sup>, de la mezcla de patrones, enrasándose en un matraz de 10 mL con metanol (HPLC). El extracto de las muestras obtenido para la determinación de los compuestos fenólicos descrito anteriormente se diluye a la mitad con agua Milli Q.

#### *Capacidad antioxidante*

Para la determinación de la capacidad antioxidante se usó el método conocido como FRAP ("ferric reducing antioxidant power") (Benzie y Strain, 1996). Es un método colorimétrico que se basa en la formación de un complejo coloreado ferroso-tripiridiltriazina que se produce cuando el ión férrico se reduce a ión ferroso a pH bajo. Los valores FRAP se obtienen comparando la absorbancia de las muestras a 593 nm con aquéllas que contienen ión ferroso en concentraciones conocidas. La variación de la absorbancia con la concentración es lineal para un amplio intervalo de concentraciones.

El procedimiento seguido se describe a continuación: en un tubo de ensayo se añaden 50 µL de los patrones o del extracto de la muestra y 3,6 mL de la disolución de trabajo FRAP. Se mezcla mediante agitación. A la vez se prepara el blanco sustituyendo los patrones o la muestra por 50 µL de agua desionizada. La mezcla se incuba a 37 °C durante 10 min para el desarrollo del color, periodo tras el que se mide la absorbancia a 593 nm en cubetas de plástico. Para determinar la actividad antioxidante total de las muestras se usa la curva de

calibrado que se obtiene de los patrones. El resultado se expresa como  $\mu\text{moles}$  de  $\text{Fe}^{2+}$  por gramo de materia seca.

Para este método se usan las siguientes disoluciones:

*Tampón acetato 300 mM pH 3,6:* 3,1 g acetato sódico se disuelven en 16 mL de ácido acético glacial y se enrasa a un litro con agua desionizada.

*TPTZ (2, 4, 6-tripiridil-S-triazina) 10 mM en ácido clorhídrico 40 mM:* 78 mg de TPTZ se disuelven y enrasan en 25 mL de HCl 40 mM. Esta disolución se tiene que usar dentro de las dos horas posteriores a su preparación.

*Cloruro de hierro (III) 20 mM:* 135 mg de cloruro de hierro se disuelven y enrasan en 25 mL de agua desionizada. Esta disolución se tiene que usar dentro de las dos horas posteriores a su preparación.

*Solución de trabajo FRAP (1:1:10):* 5 mL de la disolución de TPTZ y 5 mL de la disolución de cloruro de hierro (III) se añaden a 50 mL de tampón acetato. Esta disolución se tiene que usar dentro de las dos horas posteriores a su preparación.

*Preparación de patrones:* A partir de una disolución madre de sulfato de hierro 2 mM se preparan patrones con las siguientes concentraciones: 0, 0,2, 0,4, 0,8, 1,0, 1,2, 1,6 y 2 mM.

## **2.7. Residuo Insoluble en Alcohol (RIA)**

Una forma rápida y precisa de obtener un residuo rico en fibra alimentaria es la obtención de un residuo insoluble en alcohol (RIA), ya que mediante este procedimiento se aíslan los componentes de la pared celular, debido a su insolubilidad en alcohol, mientras que los azúcares de bajo peso molecular y oligosacáridos son solubilizados. Este método de aislar fibra es muy apropiado para alimentos pobres en almidón y proteínas, como es el caso de la cebolla.

La obtención del residuo insoluble en alcohol se realizó según el método de Robertson y col. (2000), con pequeñas modificaciones. A un gramo de muestra liofilizada se le añaden 30 mL de etanol al 85% hirviendo y se incuba durante 5 min en un baño de agua con agitación. Después, se centrifuga durante 6 min, el sobrenadante se descarta, y el sólido se redisuelve en 30 mL de etanol al 85%, volviendo a empezar el proceso. La extracción se realiza tres veces y el residuo final se seca en un crisol por intercambio de disolventes dos veces con etanol absoluto y otras dos con acetona.

## **2.8. Propiedades físico-químicas**

Las propiedades físico-químicas determinadas en este estudio incluyen la densidad aparente, capacidad de retención de aceite, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de gelificación y propiedades de hidratación (capacidad de retención de agua y capacidad de hinchamiento).

### *Densidad aparente*

Para la determinación de la densidad aparente (DA) se usó el método descrito por Chau y Huang (2003). En una probeta de 10 mL, previamente tarada, se introduce la muestra que se va compactando mediante golpecitos. Se rellena la probeta hasta que la muestra, que tiene que quedar bien compacta, alcanza el aforo de 10 mL y se pesa la probeta. La densidad aparente se expresa en gramos de muestra que ocupan 1 mL ( $\text{g mL}^{-1}$ ).

### *Capacidad de retención de aceite*

A 1 g de muestra se le añaden 10 mL de aceite de girasol y se mantiene en agitación durante 30 min. Posteriormente, se centrifuga a 2500 g durante 30 min. Después de centrifugar se mide el volumen del sobrenadante. La diferencia entre el volumen inicial de aceite y el volumen recuperado,

corresponde a la capacidad de retención de aceite (CRAc) expresada en mL g<sup>-1</sup> de muestra (Chau y Huang, 2003).

#### *Capacidad de intercambio catiónico*

Medio gramo de muestra se suspende en 25 mL de ácido clorhídrico 2 N (4 repeticiones por muestra) y se mantiene en agitación 24 horas, tras las cuales se centrifuga durante 15 min a 2500 g. El residuo se lava con agua destilada hasta que el pH es superior a 4. Tres de los residuos lavados se resuspenden en 25 mL de cloruro sódico 0,3 M y el otro, que corresponde al blanco, se resuspende en 25 mL de agua destilada. Se mantiene en agitación 24 horas y se centrifuga a 2500 g durante 15 min. El sobrenadante se valora con hidróxido sódico 0,01 N. El resultado de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se expresa en miliequivalentes por kilogramo de muestra (Jiménez y col., 2000).

#### *Capacidad de gelificación*

Se preparan suspensiones de la muestra al 4, 8, 12, 14, 16, 18 y 20% (p/v) en agua destilada y se introducen en un baño de agua a 100 °C durante 1 hora, y a continuación se ponen en un baño de hielo durante 1 hora. La gelificación se determina como la mínima concentración de gelificación (MCG) que es aquella a la que la muestra no se desliza por las paredes al invertir los tubos (Chau y Cheung 1998).

#### *Capacidad de retención de agua*

A 1 g de muestra se le añaden 10 mL de agua destilada y se mantiene en agitación durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo se centrifuga a 2500 g durante 30 min. Se mide el volumen del sobrenadante después de centrifugar. La diferencia entre el volumen inicial de agua y el que se recupera después de la centrifugación determina la capacidad de retención de agua (CRA) expresada

en mililitros de agua que retiene un gramo de muestra ( $\text{mL g}^{-1}$ ) (Chau y Huang, 2003).

### *Capacidad de hinchamiento*

Se pesa 0,1 g de muestra en un cilindro graduado de diez mililitros. Se rellena el cilindro con agua destilada hasta 10 mL. La muestra se dispersa agitando suavemente y se deja reposar durante 18 horas para que se hidrate. Transcurrido ese tiempo se mide el volumen final que ocupa la muestra (Robertson y col., 2000). La capacidad de hinchamiento (CH) se expresa como:

$$C. \text{ hinchamiento } (\text{mL g}^{-1}) = V \text{ final} / \text{masa muestra}$$

## **2.9. Propiedades hipoglucémicas**

La determinación de la capacidad de los residuos ricos en fibra para reducir los niveles séricos de glucosa es útil para conocer su posible utilidad como fuente de fibra en alimentos funcionales (Chau y col., 2004b). Para ello se determinaron *in vitro* varias propiedades hipoglucémicas.

### *Capacidad de adsorción de glucosa*

El objetivo de esta determinación es medir la capacidad que tienen los residuos ricos en fibra para adsorber glucosa, ya que esta capacidad disminuiría la concentración disponible de glucosa en el intestino delgado, evitando que ésta traspase la pared intestinal y llegue a la sangre, lo que produciría un descenso en la concentración de glucosa sérica postprandial.

Esta propiedad se determinó utilizando el método descrito por Chau y col. (2004b), en el que 1 g de muestra se incubaba con 100 mL de diferentes disoluciones de glucosa durante 6 horas a 37 °C en un baño con agitación, tiempo durante el cual la mezcla llega a un equilibrio. Después de la incubación, las muestras se centrifugan durante 15 min a 3500 g, recuperándose el sobrenadante donde se

mide la concentración de glucosa usando el Kit enzimático K-GLUC (Megazyme, Co., Wicklow, República de Irlanda). El dato obtenido corresponde a la glucosa no adsorbida. La capacidad de adsorción de glucosa se obtiene mediante la siguiente fórmula:

Capacidad de adsorción de glucosa (AG) ( $\text{mmol g}^{-1}$ ) = (Conc. Glucosa en la solución original - Conc. Glucosa en el equilibrio) x Volumen de la disolución/ peso de la muestra (g)

#### *Índice de retardo en la diálisis de la glucosa (IRDG)*

Esta medida indica si la presencia de residuos ricos en fibra retarda la absorción de la glucosa, ya que cuanto mayor es el retardo menor será la cantidad de glucosa difundida durante la digestión y, por tanto, mayor sería el descenso de glucosa postprandial en sangre.

El método utilizado es el descrito por Chau y Huang (2003). A 0,5 g de muestra se le añaden 25 mL de solución de glucosa 50 mM, y la mezcla se dializa frente a 80 mL de agua destilada usando una membrana de diálisis de 12.000-14.000 (masa molecular de corte). Se toman muestras del dializado a los 10, 30, 60 y 120 min y se mide el contenido en glucosa (kit enzimático K-GLUC, Megazyme). Paralelamente, se hace un control, sin muestra, para ver la cantidad de glucosa que se dializa.

$$\text{IRDG} = 100 - \left( \frac{\text{contenido de glucosa en el dializado con muestra}}{\text{contenido de glucosa en el dializado control}} \right) \times 100$$

La velocidad máxima de difusión de glucosa fue calculada según indican Ou y col. (2001). Los datos experimentales se ajustaron a una parábola:  $Y = ax^2 + bx + c$ , donde Y es el contenido de glucosa en  $\mu\text{moles}$ ; x es el tiempo en minutos; y **a**, **b** y **c** son los coeficientes. La ecuación para calcular la velocidad de difusión (Y') para cualquier tiempo es  $Y' = 2ax + b$ . Y cuando x se aproxima a 0,  $Y' = V_{\text{max}} = b$ .

### *Actividad residual de $\alpha$ -amilasa*

Con esta propiedad se pretende conocer en qué magnitud interfiere la presencia de residuos ricos en fibra sobre la actividad de la enzima  $\alpha$ -amilasa. La reducción en la actividad  $\alpha$ -amilasa supone un retardo en la tasa de producción de glucosa, ya que se impediría la hidrólisis de polisacáridos como el almidón.

Siguiendo el método de Chau y col. (2004b), 1 g de muestra se mezcla con 4 mg de  $\alpha$ -amilasa y con 40 mL de una solución de almidón al 4% (p/v), se incuban a 37 °C durante 60 min, tras los cuales se añaden 80 mL de NaOH 0,1 M para detener la hidrólisis; posteriormente se centrifuga a 3500 g durante 15 min. La glucosa se mide en el sobrenadante (kit enzimático K-GLUC, Megazyme). Se realiza un control sin muestra para ver la cantidad de glucosa que se produce en ausencia de fibra, que sirve además para calcular el % residual de actividad enzimática.

### *Digestibilidad del almidón*

Esta propiedad mide a la vez el efecto que tienen los residuos ricos en fibra sobre la hidrólisis del almidón y la posterior absorción de los productos de la hidrólisis. Se determina en función del tiempo.

Para su determinación (Chau y col., 2004b) se pesan 0,2 g de muestra, 0,04 g de  $\alpha$ -amilasa y se añaden 10 mL de una solución de almidón al 4% (p/v). La mezcla se dializa contra 200 mL de agua destilada usando una membrana de diálisis de 12.000-14.000 de masa molecular de corte. Se toman muestras del dializado a los 10, 30, 60 y 120 min y se mide el contenido en glucosa (kit enzimático K-GLUC, Megazyme). Se realiza un control sin muestra (blanco) para ver la cantidad de glucosa que se dializa en ausencia de fibra.

## **2.10. Ensayo *in vivo*: Suplementación de la dieta con subproducto rico en fibra**

Se realizó un ensayo *in vivo* con ratas Wistar Hannover para evaluar los efectos fisiológicos de la adición de un subproducto rico en fibra alimentaria en una dieta hiperlipídica.

### *Diseño experimental*

El experimento se realizó en Vivotecnia Research S.L. (Tres Cantos, Madrid, España) y se llevó a cabo con una población de 10 ratas Wistar Hannover hembras de 6 semanas de edad y con un peso medio de  $117 \pm 9$  g que fueron suministradas por la empresa Harlan Interfauna Ibérica S.L. (Sant Feliu de Codines, Barcelona, España). El uso de los animales se hizo bajo la guía europea de laboratorio para el cuidado y uso de animales de laboratorio y aprobado por el RD 1201/2005. Las ratas se sometieron a un periodo de aclimatación que duró cinco días, tiempo durante el cual fueron alimentadas con una dieta normal (Ref. 2914 Harlan Teklad, Oxon, Reino Unido). Después de este periodo, las ratas se dividieron al azar en dos grupos de cinco animales cada uno (uno será el grupo control y el otro el grupo tratado, denominado BPR) y se colocaron de forma individual en jaulas de acero inoxidable en una habitación que se mantuvo a  $22 \pm 3$  °C con ciclos de 12 h de luz/oscuridad y una humedad relativa del 30-70%. Ambos grupos fueron alimentados con sus correspondientes dietas durante cuatro semanas. El alimento y el agua fueron suministrados *ad libitum*.

Durante el experimento se hizo registro diario de los signos clínicos (cambios en piel, ojos, mucosas, membranas, heces, comportamiento y patrón respiratorio) y la mortalidad. Además, se anotó el consumo de alimento dos veces a la semana y el peso de los animales semanalmente. Asimismo, las heces se recogieron cada semana. Al final del periodo experimental, las ratas fueron anestesiadas con

isofluorano y exanguinadas por punción retro-orbital para el análisis bioquímico, y entonces sacrificadas con sobredosis de dióxido de carbono. Una vez sacrificados los animales, se registró el peso de los órganos internos, hígado, riñones, bazo, corazón, intestino delgado y ciego. Este último con su contenido se almacenó a -20 °C hasta su posterior análisis.

### *Dietas*

El grupo control fue alimentado con una dieta rica en colesterol 214B (Panlab S.L., Barcelona) y el grupo tratado o BPR fue alimentado con la dieta 214B suplementada con un 10% de Bagazo pasterizado, molido y tamizado, con lo que la dieta final tenía un 4,5% de fibra alimentaria. La composición de ambas dietas, así con su valor calórico, aparece reflejado en la Tabla 7.

### *Parámetros bioquímicos*

El análisis bioquímico de la sangre se realizó justo antes de comenzar el experimento y, después, semanalmente. La sangre coagulada se centrifugó a 3500 rpm durante 10 min y el plasma fue analizado en el analizador bioquímico (COBAS INTEGRA 400 plus). Se midieron proteínas totales, albúmina, globulina, glucosa, urea, creatinina, colesterol (total, LDL y HDL) y triglicéridos.

Además, se analizaron el pH del ciego y la humedad de las heces, para lo que una porción del contenido cecal fue diluido en agua y el pH se midió usando un electrodo (510, XS Instruments). La humedad de las heces se determinó por liofilización.

**Tabla 7.** Composición de las dietas usadas para el experimento *in vivo*

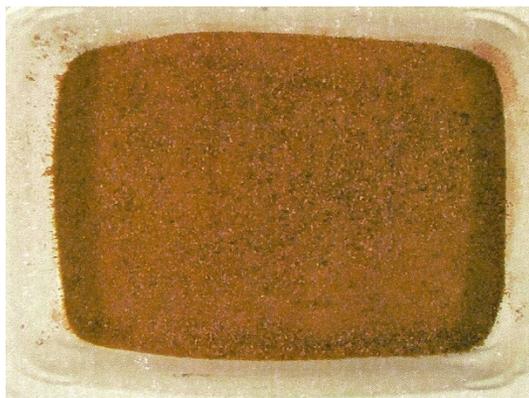
Ingredientes	Control	BPR*
Caseína	200	180
Glucosa	189	170
Celulosa	91	82
Mantequilla	370	333
Bagazo		100
Colina	4	3.6
Sal sódica del ácido	18	16.2
Mineral 205B SAFE	73	65.7
Vitamin 200 SAFE	10	9
Colesterol	45	40.5
Valor calórico	4.640	4.505

\*BPR= dieta suplementada con 10% de Bagazo pasterizado Recas

## **2.11. Subproducto de cebolla como ingrediente alimentario con alto contenido en fibra**

### *Obtención del ingrediente*

Para la obtención del ingrediente se secaron 2 kg de Bagazo en una estufa a 60 °C durante 100 h hasta peso constante. Posteriormente se trituró en un molinillo y se tamizó hasta un tamaño de partícula de 0,5-1 mm, obteniéndose el ingrediente en polvo (Figura 25). Su rendimiento con respecto al Bagazo es del 16% y con respecto a la materia prima original (excedentes) del 4%. Este proceso se llevó a cabo en el Centro Nacional de Tecnología y Seguridad Alimentaria (CNTA).



**Figura 25.** Ingrediente rico en fibra

#### *Formulación de tomate frito casero con el ingrediente de cebolla*

El ingrediente rico en fibra se usó para formular una salsa de tomate frito casero. La fórmula original de la salsa de tomate utilizada (TSF), así como la formulación de las salsas con ingrediente de cebolla aparece en la Tabla 8. Se añadieron dos concentraciones de ingrediente, al 0,8 (T08) y al 5% (T5), a la salsa de tomate frito. Todas las salsas de tomate se sometieron a un tratamiento térmico  $F_{93}^{8,8} > 20$  con el que se consiguió su estabilidad microbiológica.

En las salsas obtenidas se realizaron varias determinaciones analíticas, como son la fibra alimentaria y las propiedades físico-químicas e hipoglucémicas. Para ello las salsas de tomate se liofilizaron y se sometieron a una eliminación de grasa mediante el método Soxhlet. Asimismo, en el CNTA se realizó una evaluación de parámetros físico-químicos habituales para productos de este tipo, entre los que se encuentran el color (con cromámetro Minolta, modelo CM-508i), la viscosidad (con viscosímetro rotacional), los °Brix (con refractómetro digital), la consistencia (con consistómetro Bostwick), la acidez (valoración de ácido cítrico) y la grasa (método Soxhlet). Además, se realizó un análisis sensorial.

**Tabla 8.** Composición de las salsas de tomate (%)

	TSF	T08	T5
Tomate concentrado	90,8	90	85,8
Aceite de oliva	4	4	4
Azúcar	4	4	4
Sal	0,5	0,5	0,5
Ajo en polvo	0,5	0,5	0,5
Cebolla en polvo	0,2	0,2	0,2
Ingrediente de cebolla		0,8	5

### *Análisis sensorial*

Para determinar la reacción de los consumidores ante las salsas de tomate con ingrediente de cebolla se realizó un análisis sensorial, que consistió en una serie de pruebas afectivas. Las pruebas afectivas son aquéllas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, o si lo prefiere a otro (Sancho y col., 1999). Para el desarrollo de las mismas hay que determinar, en primer lugar, si se desea evaluar simplemente la preferencia o el grado de satisfacción, o si también se quiere saber cuál es la aceptación que tiene el producto entre los consumidores. En este estudio se evaluaron las dos primeras características para lo que se realizó una prueba de preferencia y una prueba del grado de satisfacción. El panel de catadores estaba integrado por 30 jueces no expertos.

En la prueba de preferencia sólo se pretende conocer si los jueces prefieren una muestra sobre otra. La prueba es muy sencilla y sólo hay que preguntarle al juez que muestra prefiere. Además, en el cuestionario se incluye una parte de “¿por qué?” o comentarios para conocer el motivo de tal preferencia. Para la

interpretación de los resultados se usa la columna de “prueba de dos colas” de la Tabla de significancia para pruebas de dos muestras (Figura 26). En ésta se localiza el número de jueces que han participado en la prueba y se encuentra el número de respuestas coincidentes para que haya diferencias significativas. El valor de la tabla indica cuántos jueces deben haber escogido una cierta muestra para que haya preferencia significativa.

NUMERO DE JUICIOS	PRUEBAS DE «DOS COLAS»*			PRUEBAS DE «UNA COLA»**		
	Nivel de probabilidad			Nivel de probabilidad		
	5%	1%	0,1%	5%	1%	0,1%
5	–	–	–	5	–	–
6	–	–	–	6	–	–
7	7	–	–	7	7	–
8	8	8	–	7	8	–
9	8	9	–	8	9	–
10	9	10	–	9	10	10
11	10	11	11	9	10	11
12	10	11	12	10	11	12
13	11	12	13	10	12	13
14	12	13	14	11	12	13
15	12	13	14	12	13	14
16	13	14	15	12	14	15
17	13	15	16	13	14	16
18	14	15	17	13	15	16
19	15	16	17	14	15	17
20	15	17	18	15	16	18
21	16	17	19	15	17	18
22	17	18	19	16	17	19
23	17	19	20	16	18	20
24	18	19	21	17	19	20
25	18	20	21	18	19	21
26	19	20	22	18	20	22
27	20	21	23	19	20	22
28	20	22	23	19	21	23
29	21	22	24	20	22	24
30	21	23	25	20	22	24

**Figura 26.** Tabla de significancia para pruebas de dos muestras

Para el estudio del grado de satisfacción se utilizó una escala hedónica verbal de nueve puntos. En estas escalas los jueces presentan una descripción verbal de la sensación que les produce la muestra (Figura 27) y luego pueden añadir comentarios para explicar el porqué de su valoración. Para la interpretación de los resultados se realiza un análisis de varianza para determinar si hay diferencias significativas.

---

ESCALA HEDÓNICA DE NUEVE PUNTOS	
Descripción	Valor
Me gusta muchísimo	+4
Me gusta mucho	+3
Me gusta bastante	+2
Me gusta ligeramente	+1
Ni me gusta ni me disgusta	0
Me disgusta ligeramente	-1
Me disgusta bastante	-2
Me disgusta mucho	-3
Me disgusta muchísimo	-4

---

**Figura 27.** Escala hedónica verbal de nueve puntos

## 2.12. Tratamiento estadístico

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos experimentalmente se realizaron cálculos de estadística descriptiva (media aritmética y desviación típica), un análisis de varianza de un factor (ANOVA) y la correlación lineal entre distintas variables (Bender y col., 1989), usando para ello el programa estadístico SPSS 17.0. Las medias procedentes de los tratamientos se han comparado usando el *test* de la mínima diferencia significativa (MDS) para muestras de dos grupos y *test* de Duncan para más de dos grupos. En ambos casos la probabilidad fue  $P < 0,05$ . Todos los análisis se realizaron por triplicado con dos repeticiones.

## **Resultados y discusión**



## CAPÍTULO 1. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE CEBOLLA

### **Interés del estudio**

La industria alimentaria produce grandes cantidades de residuos de cebolla, con el consiguiente problema medioambiental. Una posible vía para solucionar este problema puede ser el uso de los mismos como fuente natural de ingredientes con alto valor funcional, ya que la cebolla es rica en diversos grupos de compuestos que proporcionan beneficios para la salud humana. Ante esta situación, se hace necesaria la realización de estudios sobre la composición de los residuos de cebolla que genera la industria, con el fin de conocer las diferencias que existen entre los distintos desechos que se producen, incluidos los bulbos de cebolla que no pueden comercializarse, y así poder ser utilizados como ingredientes funcionales ricos en compuestos específicos.

### **Parámetros Físicos**

Además del color, aroma y sabor, el aspecto exterior de la cebolla, representado por el tamaño y la forma, constituye una de las principales características de los bulbos de cebolla (Maw y col., 1996). La determinación de estos parámetros tiene por objeto conocer las diferencias físicas entre variedades, en este caso Recas y Figueres, y caracterizarlas con respecto a algunos parámetros de calidad, además del interés que puede presentar para la interpretación de los resultados de los diversos componentes que se analizarán posteriormente en la cebolla y en sus derivados.

Los parámetros físicos estudiados fueron el peso y los relativos al calibre del bulbo, como son el diámetro y la altura, el número de anillos y el grosor medio del anillo.

### *Peso*

En la Tabla 9 se aprecia que la variedad Recas es la que presenta un peso significativamente mayor, con valores que suponen el doble del peso de la variedad Figueres. Además, hay que destacar la enorme heterogeneidad de los pesos dentro de una misma variedad, lo que se traduce en una alta desviación típica.

### *Calibre*

El calibre es un parámetro de gran importancia, ya que constituye la base para la clasificación de las cebollas de cara a su exportación y comercialización. Se estima a través de la medida del diámetro y la altura del bulbo.

Los datos de la Tabla 9 revelan que la variedad Recas tiene un calibre medio mayor, tanto de diámetro (84 mm) como de altura (78 mm), que la variedad Figueres. La magnitud del diámetro y de la altura sirven para clasificar a las variedades de cebollas en función de su forma. Así, la variedad Recas se clasificaría como “globosa”, ya que su diámetro es sólo ligeramente mayor (8%) que su altura, mientras que la variedad Figueres como “discoidal”, debido a que la magnitud de su diámetro es considerablemente mayor (19%) que su altura (Sobrino, 1992).

### *Anillos*

La variedad Recas presenta mayor número de anillos que la variedad Figueres (Tabla 9), sin embargo esta última presenta unos anillos más gruesos.

**Tabla 9.** Parámetros físicos de las variedades de cebolla estudiadas

Variedad	Peso (g)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	nº anillos	GMA (mm)
Recas	302± 77 <sup>b</sup>	78± 11 <sup>b</sup>	84± 7 <sup>a</sup>	8,3±0,4 <sup>b</sup>	4,8±0,5 <sup>a</sup>
Figueres	152± 50 <sup>a</sup>	58± 8 <sup>a</sup>	69± 10 <sup>a</sup>	6,5±0,7 <sup>a</sup>	5,9±0,8 <sup>a</sup>

Los valores son la media ± DE, n = 10. Las medias dentro de una columna con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . GMA: Grosor medio del anillo

### Parámetros químicos

Al igual que los parámetros físicos, la determinación de los parámetros químicos básicos contribuye a conocer y diferenciar entre sí las variedades objeto del estudio. De esta forma se midió materia seca, nitrógeno total, cenizas y composición mineral, de ambas variedades de cebolla y de sus residuos industriales.

#### *Materia seca*

El contenido en materia seca del bulbo es un parámetro de calidad importante para la cebolla. Por un lado es un factor fundamental para la industria de la cebolla, ya que influye directamente en la energía requerida en el proceso industrial de deshidratación, y por otro se relaciona en diverso grado con otros parámetros de calidad, como son el sabor fuerte o “picante”, la capacidad de almacenamiento (mayor cuanto más elevado es su contenido en materia seca), su firmeza, el contenido de sólidos solubles, así como la naturaleza y contenido de carbohidratos no estructurales (Sinclair y col., 1995).

Con los resultados obtenidos (Tabla 10) se ha podido observar que no existen diferencias significativas entre las variedades estudiadas con respecto a su contenido en materia seca, pudiéndose considerar ambas como variedades de bajo nivel de materia seca. En función de este parámetro, las cebollas se pueden clasificar en variedades para comercializar en fresco (7-15% ms) y para deshidratar (16-22% ms) (Sinclair y col., 1995). De acuerdo con esto, las

variedades objeto de estudio estarían principalmente destinadas al mercado en fresco.

Los residuos industriales de cebolla mostraron diferencias significativas en su contenido de materia seca, observándose un incremento desde la parte interna carnosa del bulbo hacia la externa (base-cuello y piel); no obstante, el contenido de materia seca encontrado en la piel de ambas variedades es inferior al encontrado en la piel de otros cultivares, como cebollas rojas y marrones, que tienen niveles de materia seca superiores al 80% (Downes y col., 2009)

### *Nitrógeno total*

En la Tabla 10 se encuentran recogidos los resultados correspondientes al contenido en nitrógeno total de los distintos residuos y variedades de cebolla, referidos a materia seca (ms). La variedad Recas presentó mayor contenido de nitrógeno total que Figueres, aunque ambas variedades mostraron la misma distribución del nitrógeno en los residuos industriales. Así, el mayor contenido de este elemento se encontró en la base-cuello del bulbo, posiblemente debido a que el ápice de crecimiento está situado en la base del bulbo. Además, existen diferencias significativas entre las capas externas e internas, sugiriendo que los compuestos nitrogenados se acumulan en las capas más jóvenes (capas internas) y en el ápice de crecimiento. Estos resultados coinciden con los encontrados por Jaime y col. (2002), quienes indicaban que durante la maduración de los bulbos los compuestos nitrogenados son transportados desde las hojas senescentes hacia el bulbo.

### *Cenizas*

No se encontraron diferencias significativas entre el contenido de cenizas de ambas variedades (Tabla 10), mientras que sí existían para los resultados obtenidos en los diferentes residuos de cebolla, observándose un claro descenso de las cenizas desde las partes externas hacia el interior del bulbo.

**Tabla 10.** Parámetros químicos y composición mineral de la cebolla entera y de los residuos industriales de cebolla

	Cebolla entera		Capas internas		Capas externas		Base-cuello		Piel marrón	
	Recas	Figueres								
Materia seca (%)	8,7 ± 0,7 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	8,8 ± 0,7 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	6,9 ± 0,2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	8,3 ± 0,3 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	6,3 ± 0,3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	7,5 ± 0,1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	13,2 ± 3,5 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	18,0 ± 2,3 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	51,9 ± 1,8 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	50,8 ± 3,6 <sup>d</sup> <sub>a</sub>
Nitrógeno total <sup>A</sup>	1,8 ± 0,1 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	1,6 ± 0,1 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	2,4 ± 0,2 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	1,8 ± 0,1 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	1,5 ± 0,1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	1,3 ± 0,1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	2,5 ± 0,2 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	2,4 ± 0,1 <sup>e</sup> <sub>a</sub>	0,4 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,4 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Cenizas <sup>A</sup>	4,7 ± 0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	4,9 ± 0,1 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	4,9 ± 0,7 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	4,4 ± 0,3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5,6 ± 0,1 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	4,6 ± 0,0 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	8,6 ± 0,1 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	8,2 ± 0,3 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	10,6 ± 0,6 <sup>e</sup> <sub>b</sub>	9,3 ± 0,1 <sup>e</sup> <sub>a</sub>
Minerales										
K <sup>B</sup>	14,1 ± 0,5 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	15,8 ± 0,7 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	15,9 ± 0,2 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	15,7 ± 0,4 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	13,9 ± 0,5 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	12,8 ± 0,3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	11,1 ± 0,1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	13,0 ± 0,1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	4,2 ± 0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	7,3 ± 0,1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Ca <sup>B</sup>	6,6 ± 0,3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	6,6 ± 0,2 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	3,5 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	1,8 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	7,8 ± 0,2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	4,2 ± 0,1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	16,5 ± 0,1 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	10,2 ± 0,2 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	30,7 ± 0,7 <sup>e</sup> <sub>b</sub>	22,1 ± 0,2 <sup>e</sup> <sub>a</sub>
Mg <sup>B</sup>	1,0 ± 0,1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	1,3 ± 0,1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0,7 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,6 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,8 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,7 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1,4 ± 0,0 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	1,5 ± 0,0 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	1,1 ± 0,0 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	1,5 ± 0,0 <sup>c</sup> <sub>b</sub>
Fe <sup>C</sup>	53,2 ± 1,3 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	100,3 ± 0,2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	43,6 ± 1,6 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	19,6 ± 0,2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	19,6 ± 0,4 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	19,6 ± 0,4 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	426,7 ± 9,5 <sup>e</sup> <sub>a</sub>	888,9 ± 8,0 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	119,8 ± 1,1 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	419,4 ± 7,2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>
Zn <sup>C</sup>	19,6 ± 0,3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	23,9 ± 0,1 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	28,4 ± 0,6 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	16,2 ± 0,2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	26,8 ± 0,2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	18,6 ± 0,1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	50,4 ± 0,5 <sup>e</sup> <sub>a</sub>	53,8 ± 0,7 <sup>e</sup> <sub>b</sub>	14,9 ± 0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	21,6 ± 0,4 <sup>c</sup> <sub>b</sub>
Mn <sup>C</sup>	10,2 ± 0,1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	13,7 ± 0,1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	11,5 ± 0,2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	6,5 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	8,1 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	6,6 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	20,2 ± 0,4 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	28,8 ± 1,2 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	8,3 ± 0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	25,3 ± 0,7 <sup>c</sup> <sub>b</sub>
Se <sup>C</sup>	0,34 ± 0,04 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0,15 ± 0,04 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0,93 ± 0,02 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	0,13 ± 0,03 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0,18 ± 0,05 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,06 ± 0,03 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,43 ± 0,01 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	0,03 ± 0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,90 ± 0,06 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	0,05 ± 0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una fila y residuo industrial con diferentes letras en el subíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una fila y variedad con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . <sup>A</sup> % ms <sup>B</sup> mg g<sup>-1</sup> ms <sup>C</sup> µg g<sup>-1</sup> ms

### *Elementos minerales*

Los elementos minerales, además de tener funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas, son también esenciales para el hombre y deben ser ingeridos en la dieta. Sin embargo, muchos componentes de la dieta forman complejos solubles e insolubles con los elementos minerales, que pueden afectar en un sentido u otro a su biodisponibilidad. Así, influye de forma positiva la presencia de azúcares como fructosa y lactosa, de ácidos orgánicos como ascórbico y cítrico, y de proteínas. En contraposición, componentes como fibra alimentaria, fitatos, ácido oxálico, taninos y fosfatos influyen de manera negativa (Wolters y col., 1993).

Los elementos minerales estudiados tanto en las cebollas enteras como en los residuos industriales de ambas variedades fueron: potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso y selenio (Tabla 10). Los resultados mostraron la existencia de diferencias significativas entre las cebollas enteras de Recas y Figueres para todos los minerales estudiados excepto el calcio. En general, Figueres presentó un contenido mayor de todos los minerales, excepto de selenio. De acuerdo con la bibliografía, existe una gran variabilidad en cuanto a la composición mineral de las cebollas entre las distintas variedades (Ariyama y col., 2007; Chope y Terry, 2009). Así, el contenido de potasio, zinc y manganeso encontrado en este estudio fue menor al observado por Bibak y col. (1998), pero similar al encontrado por Ariyama y col. (2007), excepto para el zinc que fue superior. Asimismo, los resultados de magnesio fueron similares a los reflejados en otros estudios (Bibak y col., 1998; Ariyama y col., 2007). Sin embargo, los contenidos de calcio y de hierro en Recas y Figueres son superiores a los encontrados en la variedad Hysam (Bibak y col., 1998). Por otro lado, el contenido de selenio encontrado en la variedad Recas es dos veces superior al de Figueres y también mayor que el encontrado por Kaplec y col. (2004) en otras variedades.

En cuanto a los residuos industriales, la distribución de los minerales depende del elemento considerado. Así, la mayor concentración de magnesio, hierro, zinc y manganeso se encuentra en la base-cuello del bulbo, probablemente porque este residuo engloba a las raíces de la planta, que es donde se produce la absorción de nutrientes. Sin embargo, la concentración más elevada de selenio se encuentra en las capas internas, aunque el contenido de este elemento en la piel marrón también es alto en la variedad Recas. Asimismo, la mayor concentración de calcio se localiza en la piel marrón. Gil (1999), en un estudio sobre la distribución de los elementos minerales a lo largo del bulbo de cebolla, indicó una distribución similar a la encontrada en el presente trabajo. La diferente distribución de los minerales podría estar relacionada con su movilidad, ya que los elementos con baja movilidad, como hierro, calcio y manganeso, están localizados principalmente en los residuos externos del bulbo, mientras que los elementos móviles, como potasio, no muestran grandes diferencias entre los distintos residuos, salvo en la piel. El potasio está involucrado en las relaciones hídricas de la planta, lo que podría explicar las bajas concentraciones encontradas en la piel marrón.

El análisis del selenio resulta de especial interés, ya que además de ser un micronutriente esencial es un elemento con efectos biológicos beneficiosos, aunque hay que tener en cuenta que existe un estrecho margen entre su esencialidad y su toxicidad. El selenio forma parte de enzimas antioxidantes que protegen a las células frente a los efectos de los radicales libres producidos durante el metabolismo del oxígeno. Su ingesta diaria recomendada es de 55 µg/día (Abdulah y col., 2005). Existen algunas investigaciones que muestran la existencia de una correlación entre el consumo de suplementos de selenio y la prevención del cáncer en humanos. En este sentido, y aunque todavía es tema de investigación, se sabe que la forma química en la que se encuentre el selenio (selenito, selenato o selenoaminoácidos) afecta a su absorción y a su efecto biológico. Los datos actuales apuntan a que la forma orgánica (selenoaminoácidos) es la más beneficiosa.

La variedad Figueres presenta niveles de selenio más bajos que Recas; al expresarlos en materia fresca ( $13 \text{ ng g}^{-1} \text{ mf}$ ) resultan similares a los indicados en otros estudios para cebollas enteras,  $12,4\text{-}15,3 \text{ ng g}^{-1} \text{ mf}$  (Kaplec y col, 2004),  $15 \text{ ng g}^{-1} \text{ mf}$  (Bratakos y col. 1987),  $11,5 \text{ ng g}^{-1} \text{ mf}$  (Thomson y Robinson, 1980), e incluso mayores a los encontrados por otros autores como Kadrabova (1997) y Snook (1987), que señalan contenidos de selenio de alrededor de  $6 \text{ ng g}^{-1} \text{ mf}$ . Sin embargo, los resultados de la variedad Recas ( $29 \text{ ng g}^{-1} \text{ mf}$ ) son superiores a todos ellos, aproximándose a los valores obtenidos por Kaplec y col. (2004) para algunas crucíferas, como la coliflor y la col rizada, de alrededor de  $25 \text{ ng g}^{-1} \text{ mf}$ .

En general las crucíferas, así como las liliáceas, presentan unas concentraciones de selenio algo superiores al resto de las hortalizas. Este hecho se debe principalmente al alto contenido de aminoácidos azufrados y sus derivados, así como de otros compuestos azufrados, como glucosinolatos y sulfóxidos, ya que por sustitución del azufre por el selenio se forman análogos de estos compuestos azufrados, lo que provoca un aumento en el contenido de selenio en este tipo de plantas.

En cuanto a las diferentes partes del bulbo de cebolla, ciertas secciones de Recas, como la piel marrón y la parte interna, e incluso la base-cuello del bulbo, presentan altos contenidos de selenio comparado con otros vegetales, llegando a ser incluso similares a los niveles encontrados en algunos productos cárnicos (ricos en proteínas), como en el paté, donde se han encontrado valores de  $94,4 \text{ ng g}^{-1} \text{ mf}$  (Kaplec y col., 2004). Por todo ello, debe señalarse el interés que puede presentar el uso de productos derivados de cebolla por el aporte de este mineral a la dieta.

En general, hay que destacar la enorme variabilidad que existe en la composición mineral, tanto de la cebolla entera como de los residuos, en función de la variedad e incluso, como se observa en la bibliografía, dentro de la misma variedad. Hay que tener en cuenta que la composición mineral de los

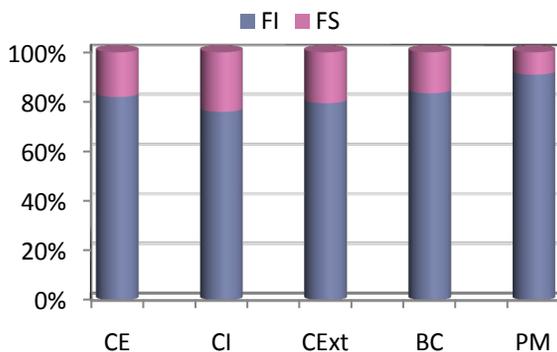
productos agrícolas puede variar por muchos factores como son la fertilización, las condiciones climáticas de temperatura, humedad y horas de sol, el año de cosecha, diferencias en el suelo, historia del campo de producción, variedad y zona de producción, llegando incluso a utilizar en algún caso la composición mineral para determinar el origen geográfico de la cebolla (Ariyama y col., 2004; Ariyama y col., 2007).

### **Fibra alimentaria**

Las fracciones de fibra insoluble (FI) y soluble (FS), así como la fibra total (FT) de los bulbos de cebolla y de los residuos industriales aparecen reflejadas en la Tabla 11. Los contenidos de fibra alimentaria dependieron de la variedad, siendo Recas la que presentaba los niveles más altos de fibra total. Este contenido de FT fue superior al encontrado en otras variedades como Sturon y Hysam, aunque similar al determinado en la variedad Grano de Oro (Jaime y col., 2002). Los contenidos de fibra en los residuos industriales de ambas variedades mostraron la misma tendencia. Así, la piel marrón presentaba el mayor contenido de FT, seguido de la base-cuello del bulbo y finalmente las capas carnosas externas e internas, lo que sugeriría un descenso de FT desde las partes más externas del bulbo hacia las más internas. La base-cuello del bulbo está formado por una mezcla de parte interna, externa y piel; por este motivo, el elevado contenido de fibra podía ser debido a la alta contribución de la piel marrón, especialmente en el cuello del bulbo. Es interesante resaltar los diferentes valores encontrados en las capas internas y externas, que aunque aparentemente presentan las mismas características físicas, muestran, sin embargo, un mayor contenido de FT en las capas externas. Estos resultados sugieren un mayor desarrollo de la pared celular en las capas externas, lo que coincide con lo encontrado por otros autores (Jaime y col., 2002).

La fracción insoluble (FI) resultó ser la fracción principal de la FT (Figura 28), mostrando por tanto la misma tendencia que esta última. Los contenidos de

fibra soluble (FS) fueron significativamente inferiores a los de FI en todos los residuos y variedades, siendo la base-cuello el residuo con mayor nivel de FS. Por otro lado, la variedad Figueres fue la que mayor contenido de FS presentaba. Este hecho se tradujo en que los residuos de Figueres tenían una relación FS:FI mayor que los de Recas, y próxima a la relación deseable, que es la que proporciona una cantidad equilibrada, de aproximadamente el 30% de FS (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999b). En la piel marrón la relación FS:FI fue similar a la encontrada en el salvado de algunos cereales, mientras que en las capas internas y externas de Figueres esta relación estuvo próxima a la observada en algunos subproductos de frutas (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999b). No obstante, desde el punto de vista del aporte de fibra alimentaria, la variedad Recas mostró altos contenidos de FT, especialmente en alguno de sus residuos, como la piel marrón y la base-cuello del bulbo, lo que resulta de gran interés con vistas a su posible uso industrial como fuente de fibra, aunque sería deseable someterlos a algún tratamiento para mejorar su relación FS:FI (Waldron, 2001).



**Figura 28.** Contribución (%) de cada fracción a la FT (media de variedades)

## **Carbohidratos no estructurales**

Se estudió el contenido en fructooligosacáridos (FOS), fructanos totales y azúcares solubles en ambas variedades de cebolla y en sus residuos industriales (Tabla 12). Los resultados de los carbohidratos no estructurales (CNE) de la cebolla entera indican que están formados por fructanos de bajo peso molecular, además de glucosa, fructosa y sacarosa, lo que coincide cualitativamente con lo determinado por otros autores (Sinclair y col., 1995; Jaime y col., 2001a; O'Donoghue y col., 2004). No obstante, los niveles en ambas variedades fueron menores de lo esperado, mostrando Recas el contenido total más elevado. Las dos variedades presentaron un perfil de carbohidratos no estructurales muy similar, donde los componentes principales fueron glucosa (40% de CNE) y fructosa (35% de CNE) libres y el minoritario los fructanos (11% de CNE), lo que lleva consigo un bajo nivel de FOS (8% de CNE) (Figura 29). Los contenidos de fructanos y FOS de las variedades estudiadas fueron similares a aquéllos encontrados en variedades como Grano de Oro y SS1, aunque menores que los determinados en variedades como Durco y Hysam (Jaime y col., 2001a; Chope y col., 2007). El bajo nivel de fructanos en las variedades analizadas en el presente trabajo podría estar relacionado con su bajo contenido de materia seca, ya que las cebollas con poca cantidad de materia seca suelen tener menos fructanos y proporcionalmente grandes cantidades de azúcares simples, principalmente glucosa (Kahane y col., 2001; Davis y col., 2007), posiblemente debido al hecho de que la hidrólisis de fructanos facilita la osmorregulación a medida que el bulbo absorbe agua y se expande (Jaime y col., 2001a).

**Tabla 11.** Fibra alimentaria en cebolla entera y sus residuos industriales (mg g<sup>-1</sup> ms)

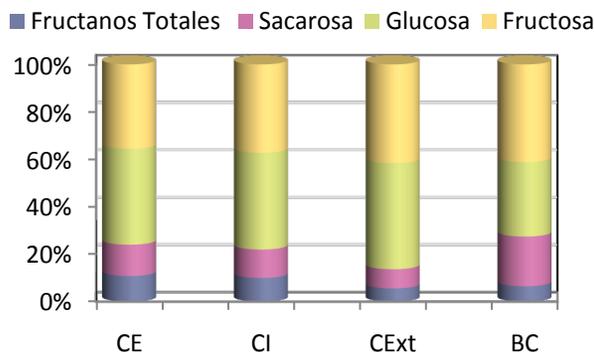
	Cebolla entera		Capas internas		Capas externas		Base-Cuello		Piel marrón	
	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres
FI	250±4 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	203±11 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	179±13 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	121± 6 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	270 ± 2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	158± 9 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	579 ± 10 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	364 ±7 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	698 ± 3 <sup>e</sup> <sub>b</sub>	668 ± 10 <sup>e</sup> <sub>a</sub>
FS	41±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	57± 1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	43 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	48± 3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	42 ± 4 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	59 ± 5 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	88 ± 6 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	90 ± 2 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	52 ± 3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	82 ± 4 <sup>d</sup> <sub>b</sub>
FT	291	260	222	169	312	217	667	454	750	750
FS:FI	1:6	1:3	1:4	1:3	1:6	1:3	1:6	1:4	1:14	1:8

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una fila y residuo industrial con diferentes letras en el subíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una columna y variedad con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

**Tabla 12.** Azúcares solubles, fructooligosacáridos y fructanos totales en cebolla entera y sus residuos industriales (mg g<sup>-1</sup> ms)

	Cebolla entera		Capas internas		Capas externas		Base-cuello	
	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres
1-F-Nistosa (GF <sub>4</sub> )	2,4 ± 0,6 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	3,5 ± 0,2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	2,3 ± 0,1 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	2,3 ± 0,0 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0,9 ± 0,0 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	2,4 ± 0,0 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0,5 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,5 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Nistosa(GF <sub>3</sub> )	17,5±1,5 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	10,5±0,2 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	17,9 ± 0,1 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	11,2 ± 0,1 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	9,6±0,5 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	6,5±0,0 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	1,2 ± 0,1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	1,7± 0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Kestosa(GF <sub>2</sub> )	18,6 ± 0,4 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	11,7± 0,3 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	19,2 ± 0,5 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	13,8 ± 0,6 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	12,1± 0,6 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	7,9± 0,6 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	4,7± 0,1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	4,1± 0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Total FOS	38,5± 1,2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	28,5 ± 0,8 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	39,4 ± 0,3 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	27,3 ± 0,2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	22,6± 0,2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	16,8 ± 0,2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	6,4±0,5 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6,3±0,3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Fructanos Totales	53 ± 1 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	42 ± 2 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	54 ± 2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	45 ± 4 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	26 ± 2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	23±1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	8 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	9±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Sacarosa	65 ± 3 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	56 ± 5 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	65 ± 1 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	57 ± 3 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	38 ± 1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	51 ± 1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	26±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	35 ± 3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Glucosa	199 ± 7 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	154 ± 12 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	221 ± 4 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	230 ± 1 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	210 ± 3 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	110 ± 2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	39 ± 2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	37 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Fructosa	175 ± 5 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	127 ± 5 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	202 ± 3 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	205 ± 1 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	195 ± 3 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	103 ± 7 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	51 ± 4 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	39 ± 3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
CNE total	492 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	379 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	542 <sup>d</sup> <sub>b</sub>	537 <sup>d</sup> <sub>a</sub>	469 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	287 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	124 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	120 <sup>a</sup> <sub>a</sub>

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una fila y residuo industrial con diferentes letras en el subíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una columna y variedad con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . CNE= Fructanos totales+sacarosa+glucosa+fructosa

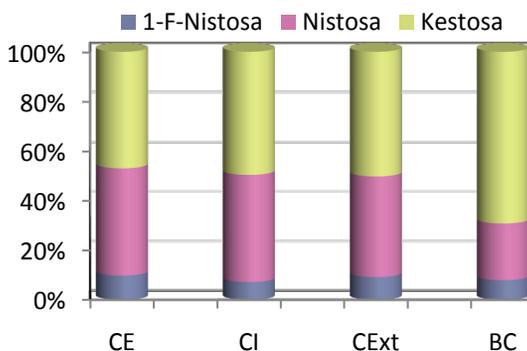


**Figura 29.** Contribución (%) de fructanos, sacarosa, glucosa y fructosa al total de CNE (variedad Recas)

Por lo que respecta a la presencia de CNE en los residuos industriales, estos componentes no se analizaron en la piel marrón, ya que en trabajos previos se habían detectado cantidades mínimas (Jaime y col., 2001b; Downes y col., 2009). Las concentraciones más altas de CNE, fructanos y FOS se encontraron en las capas internas, con un perfil de CNE muy similar al observado en cebolla entera. Sin embargo, sí que había diferencias entre las capas internas y externas con respecto al contenido de CNE y su composición, ya que la sacarosa y los fructanos contribuyen en menor proporción al total de CNE en las capas externas que en las internas. El contenido de CNE en la base-cuello del bulbo fue muy inferior al de los residuos carnosos, y su perfil fue diferente ya que la fructosa era el constituyente principal y la contribución porcentual de la sacarosa fue mayor que en los residuos carnosos. La mayor concentración de fructanos en las partes carnosas del bulbo, junto con la proporción más elevada de fructosa en las externas, se explicaría por la diferente distribución de las actividades enzimáticas, ya que las actividades de síntesis, SST (sacarosa:sacarosa fructosiltransferasa) y FFT (fructan:fructan fructosiltransferasa), aumentan desde las zonas externas hacia las internas,

mientras que la actividad hidrolítica disminuye hacia el interior del bulbo (Henry y Darbyshire, 1980).

Por otro lado, se observó una correlación positiva entre el contenido de fructanos totales y los niveles de sacarosa. Además, por lo que respecta a la relación azúcares reductores/sacarosa, aunque en todos los residuos existe un claro predominio de los azúcares reductores frente a la sacarosa, son las zonas externas las que presentan una relación más elevada.



**Figura 30.** Contribución (%) de 1-F-nistosa, nistosa y kestosa al total de FOS (media de variedades)

Por lo que respecta al contenido de FOS (Tabla 12 y Figura 30), éstos disminuían según aumentaba el grado de polimerización, siendo la kestosa ( $GF_2$ ) el FOS principal en todos los productos analizados. Estos resultados son similares a los indicados por otros autores (Jaime y col., 2001ab; O'Donoghue y col., 2004). El contenido de FOS representa el 68 y 73% de los fructanos totales en la cebolla entera de Figueres y Recas, respectivamente; por lo tanto, los fructanos de estas variedades están compuestos principalmente por FOS de bajo grado de polimerización (DP3-DP5). De acuerdo con la literatura, las cebollas con bajo contenido de CNE presentan fructanos con bajo grado de polimerización. En los residuos de cebolla estudiados, la contribución de los FOS al total de fructanos

oscila entre 61-87% y se observó que cuanto más alto era el contenido de fructanos, mayor era su grado de polimerización, lo que concuerda con lo expuesto por Darbyshire y Henry (1981).

### **Compuestos azufrados**

El contenido de azufre total y de precursores del “flavor”, S-alquencil-cisteín-sulfóxidos (ACSOs) se estudiaron sólo en Recas, por tratarse de la variedad que mostraba un mayor potencial para su aprovechamiento debido a sus contenidos más elevados de componentes funcionales, fibra alimentaria y fructanos. Los resultados obtenidos para la cebolla entera y los residuos industriales aparecen reflejados en la Tabla 13. El nivel más elevado de azufre correspondía a la parte interna y el menor a la piel marrón. El azufre de la cebolla se encuentra formando parte de diversos compuestos, como los precursores del “flavor” (ACSOs), glutatión, intermediarios en la biosíntesis de ACSOs, proteínas (a través de los aminoácidos cisteína y metionina) y en paredes celulares como polisacáridos sulfatados. Además, en la mayoría de las células vegetales, el azufre se almacena en vacuolas, comúnmente como  $\text{SO}_4^{2-}$ , que es móvil dentro de la planta, y se redistribuye en gran medida desde las hojas maduras a las hojas nuevas en desarrollo (Lancaster y col., 2001).

En el presente estudio, el azufre que forma parte de los precursores del “flavor” de la cebolla (S-ACSOs) sólo representa el 19% en cebolla entera y entre el 15-35% en los residuos, siendo mayor en las capas carnosas internas. Por tanto, el porcentaje de S-ACSOs frente al total de S sufre un descenso desde la parte interior del bulbo hacia la parte exterior, excepto para la piel marrón. En la base-cuello del bulbo se encontró el menor porcentaje, indicando una mayor presencia de compuestos azufrados distintos de ACSOs. Por otra parte, no se encontró correlación entre el azufre total y los precursores del “flavor”, lo que está de acuerdo con los resultados obtenidos por otros autores, que mostraron

que la acumulación de azufre tenía una baja correlación con el carácter “picante” de diversas variedades de cebolla (Chope y Terry, 2009).

**Tabla 13.** Azufre total y S-alquencil-cisteín-sulfóxidos (ACSOs) en cebolla entera de la variedad Recas y en sus residuos industriales

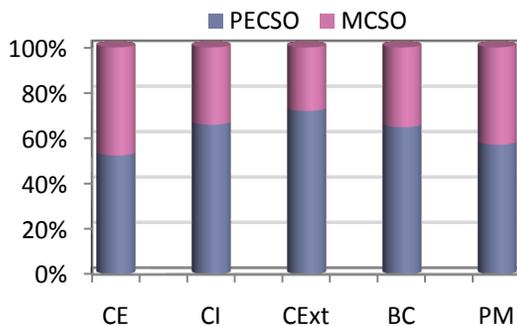
	S total ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ms}$ )	ACSOs totales ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ms}$ )	S-ACSOs vs. S total (%)	PECSO ( $\text{mg g}^{-1}$ ms)	MCSO ( $\text{mg g}^{-1}$ ms)
Cebolla entera	121,9 $\pm$ 3,2 <sup>c</sup>	23,8 <sup>c</sup>	19,5	2,2 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	2,0 $\pm$ 0,1 <sup>c</sup>
Capas internas	153,1 $\pm$ 5,1 <sup>e</sup>	54,2 <sup>e</sup>	35,4	6,0 $\pm$ 0,5 <sup>d</sup>	3,1 $\pm$ 0,2 <sup>d</sup>
Capas externas	100,2 $\pm$ 2,1 <sup>b</sup>	29,9 <sup>d</sup>	29,9	3,6 $\pm$ 0,1 <sup>c</sup>	1,4 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>
Base-Cuello	143,8 $\pm$ 3,3 <sup>d</sup>	22,2 <sup>b</sup>	15,5	2,4 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	1,3 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>
Piel marrón	15,6 $\pm$ 0,6 <sup>a</sup>	4,6 <sup>a</sup>	29,6	0,4 $\pm$ 0,0 <sup>a</sup>	0,3 $\pm$ 0,0 <sup>a</sup>

Los valores son la media  $\pm$  DE, n = 6. Las medias dentro de una columna con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

En el presente estudio sólo se detectaron dos ACSOs: S-metil-L-cisteín-sulfóxido (MCSO) y S-(1-propenil)-L-cisteín-sulfóxido (PECSO). El S-propil-L-cisteín-sulfóxido (PCSO) no fue detectado en esta variedad, al igual que ocurría en otras variedades (Thomas y Parkin, 1994; Yoo y Pike, 1998; Bacon y col., 1999). El contenido de precursores del “flavor” determinado en cebolla entera Recas (0,37  $\text{mg g}^{-1} \text{mf}$ ) se encuentra dentro del amplio intervalo referido desde hace tiempo en la bibliografía (Matikkala y Virtanen, 1967) (35-385  $\text{mg 100 g}^{-1} \text{mf}$ ), aunque en el extremo inferior (Thomas y Parkin, 1994; Yoo y Pike, 1998). Este hecho podría ser debido a que las cebollas con niveles bajos de materia seca generalmente contienen pocos ACSOs (Chope y col., 2006). Asimismo, se pudo observar que el contenido de ACSOs mostraba una correlación positiva con el nivel de fructanos.

Por otra parte, los resultados expresados en materia seca reflejan un gradiente decreciente de concentración de los precursores del “flavor” del interior hacia el exterior del bulbo (Tabla 13); las capas internas presentaron el mayor contenido y la piel marrón el menor. Esta distribución coincide con la encontrada por Randle (1997), quien indica que dentro del bulbo existe un gradiente del

“flavor”, observándose la mayor concentración de precursores en el interior del mismo hacia la base y la menor en la parte externa hacia la zona superior. Sin embargo, no coincide con la encontrada por Bacon y col. (1999), ya que estos autores observaron los mayores niveles de ACSOs en las capas carnosas externas. El bajo contenido encontrado en la piel marrón sugiere que este material tiene un valor limitado como fuente de precursores aromáticos, que incluso podría deberse a que en ocasiones en este residuo se encuentran pequeñas cantidades de láminas intermedias que incluyen material blanco. Por otra parte, otros autores indican también un bajo nivel de actividad alliínasa en la piel marrón (Bacon y col., 1999).



**Figura 31.** Contribución (%) de PECSO y MCSO al total de ACSOs

El precursor del factor lacrimógeno, PECSO, fue el principal precursor del “flavor” en la cebolla entera y en los residuos industriales (Figura 31), representando el 52-71% del total de precursores. Sin embargo, el contenido de PECSO y su contribución al total de ACSOs fue menor que lo observado en otras variedades como Dehydrator y TG 1015Y (Yoo y Pike, 1998; Bacon y col., 1999). En la variedad Recas, los bajos niveles de PECSO y su pequeña contribución indicaría que es una variedad suave (poco picante), ya que el contenido de PECSO está relacionado con el carácter picante de la cebolla (Yoo y Pike, 1998). Por el contrario, el contenido de MCSO en Recas fue similar a los

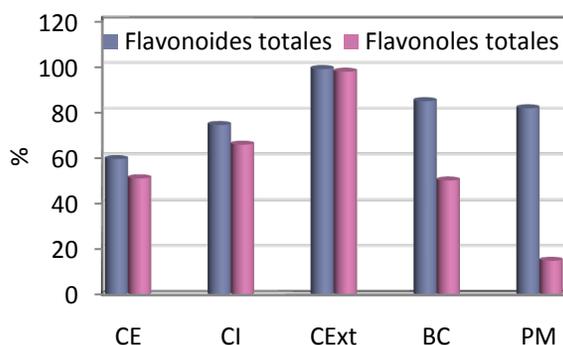
niveles de este compuesto encontrados en otros cultivares como Dehydrator y TG 1015Y (Yoo y Pike, 1998). La relación entre los precursores del “flavor” varía entre variedades, dando lugar a diferentes sabores y aromas (Randle, 1997).

Cuando el bulbo se corta, la enzima alífnasa convierte los ACSOs en diferentes compuestos como piruvato, ácido 1-propenilsufénico y amoníaco. Abayomi y Terry (2009) midieron la distribución espacial del piruvato en la variedad SS1, encontrando una tendencia similar a la observada en el presente estudio para el azufre total, MCSO, PECSO y contenido total de ACSOs, lo que sugiere que la concentración de piruvato podría estar relacionada directamente con el contenido de ACSOs.

### **Compuestos fenólicos**

Los contenidos de polifenoles, flavonoides y flavonoles totales se estudiaron en la cebolla entera y en los residuos industriales de la variedad Recas (Tabla 14). Los flavonoles totales representan la suma de los flavonoles individuales obtenidos por HPLC. El contenido de compuestos fenólicos de la cebolla es muy diferente según variedades, además de estar influido por gran número de factores externos como procesos agrotécnicos, condiciones climáticas y estado de maduración durante la recolección, manipulación postcosecha y tiempo transcurrido hasta su consumo (Stratil y col., 2006). Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron niveles generalmente mayores que los encontrados en otros trabajos (Nuutila y col., 2003; Yang y col., 2004; Santas y col., 2008). Con respecto a los residuos industriales de cebolla, la piel marrón presentaba los niveles más altos de polifenoles y flavonoides totales, y las capas internas los niveles más bajos. Por lo tanto, se produce un descenso de compuestos fenólicos totales, así como de flavonoides totales, desde el exterior del bulbo hacia el interior. Esta misma tendencia fue observada en otros cultivares (Patil y Pike, 1995; Gennaro y col., 2002; Prakash y col., 2007), aunque con niveles inferiores a los encontrados en los residuos de la variedad Recas.

La distribución encontrada para los flavonoides y polifenoles totales sugiere un aumento de estos compuestos durante el envejecimiento de las células que forman las capas del bulbo de cebolla, ya que las células de las capas más externas son más viejas que las de las capas más internas (Hirota y col., 1998). Por otro lado, se puede afirmar que los flavonoides representan el grupo principal de compuestos fenólicos en la cebolla (Figura 32), lo que concuerda con la bibliografía consultada (Yang y col., 2004; Santas y col., 2008), hecho que se hace aún más evidente en las capas externas, donde los flavonoides representan el 99% de los compuestos fenólicos.



**Figura 32.** Contribución (%) de flavonoides totales y flavonoles totales a los polifenoles totales

El contenido de flavonoles totales en la cebolla entera fue superior al observado en otras variedades (Bonaccorsi y col., 2008). Con respecto a los residuos industriales, el mayor nivel de este tipo de compuestos se encontró en las capas externas y los menores en las capas internas y en la piel marrón; esta misma distribución fue encontrada por Beesk y col. (2010). Una posible explicación a este hecho podría estar relacionado con la enzima que cataliza la biosíntesis de los flavonoles (fenilalanina amonio liasa) la cual es inducida por la luz. Así, en las capas carnosas externas se produce la mayor actividad de biosíntesis, ya que en ellas se encuentran las células vivas más externas (en la piel marrón las

**Tabla 14.** Contenido de polifenoles (mg EAG g<sup>-1</sup> ms), flavonoides (mg EQ g<sup>-1</sup> ms) y flavonoles (mg g<sup>-1</sup> ms) totales y capacidad antioxidante (μmol Fe<sup>2+</sup> g<sup>-1</sup> ms)

	Cebolla entera	Capas Internas	Capas externas	Base-Cuello	Piel Marrón
Polifenoles Totales	17,3 ± 1,3 <sup>b</sup>	9,4 ± 0,6 <sup>a</sup>	19,7 ± 1,6 <sup>b</sup>	30,5 ± 2,0 <sup>c</sup>	52,7 ± 0,9 <sup>d</sup>
Flavonoides totales	10,3 ± 0,3 <sup>b</sup>	7,0 ± 0,1 <sup>a</sup>	19,5 ± 0,7 <sup>c</sup>	25,9 ± 0,7 <sup>d</sup>	43,1 ± 1,8 <sup>e</sup>
Flavonoles totales	8,84 ± 1,41 <sup>c</sup>	6,19 ± 0,23 <sup>a</sup>	19,27 ± 1,42 <sup>e</sup>	15,29 ± 1,39 <sup>d</sup>	7,89 ± 0,37 <sup>b</sup>
Quercetina 4'-glucósido	4,02 ± 0,53 <sup>b</sup>	2,00 ± 0,07 <sup>a</sup>	7,37 ± 0,53 <sup>d</sup>	6,35 ± 0,60 <sup>c</sup>	5,16 ± 0,34 <sup>c</sup>
Quercetina 3,4'-diglucósido	3,10 ± 0,68 <sup>b</sup>	3,70 ± 0,11 <sup>b</sup>	9,49 ± 0,68 <sup>d</sup>	5,90 ± 0,50 <sup>c</sup>	0,30 ± 0,03 <sup>a</sup>
Quercetina	0,91 ± 0,04 <sup>c</sup>	0,02 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,59 ± 0,04 <sup>b</sup>	1,21 ± 0,09 <sup>d</sup>	1,61 ± 0,02 <sup>e</sup>
Quercetina 3-glucósido	0,16 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,10 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,42 ± 0,03 <sup>d</sup>	0,40 ± 0,03 <sup>d</sup>	0,31 ± 0,01 <sup>c</sup>
Isoramnetina 3,4'-diglucósido	0,12 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,12 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,57 ± 0,04 <sup>d</sup>	0,19 ± 0,01 <sup>b</sup>
Isoramnetina 4'-glucósido	0,53 ± 0,07 <sup>c</sup>	0,25 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,03 ± 0,07 <sup>e</sup>	0,86 ± 0,07 <sup>d</sup>	0,32 ± 0,02 <sup>b</sup>
Relación Di:Mon <sup>A</sup>	1:1,3	1,8:1	1,3:1	1:1,1	1:17
Capacidad antioxidante (FRAP)	83,5 ± 1,8 <sup>b</sup>	28,7 ± 1,7 <sup>a</sup>	105,1 ± 0,6 <sup>c</sup>	156,1 ± 1,6 <sup>d</sup>	227,8 ± 3,2 <sup>e</sup>

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una fila con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

EAG: equivalentes de ácido gálico; EQ: equivalentes de quercetina. <sup>A</sup>Relación diglucósido:monoglucósido

células están muertas) y que están más expuestas a la luz que las capas internas (Beesk y col., 2010). Si se compara el contenido de flavonoides totales con el de flavonoles totales, se observa que estos últimos son los componentes mayoritarios (88-98%) en los residuos carnosos, sin embargo, en la base-cuello del bulbo y, especialmente, en la piel marrón, los flavonoles representan un porcentaje muy inferior (18-59%) de los flavonoides totales.

Más del 90% de los flavonoles suelen estar localizados en el tejido epidérmico, dejando sólo un 10% para el tejido parenquimático de almacenamiento que representa la mayor parte del bulbo. Así, factores como el grosor de las capas u otros factores que alteren la relación entre el tejido epidérmico y parenquimático podrían afectar indirectamente al contenido de flavonoles (Slimestad y Vagen, 2009).

En cuanto al análisis pormenorizado de flavonoles por HPLC, se identificaron y cuantificaron seis compuestos diferentes, uno en forma de aglicona, la quercetina, y cinco flavonoles conjugados (Tabla 14). Los contenidos de flavonoles determinados fueron superiores a los encontrados en otros estudios con diferentes variedades, excepto la quercetina (Caridi y col., 2007). Los flavonoles mayoritarios fueron la quercetina 4'-glucósido y la quercetina 3,4'-diglucósido, representando entre ambos más del 80% de los flavonoles totales en la cebolla entera, capas internas y externas, así como base-cuello del bulbo, mientras que los menores fueron los glucósidos de isoramnetina y el quercetina 3-glucósido. Estos resultados concuerdan con estudios previos de Rohn y col. (2007). En el presente estudio, el flavonol principal en cebolla entera, piel marrón y base-cuello del bulbo fue quercetina 4'-glucósido, coincidiendo con lo encontrado previamente en otras variedades (Lombard y col., 2005), mientras que en las capas internas y externas el principal fue el diglucósido.

Lombard y col. (2005) estudiaron la relación diglucósido:monoglucósido, resultando similar a la calculada en esta memoria para la cebolla entera. Sin

embargo, otros autores encontraron en la cebolla entera contenidos superiores de diglucósido que de monoglucósido (Downes y col., 2010). Las diferencias entre los distintos estudios se pueden deber tanto a diferencias entre variedades, tipo de suelo, lugar de crecimiento y almacenamiento como a la preparación previa antes del procesamiento (Lombard y col., 2005; Beesk y col., 2010). La relación diglucósido:monoglucósido fue diferente en función del residuo estudiado, encontrándose un descenso de la misma desde los residuos más internos hacia los más externos, lo que sugiere que durante el envejecimiento de las capas el monoglucósido se sintetiza en mayor concentración y/o se produce la hidrólisis enzimática de la glucosa en posición 3 del diglucósido (Hirota y col., 1998).

La distribución de los flavonoles conjugados en los distintos residuos es interesante desde el punto de vista tecnológico, ya que la relación entre el diglucósido y el monoglucósido es un indicador de la estabilidad térmica de la cebolla durante el procesado. Se ha demostrado que un perfil con alta concentración del diglucósido resulta ventajosa bajo condiciones de secado y asado, ya que se forma el monoglucósido que tiene una alta biodisponibilidad (Beesk y col., 2010).

Por otra parte, la quercetina libre se localiza principalmente en la piel marrón, donde representa el segundo flavonol mayoritario, así como en la base-cuello del bulbo. Estos resultados coinciden con los datos bibliográficos, ya que en estudios previos se pudo observar que el contenido de quercetina era significativamente mayor en la piel marrón que en las partes carnosas de la cebolla (Hirota y col., 1998; Slimestad y Vagen, 2009; Beesk y col., 2010). El alto contenido de quercetina en la piel podría ser debido a la hidrólisis enzimática de los glucósidos de quercetina, principalmente del monoglucósido, durante la formación de la piel (Patil y Pike, 1995; Hirota y col., 1998). Esta transformación sugiere que la quercetina podría estar involucrada en la formación de los compuestos marrones de la piel. La presencia de quercetina libre en la parte

carnosa de la cebolla es prácticamente despreciable, hecho que ha sido descrito previamente por otros autores (Slimestad y Vagen, 2009; Beesk y col., 2010).

### **Capacidad antioxidante**

Entre todos los métodos que existen para la determinación de la capacidad oxidante, el método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) fue seleccionado para este estudio porque es un método muy sensible, rápido y económico (Santas y col., 2008) y, además, es el único que estima directamente la capacidad de los antioxidantes en una muestra (Dini y col., 2008).

La capacidad antioxidante (FRAP) se determinó en la cebolla entera y en cada uno de los residuos industriales (Tabla 14). En el caso de la cebolla entera, la capacidad antioxidante encontrada fue superior a la observada por Santas y col. (2008) en otras variedades de cebolla. Por otra parte, se pudo apreciar que todos los residuos industriales mostraban una capacidad antioxidante considerable, principalmente la piel marrón. En este sentido, los valores obtenidos son comparables a los encontrados en diversas frutas (80-202  $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ms}$ ) y en subproductos utilizados como ingredientes funcionales, como por ejemplo pulpa de uva (204  $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ms}$ ) (Pérez-Jiménez y col., 2008). Además, los resultados mostraron que se producía un descenso de la capacidad antioxidante desde los residuos más externos (piel) hacia los más internos, lo que corrobora lo referido en la literatura (Nuutila y col., 2003; Prakash y col., 2007; Slimestad y Vagen, 2009).

Los flavonoides parecen ser los principales responsables de la capacidad antioxidante de los residuos de cebolla, existiendo una alta correlación entre los valores de FRAP y el contenido de polifenoles y flavonoides totales ( $r^2=0,98$  y  $r^2=0,99$ , respectivamente). Esta buena correlación también ha sido indicada por otros autores, como Santas y col. (2008). Además, se encontró una alta correlación entre quercetina libre y FRAP ( $r^2=0,99$ ), mientras que no existe buena correlación entre flavonoles totales y FRAP, lo que sugiere que la

quercetina es uno de los compuestos más implicados en la capacidad antioxidante de la cebolla entera y de sus residuos. La estructura de los flavonoles influye de manera determinante en su capacidad antioxidante y, por tanto, en su actividad fisiológica, siendo más activos en su forma de aglicona que cuando están glicosilados, debido a la presencia de grupos hidroxilo libres (Rohn y col., 2007; Santas y col., 2008). Como consecuencia de esto, la piel marrón y la base-cuello del bulbo presentaban mejores capacidades antioxidantes que las capas internas y externas.

## **Conclusiones**

Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto la gran potencialidad que muestran los residuos de cebolla como fuente de ingredientes alimentarios con carácter funcional, lo que constituye una valiosa forma de aprovechamiento de los excedentes y de las partes en principio no comestibles de la cebolla.

En este sentido, cada tipo de residuo podría ser utilizado con una finalidad específica. La piel marrón, junto con la base-cuello del bulbo, podrían ser potencialmente empleadas como fuente de fibra alimentaria y compuestos fenólicos con elevada capacidad antioxidante, destacando la presencia de quercetina en la piel marrón. Además, ambos residuos contribuirían al aporte de minerales, en especial calcio y selenio, a la dieta. Las capas externas pueden encontrar una especial utilidad como base de ingredientes funcionales ricos en flavonoles, con carácter antioxidante, y apreciables contenidos de fibra alimentaria equilibrada.

Asimismo, hay que destacar que la riqueza de los bulbos de cebolla en sustancias prebióticas (fructooligosacáridos) y en derivados de cisteína sugiere la utilización de las cebollas enteras no comercializables y de los excedentes como materia prima para la obtención de ingredientes alimentarios de gran interés y especial funcionalidad.

## CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE CEBOLLA: EFECTO DE LA ESTABILIZACIÓN TÉRMICA SOBRE LOS COMPONENTES BIOACTIVOS

### **Interés del estudio**

Como se ha visto en el capítulo anterior, los desechos de cebolla en su conjunto constituyen una fuente rica en componentes bioactivos. En este contexto hay que señalar que los productores y la industria procesadora de cebollas, así como los consumidores, están de acuerdo en desarrollar nuevas alternativas para la valorización de estos residuos con el fin de promover un uso rentable y su conversión en productos alimenticios con valor añadido. Así, el procesamiento y la estabilización de los residuos y excedentes de cebolla podría representar ambas ventajas: una solución al problema medioambiental derivado de la eliminación de residuos y la obtención de subproductos de cebolla estabilizados que podrían ser usados como ingredientes naturales con alto valor añadido. En este sentido, es necesario conocer el efecto que puede tener sobre los componentes bioactivos el procesamiento industrial y la estabilización necesaria para evitar el riesgo microbiológico, mediante tratamientos térmicos más o menos drásticos (pasterización y esterilización), ya que estos procesos podrían modificar la composición y, por tanto, las propiedades de los subproductos. Además, este estudio también nos permitirá conocer cuál es el mejor medio para procesar y estabilizar los excedentes de cebolla con la finalidad de convertirlos en ingredientes alimentarios fuente de componentes bioactivos y con la posibilidad de poder añadirlos a una amplia gama de alimentos.

### **Parámetros químicos**

Como paso previo a la exposición de los resultados correspondientes a la presencia de componentes bioactivos, en la Tabla 15 se resume la caracterización química inicial de los subproductos de cebolla, de importancia fundamental en la calidad y la conservación de los productos (Rodríguez-

Galdón y col., 2008). Los subproductos, que se han generado a partir de dos procesamientos distintos de cebollas enteras desechadas, se sometieron a congelación (Control) y estabilización térmica por Pasterización y Esterilización.

### *Materia seca*

Los subproductos de cebolla mostraron diferencias significativas en cuanto a su contenido de materia seca, siendo el Bagazo el subproducto con un nivel más elevado, ya que el procesamiento que da lugar a su obtención, consistente en un prensado de la cebolla triturada, separa el Zumo de la parte sólida (Bagazo). La Pasta presentaba resultados de materia seca comparables a los encontrados en la cebolla entera (Tabla 10, Capítulo 1).

Por lo que respecta a los tratamientos térmicos de estabilización, éstos no tuvieron un efecto claro sobre este parámetro, no encontrándose diferencias significativas entre el control y los subproductos tratados térmicamente, excepto para el Puré y el Zumo de ambos cultivares y la Pasta esterilizada de Recas.

### *Nitrógeno total*

La variedad Recas mostró, en general, mayor contenido de nitrógeno total en los subproductos sin tratamiento térmico que la variedad Figueres, hecho que concuerda con los resultados obtenidos para las cebollas enteras. Sin embargo, ambas variedades presentaban la misma tendencia en relación con sus subproductos, al ser el Zumo el que mayor contenido de nitrógeno mostraba, probablemente por la mayor presencia en la cebolla de compuestos nitrogenados solubles. El tratamiento térmico produjo un ligero descenso de nitrógeno total en los subproductos de la variedad Recas, excepto en el Puré. Sin embargo, no se encontraron cambios significativos inducidos por el calor en los subproductos de la variedad Figueres.

**Tabla 15.** Parámetros químicos de los subproductos de cebolla

	Materia seca (% mf)		N <sub>T</sub> (mg g <sup>-1</sup> ms)		Cenizas (mg g <sup>-1</sup> ms)	
	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres
<b>Pasta</b>						
Control	9,9±0,3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	9,3±0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	18 ± 2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	11 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	56 ± 1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	52 ± 2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>
Pasterización	9,8±0,4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	8,8±0,2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	15 ± 1 <sup>ab</sup> <sub>b</sub>	11 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	41± 3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	39 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Esterilización	11,1±0,2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	8,3±0,8 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	14 ± 1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	9 ± 0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	45 ± 1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	39 ± 3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
<b>Bagazo</b>						
Control	12,4±0,9 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	12,9±0,7 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	17 ± 2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	13 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	54 ± 2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	48 ± 3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>
Pasterización	13,1±0,6 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13,4±0,9 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	12 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	45 ± 2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	35 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Esterilización	12,2±0,7 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	12,6±0,5 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	12 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	12 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	48 ± 1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	36± 3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
<b>Zumo</b>						
Control	6,8±0,4 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	8,3±0,1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	22 ± 2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	16 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	-	-
Pasterización	5,5±0,3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	7,4±0,2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	20 ± 1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	15 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	-	-
Esterilización	5,4±0,4 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6,8±0,8 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	16 ± 1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	13 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	-	-
<b>Puré</b>						
Control	9,9±0,2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	12,6±0,2 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	14 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	45 ± 4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	38 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Pasterización	9,0±0,3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	10,5±0,4 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	13 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	14 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	40 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	36 ± 3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Esterilización	9,0±0,5 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	7,9±0,3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	14 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	39 ± 3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	39± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una fila y parámetro con diferentes letras en el subíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

### Cenizas

La comparación entre variedades puso de manifiesto que los subproductos de Recas tenían mayor contenido de cenizas que los de Figueres. Por otro lado, los subproductos Pasta y Bagazo mostraron los niveles más elevados de cenizas, incluso mayor que el encontrado en cebollas enteras, lo que sugeriría una concentración de las cenizas como consecuencia del proceso de obtención de los subproductos. Por el contrario, el Puré presentaba un contenido en cenizas más

bajo que las cebollas de origen, lo que probablemente se debe al proceso de obtención del Puré, durante el cual se pierde una gran parte de tejidos externos que son los más ricos en cenizas. Las cenizas no fueron analizadas en el Zumo, debido a su baja concentración de materia seca. Los tratamientos térmicos de estabilización no tuvieron ningún efecto significativo sobre los contenidos de cenizas de los subproductos analizados.

### *Elementos minerales*

Las funciones básicas de los elementos minerales en los sistemas biológicos se conocen desde hace tiempo y se acepta que varios de ellos son indispensables para el normal funcionamiento de un organismo vivo. La concentración de macro- y microelementos en los subproductos de cebolla se expone en las Tablas 16 y 17. Los resultados están expresados en materia seca, ya que estos subproductos se utilizarán principalmente en forma de polvo. Desde el punto de vista nutricional, el consumo de subproductos de cebolla podría proporcionar un alto porcentaje de la cantidad diaria recomendada (CDR) para varios elementos minerales. Así, si se consumen 100 gramos de subproducto, la contribución de K, Mg, Ca, Mn, Fe y Se al consumo diario recomendado (CDR) para adultos representa de media el 28%, 46%, 69%, 45%, 22% y 16%, respectivamente (NIH, 2011). Además, la relación Na/K fue muy baja (0,05-0,09), lo que resulta interesante para la prevención y el tratamiento de la hipertensión, y es similar a la encontrada en otros vegetales como tomate, patata y plátano (Rodríguez-Galdón y col., 2008).

En general, no se encontraron diferencias significativas entre el contenido mineral de Recas y Figueres, excepto para algunos casos concretos como Ca, Sr y Ni en todos los subproductos, así como K, B y Fe en Bagazo y Puré (Tabla 16 y 17). Los contenidos de la mayoría de los elementos minerales analizados (Ca, Mg, Na, Al, Fe, Sr, Ni, Cu, Co y Se) en los subproductos de cebolla fueron superiores a los encontrados en los bulbos de otras variedades, excepto para K,

Mn y Zn (Bibak y col., 1998; Ariyama y col., 2004; Ariyama y col., 2007; Rodríguez-Galdón y col., 2008). En este sentido hay que indicar que de acuerdo con la literatura, hay una gran variación en el contenido mineral entre distintas variedades y zonas de cultivo (Ariyama y col., 2007; Chope y Terry, 2009).

Por lo que respecta al efecto de los distintos procesos de obtención de subproductos, se pudo observar que no tuvo una repercusión clara sobre los elementos minerales, siendo bastante similar la concentración de minerales en todos los subproductos, excepto para el Ca, Sr, B y Cu que están presentes en mayores concentraciones en el Bagazo, probablemente debido a que estos elementos se encuentran principalmente asociados a componentes insolubles. Respecto al efecto de la estabilización térmica sobre el contenido mineral, se puede decir que ni la pasterización ni la esterilización afectaron significativamente al contenido de minerales de los subproductos de cebolla.

**Tabla 16.** Elementos minerales mayoritarios de los subproductos de cebolla (mg g<sup>-1</sup> ms)

	K		Ca		Mg		Na		Ratio Na/K	
	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres
<b>Pasta</b>										
Control	14,4±0,9 <sup>b<sub>a</sub></sup>	15,0±1,3 <sup>a<sub>a</sub></sup>	6,3±0,3 <sup>a<sub>b</sub></sup>	4,7±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,6±0,2 <sup>a<sub>b</sub></sup>	1,2±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,3±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,1±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,09	0,07
Pasterización	13,5±0,8 <sup>ab<sub>a</sub></sup>	13,7±0,9 <sup>a<sub>a</sub></sup>	5,3±0,6 <sup>a<sub>b</sub></sup>	4,4±0,4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,5±0,1 <sup>a<sub>b</sub></sup>	1,0±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,9±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,7±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,06	0,05
Esterilización	13,1±1,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	14,2±0,8 <sup>a<sub>a</sub></sup>	5,4±0,4 <sup>a<sub>b</sub></sup>	4,2±0,5 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,3±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,0±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,1±0,1 <sup>a<sub>b</sub></sup>	0,8±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,08	0,06
<b>Bagazo</b>										
Control	16,7±0,5 <sup>b<sub>b</sub></sup>	10,2±0,7 <sup>ab<sub>a</sub></sup>	9,7±0,9 <sup>a<sub>b</sub></sup>	5,5±0,3 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,8±0,2 <sup>a<sub>b</sub></sup>	1,3±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,9±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,8±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,05	0,08
Pasterización	14,4±1,2 <sup>a<sub>b</sub></sup>	9,5±0,4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	8,9±0,5 <sup>a<sub>b</sub></sup>	5,6±0,4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,7±0,1 <sup>a<sub>b</sub></sup>	1,0±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,0±0,1 <sup>a<sub>b</sub></sup>	0,6±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,07	0,06
Esterilización	14,1±0,9 <sup>a<sub>b</sub></sup>	11,2±0,8 <sup>b<sub>a</sub></sup>	8,9±0,4 <sup>a<sub>b</sub></sup>	6,3±0,8 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,4±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,3±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,3±0,2 <sup>a<sub>b</sub></sup>	0,7±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,09	0,06
<b>Puré</b>										
Control	13,4±0,4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	14,0±0,6 <sup>a<sub>a</sub></sup>	6,5±0,5 <sup>a<sub>b</sub></sup>	4,1±0,4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,3±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,1±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,9±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,8±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,06	0,06
Pasterización	12,9±1,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	13,4±0,9 <sup>a<sub>a</sub></sup>	6,3±0,3 <sup>a<sub>b</sub></sup>	3,9±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,5±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,4±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,0±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,8±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,08	0,06
Esterilización	14,2±0,8 <sup>a<sub>a</sub></sup>	13,6±1,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	5,9±0,4 <sup>a<sub>b</sub></sup>	3,7±0,3 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,3±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,0±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,9±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,8±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	0,06	0,06

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una fila y un mineral con diferentes letras en el subíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

**Tabla 17.** Elementos minerales minoritarios de los subproductos de cebolla ( $\mu\text{g g}^{-1}$  ms).

		Al	Fe	Sr	Ni	Zn	B	Mn	Cu	Ti	Rb	Cr	Se	Co	Ge
<b>Pasta</b>															
Control	<b>Recas</b>	49±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	39±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	64±1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	21±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	14±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	11±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	9±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	3±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1,5±0,1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,96±0,05 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0,07±0,01 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,05±0,00 <sup>b</sup> <sub>a</sub>
	<b>Figueres</b>	46±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	35±3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	33±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	19±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	16±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	10±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	7±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,7±0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,11±0,01 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	0,07±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,03±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Pasterización	<b>Recas</b>	48±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	37±2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	63±2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	11±2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	17±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	14±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5±1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,4±0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,18±0,02 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,04±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,01±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
	<b>Figueres</b>	44±5 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	29±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	34±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	18±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	9±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,6±0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1,24±0,08 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	0,04±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,04±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Esterilización	<b>Recas</b>	49±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	45±4 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	66±5 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	17±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	15±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	7±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	4±1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,9±0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1,09±0,06 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0,14±0,01 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0,01±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
	<b>Figueres</b>	45±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	42±4 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	29±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	3±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	15±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	14±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	9±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	4±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1,0±0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,08±0,00 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	0,09±0,01 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,01±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
<b>Bagazo</b>															
Control	<b>Recas</b>	26±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	32±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	89±7 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	10±1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	21±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	24±1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	12±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	14±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	11±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	3±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,9±0,1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0,19±0,01 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0,11±0,01 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0,04±0,00 <sup>b</sup> <sub>a</sub>
	<b>Figueres</b>	25±1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	42±4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	69±6 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	22±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	21±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	11±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	14±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,6±0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,30±0,02 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0,06±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,02±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Pasterización	<b>Recas</b>	24±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	29±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	85±3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	18±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	28±3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	9±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	15±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	3±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,5±0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,14±0,01 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0,03±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,01±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
	<b>Figueres</b>	22±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	38±3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	57±6 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	18±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	18±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	10±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,6±0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,04±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,04±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,02±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Esterilización	<b>Recas</b>	27±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	36±4 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	77±6 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	9±1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	19±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	27±2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	9±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,6±0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,05±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,03±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,01±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
	<b>Figueres</b>	29±2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	46±4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	62±5 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	15±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	16±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	9±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	15±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,4±0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,07±0,01 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,07±0,00 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0,03±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
<b>Puré</b>															
Control	<b>Recas</b>	39±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	33±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	38±4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	1±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	19±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	7±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1,1±0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,11±0,02 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0,05±0,01 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,02±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
	<b>Figueres</b>	35±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	40±3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	32±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	16±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	11±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	9±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1,2±0,3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,07±0,01 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,03±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,02±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Pasterización	<b>Recas</b>	38±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	28±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	39±3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	1±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	15±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	12±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	4±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,9±0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,09±0,01 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0,05±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,01±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
	<b>Figueres</b>	37±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	42±3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	31±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	8±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	4±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	4±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,8±0,1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,10±0,01 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0,02±0,01 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,01±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Esterilización	<b>Recas</b>	40±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	35±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	39±4 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	1±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	15±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	14±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	9±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	4±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,9±0,0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,07±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,06±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,01±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
	<b>Figueres</b>	36±2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	39±2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	29±3 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	17±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	13±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	9±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	6±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	5±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	2±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1,3±0,2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,06±0,01 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,04±0,01 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0,02±0,00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>

Los valores son la media  $\pm$  DE, n = 6. Las medias dentro de una columna, mineral y tratamiento térmico con diferentes letras en el subíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

## Fibra alimentaria

La fibra alimentaria total (FT) de los subproductos de cebolla de las variedades Recas y Figueres se presenta en la Tabla 18. En general, los subproductos de la variedad Recas mostraron mayores niveles de FT que los de Figueres, como ocurría con las cebollas de origen (Tabla 11, Capítulo 1). En cuanto a los distintos subproductos, los mayores contenidos de FT se encontraron en los obtenidos mediante el Procesado 1, especialmente en el Bagazo. Sin embargo, el Zumo, también procedente del Procesado 1, mostró los menores niveles, prácticamente despreciables si se comparan con el resto de subproductos. La fibra del Zumo está compuesta sólo por fibra soluble, presentando un contenido en torno a  $8 \text{ mg g}^{-1} \text{ ms}$  ( $0,6 \text{ g L}^{-1}$ ). Estos niveles son inferiores a los encontrados en otros zumos, como el de manzana, naranja comercial y natural, piña, melocotón y tomate. Sin embargo, fueron mayores que los niveles observados en el zumo de uva y en el de piña con uva (Díaz- Rubio, 2008; Goñi y col., 2009).

El procesamiento industrial produjo variaciones en el contenido de fibra respecto al material de origen. Así, los subproductos obtenidos del Procesado 1, Pasta y Bagazo, mostraron un contenido de fibra superior al de cebolla entera (Figura 33), es decir, este procesamiento dio lugar a unos productos enriquecidos en fibra, siendo menor el incremento en la Pasta (7-10% en Recas y Figueres, respectivamente) que en el Bagazo (39-55% en Figueres y Recas, respectivamente). La diferencia en el nivel de enriquecimiento de ambos subproductos podría ser debida al modo de obtención de cada uno de ellos, ya que la Pasta es básicamente cebolla triturada, mientras que el Bagazo está constituido por restos sólidos, al eliminarse casi toda la parte líquida (Zumo) mediante prensado, por lo que se produciría un efecto de concentración. Por otro lado, el subproducto obtenido del Procesado 2, el Puré, sufrió un drástico descenso en la cantidad de fibra (57-58%, en Figueres y Recas, respectivamente) con respecto a la cebolla entera, siendo sus niveles comparables a los observados en las capas internas de la cebolla (Tabla 11, Capítulo 1). Esto indica

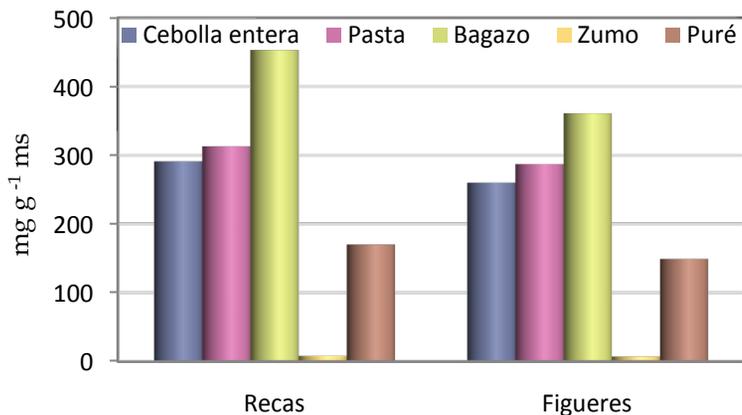
que este procesado no sería apropiado para obtener un subproducto rico en fibra.

**Tabla 18.** Fibra alimentaria en los subproductos de cebolla (mg g<sup>-1</sup> ms)

	Recas	Figueres
<b>Pasta</b>		
Control	313 ± 4 <sup>b<sub>b</sub></sup>	287 ± 6 <sup>c<sub>a</sub></sup>
Pasterización	314 ± 3 <sup>b<sub>b</sub></sup>	262 ± 3 <sup>b<sub>a</sub></sup>
Esterilización	304 ± 2 <sup>a<sub>b</sub></sup>	248 ± 4 <sup>a<sub>a</sub></sup>
<b>Bagazo</b>		
Control	453 ± 5 <sup>b<sub>b</sub></sup>	361 ± 4 <sup>b<sub>a</sub></sup>
Pasterización	452 ± 6 <sup>b<sub>b</sub></sup>	384 ± 9 <sup>c<sub>a</sub></sup>
Esterilización	408 ± 2 <sup>a<sub>b</sub></sup>	343 ± 7 <sup>a<sub>a</sub></sup>
<b>Zumo</b>		
Control	8 ± 1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	7 ± 0 <sup>a<sub>a</sub></sup>
Pasterización	8 ± 0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	12 ± 1 <sup>b<sub>b</sub></sup>
Esterilización	14 ± 1 <sup>b<sub>a</sub></sup>	18 ± 1 <sup>c<sub>b</sub></sup>
<b>Puré</b>		
Control	170 ± 7 <sup>c<sub>b</sub></sup>	149 ± 9 <sup>c<sub>a</sub></sup>
Pasterización	155 ± 4 <sup>b<sub>b</sub></sup>	120 ± 5 <sup>b<sub>a</sub></sup>
Esterilización	133 ± 3 <sup>a<sub>b</sub></sup>	93 ± 2 <sup>a<sub>a</sub></sup>

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una fila con diferentes letras en el subíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

En la bibliografía existe una gran heterogeneidad con respecto al contenido de FT dependiendo del tipo de subproducto y concentrado, así como de su procedencia (cereales, hortalizas, frutas), hecho similar al encontrado en los subproductos de cebolla estudiados. Así, los resultados de Pasta y Bagazo se encuentran dentro de los intervalos observados en la bibliografía (240-660 mg g<sup>-1</sup> ms) para otros subproductos vegetales. Sin embargo, el Puré y el Zumo contienen niveles por debajo de los datos bibliográficos (Mollá y col., 1994; Griguelmo-Miguel, 1999ab; Chau y Huang, 2004; Figuerola y col., 2005).



**Figura 33.** Contenido FT en los subproductos de cebolla ( $\text{mg g}^{-1}\text{ms}$ )

Con respecto a los subproductos estabilizados térmicamente, Pasta, Bagazo y Puré de la variedad Recas, tanto pasterizados como esterilizados, mostraron mayores contenidos de FT que aquéllos encontrados en los correspondientes subproductos de Figueres. Esta es la misma tendencia que la observada en los productos sin tratamiento térmico. Sin embargo, el contenido de FT de los Zumos estabilizados de Figueres resultó ser más elevado que en los de Recas.

Es de destacar que los tratamientos térmicos aplicados a los subproductos de consistencia más o menos sólida (Pasta, Bagazo y Puré) provocan una cierta disminución en la cantidad de fibra, más acusada en el caso de la esterilización. Del mismo modo que ocurre en este estudio, Rehman y col. (2003) encontraron que el contenido de FT de diversos vegetales se reducía tras ser cocinados por distintos métodos. Además, estos mismos efectos causados por el calor fueron hallados en otros productos vegetales como cacao tostado, cubierta de guisante, pulpa de remolacha azucarera y en algunos cereales extruidos (Ralet y col., 1991; Ralet y col., 1993; Valiente y col., 1994; Esteban y col., 1998). No obstante, hay que indicar que las pérdidas de FT causadas por la pasterización y esterilización fueron mayores que las provocadas por un cocinado normal, debido probablemente a las altas temperaturas y a las condiciones de presión

más extremas (Rehman y col., 2003). La reducción en los niveles de FT podrían deberse a una degradación parcial de la celulosa y hemicelulosas en carbohidratos simples como consecuencia de los tratamientos térmicos.

Por el contrario, los niveles de FT en los Zumos esterilizados fueron mayores que los encontrados en los pasterizados y en los controles. Estos incrementos de FT podrían deberse a la pérdida de componentes no fibrosos durante el tratamiento térmico y/o a la formación de compuestos condensados producidos por reacciones de Maillard que pasarían a formar parte de la fibra (Esteban y col., 1998).

En resumen, los tratamientos térmicos originan diferentes cambios en la fibra de los subproductos de cebolla y la magnitud de estos cambios va a depender de la intensidad del tratamiento térmico y de la matriz del subproducto. Las modificaciones que tienen lugar como consecuencia del tratamiento térmico pueden tener gran interés desde un punto de vista nutricional, ya que podrían afectar a las propiedades físico-químicas de la fibra, lo que consecuentemente modificaría sus efectos fisiológicos.

Por otra parte, se ha considerado de interés hacer una primera estimación del rendimiento de cada proceso en relación con la fibra alimentaria. En la Tabla 19 se muestra el rendimiento en fibra de cada subproducto, expresado como la cantidad de fibra que se obtiene por cada 100 kg de cebolla entera procesada. Por cada 100 kg de cebolla que se procesa se obtienen alrededor de 30 kg de Bagazo, más de 90 kg de Pasta, 50 kg de Zumo y 60 kg de Puré aproximadamente. Estos datos son relevantes para el uso potencial de estos subproductos en la industria alimentaria. Dependiendo del producto, se obtienen entre el 0,6 y 2,5 kg de fibra por cada 100 kg de cebolla procesada (Tabla 19).

Entre todos los subproductos existen claras diferencias en cuanto al contenido de fibra, pero también existen diferencias en cuanto a las características de los

mismos. Así, el Puré es el subproducto que presenta la textura más homogénea y una partícula más fina, sin embargo, presenta un bajo rendimiento de fibra alimentaria. Por el contrario, Pasta y Bagazo presentan una textura poco homogénea, pero su rendimiento de fibra alimentaria es superior al del Puré. Por su parte, el Zumo es el subproducto que presenta un menor rendimiento, aunque sus características le proporcionan otro tipo de utilidades.

**Tabla 19.** Rendimiento de fibra por cada 100 kg de cebolla (kg fibra/100 kg de cebolla)

	Pasta	Bagazo	Zumo	Puré
<b>Figueres</b>	2,4	1,6	0,03	0,6
<b>Recas</b>	2,5	1,7	0,03	0,9

### Carbohidratos no estructurales

El estudio de los carbohidratos no estructurales (CNE) abarca los azúcares solubles y los fructanos, y fue llevado a cabo en ambas variedades, Recas y Figueres (Tabla 20). El Zumo fue el subproducto que mostró los contenidos más altos de carbohidratos no estructurales totales, mientras que el Bagazo reflejó los menores niveles.

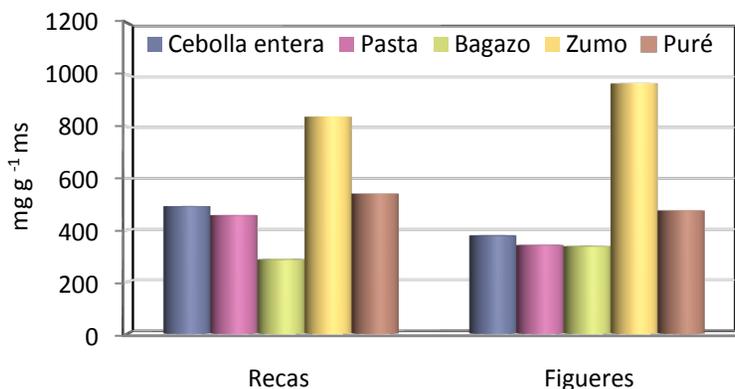
Al comparar los CNE totales de los subproductos con los de cebolla entera (Figura 34) se observaron ciertos cambios debidos principalmente a los procesos de obtención de los distintos subproductos y a la diferente concentración de CNE en las partes de la cebolla (Tabla 12, Capítulo 1). Así, la Pasta y el Bagazo mostraron menor contenido de CNE que la cebolla entera, siendo más acusada esta diferencia en el caso del Bagazo. La explicación se encontraría principalmente en que la Pasta se obtiene triturando la cebolla entera, proceso

**Tabla 20.** Azúcares solubles y fructanos en los subproductos de cebolla (mg g<sup>-1</sup> ms)

	Sacarosa		Glucosa		Fructosa		Fructanos		CNE Total	
	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres
<b>Pasta</b>										
Control	20±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	42±2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	205±3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	136±7 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	173±10 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	119±5 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	59±2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	44±3 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	457±32 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	341±11 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Pasterización	77±1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	75±1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	218±4 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	246 ± 3 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	188±3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	215±3 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	60±2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	27±2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	542±10 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	563±5 <sup>c</sup> <sub>b</sub>
Esterilización	78±1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	39±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	215±6 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	166 ± 1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	189±4 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	177±3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	45±3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	21±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	527±18 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	403±4 <sup>b</sup> <sub>a</sub>
<b>Bagazo</b>										
Control	14±0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	30±2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	130±3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	142±8 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	121±7 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	138±6 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	21±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	27 ± 1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	286±10 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	337±16 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Pasterización	31±4 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	41±0 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	111±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	171± 4 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	106±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	158±3 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	41±2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	28±1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	289±7 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	398±1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>
Esterilización	32±3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	60±2 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	165±9 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	194 ± 5 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	160±9 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	173±4 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	32±2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	24±1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	389±23 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	451±10 <sup>c</sup> <sub>b</sub>
<b>Zumo</b>										
Control	61±4 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	106±5 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	308±9 <sup>a</sup>	347±8 <sup>b</sup>	265±12 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	293± 9 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	205±9 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	221±8 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	838±22 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	966±28 <sup>c</sup> <sub>b</sub>
Pasterización	78±11 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	101 ± 1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	295±9 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	338±4 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	262±16 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	313±5 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	160±16 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	114±10 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	795±9 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	865±15 <sup>b</sup> <sub>b</sub>
Esterilización	77±6 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	84 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	341±21 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	284±9 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	312±6 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	225±14 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	91±6 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	94±9 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	821±30 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	687±17 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
<b>Puré</b>										
Control	49±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	51±3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	239 ± 4 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	195± 6 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	196± 6 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	166± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	57± 2 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	63± 2 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	541±32 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	476±20 <sup>a</sup> <sub>a</sub>
Pasterización	75±1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	54±5 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	261±5 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	217±4 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	223±3 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	196± 8 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	37±3 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	34± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	597±9 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	501±2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>
Esterilización	93±5 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	72±2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	303±19 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	296± 5 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	255±16 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	268±3 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	29±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	47±3 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	680±40 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	684±10 <sup>c</sup> <sub>a</sub>

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una fila y un azúcar con diferentes letras en el subíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

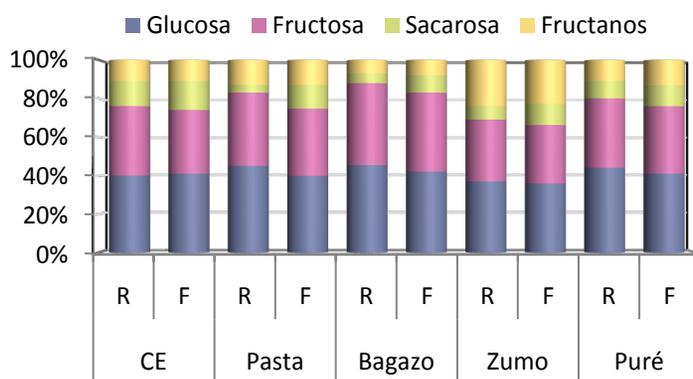
durante el cual se pueden producir pérdidas de líquido o zumo, que irían acompañadas de estos compuestos solubles. En el caso del Bagazo, a las pérdidas generadas durante la trituración, se le suman aquéllas que se producen en el prensado, fase durante la cual se separa la fracción sólida de la líquida, siendo la primera más rica en partes externas (menor contenido de CNE) y quedando los carbohidratos no estructurales principalmente en la parte líquida. De esta forma, el Zumo se puede considerar un producto enriquecido en carbohidratos no estructurales, existiendo un incremento del 70% con respecto al contenido en cebolla entera de la variedad Recas y de más de un 150% en el caso de Figueres. Debido a su alta concentración de azúcares fermentables, se está investigando el posible uso del zumo de cebolla como materia prima para la obtención de vinagre (Horiuchi y col., 2004; González-Sáiz y col., 2007).



**Figura 34.** Contenido de CNE totales en los subproductos de cebolla ( $\text{mg g}^{-1}\text{ms}$ )

Por otro lado, el Puré mostró un contenido de CNE ligeramente superior al de cebolla entera. Probablemente, este incremento se debe a que este subproducto se obtiene mediante un triturado y posterior tamizado, etapa durante la cual se pierde una gran proporción de las partes externas de la cebolla, por lo que el Puré está formado principalmente por la parte carnosa, que es más rica en CNE.

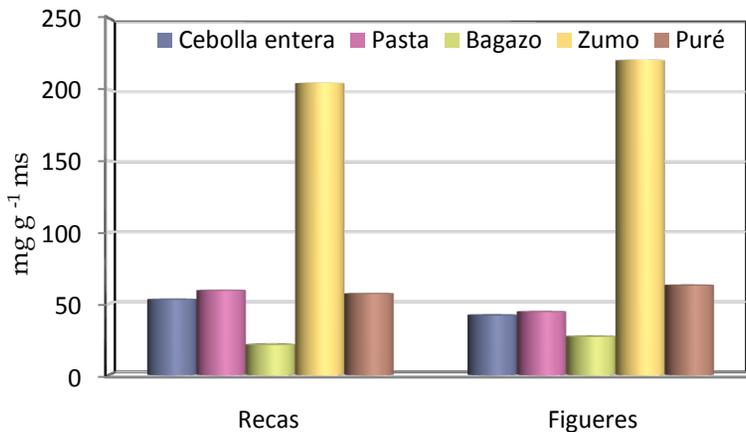
Los CNE de los subproductos de cebolla presentaron una composición similar a la observada en cebollas enteras (Tabla 12, Capítulo 1), siendo su perfil equiparable en ambas variedades (Figura 35). Los componentes mayoritarios de los CNE en todos los subproductos fueron glucosa y fructosa, aunque la contribución de estos azúcares fue mayor en Pasta, Puré y Bagazo que en Zumo.



**Figura 35.** Contribución (%) de los azúcares solubles y fructanos a los CNE totales (CE: cebolla entera; R: Recas; F: Figueres)

Es necesario señalar que el distinto procesamiento aplicado a las cebollas tuvo un efecto importante sobre la concentración de fructanos, ya que el Bagazo es el subproducto con menor riqueza de estos compuestos, en ambas variedades, con unos niveles inferiores a la cebolla entera (Figura 36), debido en gran parte a su eliminación durante el prensado. Sin embargo, el resto de los subproductos presentaba unas concentraciones de fructanos superiores a las encontradas en el bulbo completo, es decir, el procesamiento de la cebolla ha originado un enriquecimiento en estos compuestos. Este incremento fue menor en Pasta (5-11%) y Puré (8-50%) que en Zumo, donde se produjeron aumentos de más de cuatro veces en relación con los contenidos encontrados en cebolla entera. Los fructanos constituyen el tercer componente en orden de importancia

cuantitativa, excepto en el Bagazo de la variedad Figueres. Su contribución al total de carbohidratos no estructurales varía entre el 7-8% en Bagazo y el 23-24% en Zumo (Figura 35), no encontrándose diferencias significativas debidas a la variedad, con la excepción de la Pasta de Recas, con un contenido superior a la de Figueres.



**Figura 36.** Contenido de fructanos en los subproductos de cebolla ( $\text{mg g}^{-1} \text{ms}$ )

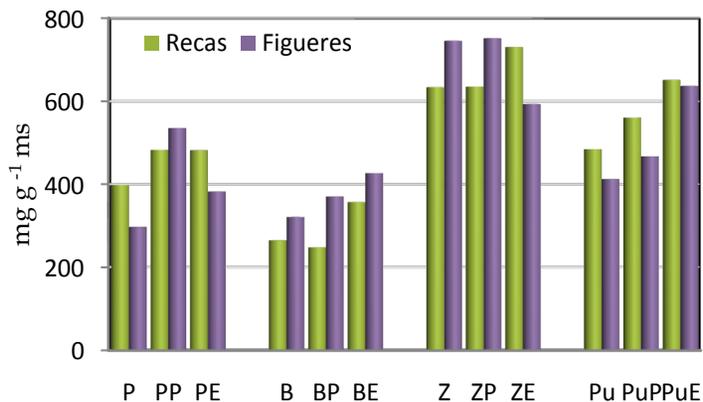
El Zumo es, por tanto, el producto con mayor concentración de fructanos ( $> 200 \text{ mg g}^{-1} \text{ms}$ ) (Tabla 20). Estos resultados son intermedios a los encontrados en cebollas de otras variedades; así, son menores al contenido de fructanos en la variedad Sturon pero superiores a los observados en variedades como Hysam, Durco y Caribo (Jaime y col., 2001a). Por tanto, habría que resaltar que se ha obtenido un producto enriquecido en fructanos a partir de cebollas cuyo contenido no era muy elevado y que, en general, esta forma de procesar las cebollas para obtener los subproductos da lugar a un enriquecimiento en fructanos.

Por lo que respecta al efecto de los tratamientos térmicos, los subproductos Pasta, Bagazo y Puré de ambas variedades, pasterizados y esterilizados, mostraron mayores contenidos de CNE totales que los controles. Sin embargo, la pasterización y la esterilización produjeron un descenso en los CNE totales

de los Zumos de ambas variedades (Tabla 20). No obstante, el perfil de azúcares y fructanos de los CNE encontrados en los subproductos estabilizados térmicamente fue similar al encontrado en los controles, siendo la glucosa y la fructosa los componentes principales.

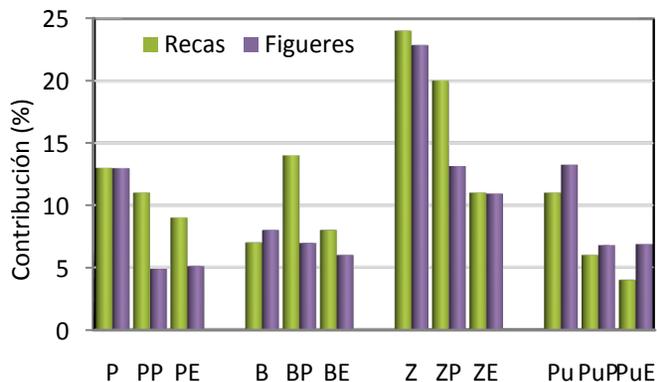
El efecto del tratamiento térmico parece depender de la matriz del subproducto. Así, en Pasta, Bagazo y Puré, la aplicación de calor podría inducir la hidrólisis de algunos componentes de la cebolla, como glucósidos de quercetina (Roldán y col., 2008) y componentes de la fibra, produciendo la solubilización de los restos azúcar y su consiguiente cuantificación como CNE. Sin embargo, el descenso de CNE totales observado después del tratamiento térmico en el Zumo podría ser debido probablemente a la formación de compuestos de Maillard insolubles como consecuencia del calor, ya que el zumo es un subproducto con alto contenido en azúcares (Heubner y col., 2008). Estos resultados corroboran lo encontrado en la FT, donde se observaba un aumento de la fibra total del Zumo por efecto del calor, probablemente debido a la inclusión en la misma de productos de Maillard insolubles.

Otra consecuencia de la aplicación de calor a los subproductos, excepto en el Zumo de Figueres, fue el aumento del conjunto de mono- y disacáridos (Figura 37), debido en su mayor parte a la hidrólisis de fructanos (Figura 38) provocada por la aplicación de altas temperaturas (Christian y Manley-Harris, 2000; Praznik y col., 2002; Böhm y col., 2005; Böhm y col., 2006). Esto coincide con lo encontrado por Heubner y col. (2008), que mostraron que las altas temperaturas producían una hidrólisis parcial de los fructanos, con el consiguiente aumento de la proporción de glucosa, sacarosa y fructosa.



**Figura 37.** Efecto del tratamiento térmico sobre la suma de mono- y disacáridos ( $\text{mg g}^{-1} \text{ms}$ )

Además, Blecker y col. (2002), en un estudio sobre la estabilidad química de los prebióticos frente al calor, indican que las altas temperaturas producen con facilidad la hidrólisis química de la inulina, siendo los principales efectos el acortamiento de su cadena y la producción de azúcares libres (fructosa, glucosa y sacarosa) en cantidades no despreciables. En el Zumo de Figueres, aunque se generarían fructosa y glucosa procedente de la hidrólisis de fructanos, estos azúcares podrían desaparecer por la formación de compuestos insolubles de Maillard y de caramelización de azúcares.



**Figura 38.** Efecto del tratamiento térmico sobre la contribución (%) de los fructanos a CNE totales

Por otro lado, se observó que, en general, la hidrólisis de fructanos fue mayor cuanto más intenso era el tratamiento (Figura 38), lo que está de acuerdo con lo encontrado por Böhm y col. (2005), que observaron que la concentración de inulina disminuía según aumentaba la temperatura y el tiempo de calentamiento. En este sentido, Bleckler y col. (2002) encontraron que la velocidad inicial de hidrólisis de la oligofructosa sigue la ecuación de Arrhenius para todas las temperaturas, es decir, cuanto mayor es la temperatura mayor es la velocidad de la reacción. Además, el mayor descenso de fructanos se encontró en el Zumo, que es el subproducto con mayor contenido de estos compuestos, lo cual podría explicarse según Beckler y col. (2002) porque la velocidad inicial de reacción está relacionada con la concentración de fructanos y, en consecuencia, cuanto mayor sea ésta mayor será la velocidad de hidrólisis.

El contenido de fructooligosacáridos (FOS) en los subproductos de cebolla, así como el efecto que tiene el tratamiento térmico sobre ellos se encuentra reflejado en la Tabla 21. El contenido de FOS totales, como suma de kestosa, nistosa y 1-F-nistosa, fue más elevado en el Zumo, donde estos compuestos representan el 16% de la materia seca. En segundo lugar estaban la Pasta y el Puré con un contenido mucho menor, del orden del 3-5% de la materia seca, mientras que el subproducto con menor concentración de FOS fue el Bagazo, donde estos compuestos sólo constituyen el 1-1,5% de la materia seca. Estos resultados corroboran los datos obtenidos para fructanos totales.

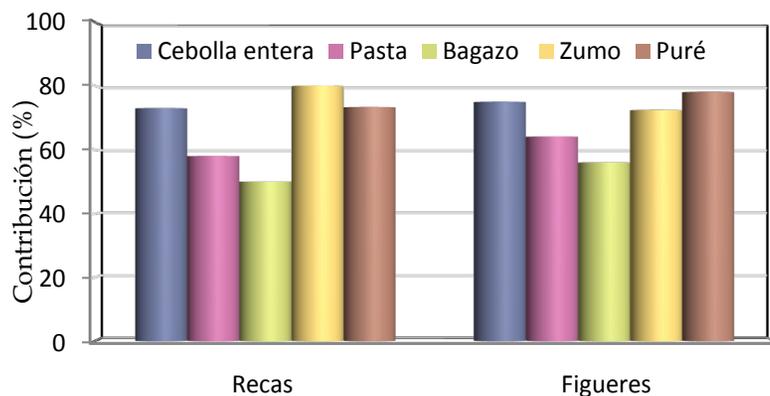
La Figura 39 muestra la contribución de FOS totales a los fructanos totales. El Zumo y el Puré fueron los subproductos más ricos en fructanos de bajo GP, ya que los FOS representan el 73-80% y 73-78%, respectivamente, de los fructanos totales. En contraposición, los resultados sugieren que la Pasta y, más específicamente, el Bagazo tendrían mayor contenido de fructanos con GP mayor de 5, ya que en este caso los FOS sólo constituyen el 58-64% y 49-51%, respectivamente, de los fructanos totales.

**Tabla 21.** Fructooligosacáridos en los subproductos de cebolla y en sus tratamientos térmicos (mg g<sup>-1</sup> ms)

	Kestosa (GF <sub>2</sub> )		Nistosa (GF <sub>3</sub> )		1-F-Nistose (GF <sub>4</sub> )		Total FOS	
	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres
<b>Pasta</b>								
Control	19,8±1,5 <sup>c<sub>b</sub></sup>	12,0±0,9 <sup>c<sub>a</sub></sup>	10,6±0,9 <sup>c<sub>a</sub></sup>	10,4±0,3 <sup>c<sub>a</sub></sup>	4,0±0,2 <sup>c<sub>a</sub></sup>	6,0±0,6 <sup>c<sub>b</sub></sup>	34,4±2,1 <sup>c<sub>b</sub></sup>	28,4±0,8 <sup>c<sub>a</sub></sup>
Pasterización	17,2±0,3 <sup>b<sub>b</sub></sup>	9,6 ± 0,3 <sup>b<sub>a</sub></sup>	8,4 ± 0,3 <sup>b<sub>b</sub></sup>	6,1± 0,3 <sup>b<sub>a</sub></sup>	3,4±0,2 <sup>b<sub>b</sub></sup>	0,8±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	29,0±1,1 <sup>b<sub>b</sub></sup>	16,5±0,5 <sup>b<sub>a</sub></sup>
Esterilización	8,6± 0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	5,0±0,3 <sup>a<sub>a</sub></sup>	7,0 ±0,2 <sup>a<sub>b</sub></sup>	5,4 ±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	2,0±0,7 <sup>a<sub>a</sub></sup>	2,3±0,0 <sup>b<sub>b</sub></sup>	17,6 ±0,5 <sup>a<sub>b</sub></sup>	12,7±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>
<b>Bagazo</b>								
Control	5,1 ±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	8,0± 0,4 <sup>a<sub>b</sub></sup>	4,8±0,2 <sup>b<sub>a</sub></sup>	6,3±0,2 <sup>b<sub>b</sub></sup>	0,6±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,0±0,0 <sup>a<sub>b</sub></sup>	10,5 ±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	15,3 ±0,2 <sup>a<sub>b</sub></sup>
Pasterización	14,2±0,9 <sup>c<sub>b</sub></sup>	8,5±0,4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	8,7±1,6 <sup>c<sub>b</sub></sup>	7,7±0,2 <sup>c<sub>a</sub></sup>	2,6±0,2 <sup>b<sub>b</sub></sup>	1,1±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	25,5±2,7 <sup>c<sub>b</sub></sup>	17,3± 0,5 <sup>b<sub>a</sub></sup>
Esterilización	11,4±0,6 <sup>b<sub>b</sub></sup>	8,4±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	3,0± 0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	5,7 ±0,2 <sup>a<sub>b</sub></sup>	0,6±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,2±0,0 <sup>a<sub>b</sub></sup>	15,0 ±0,1 <sup>b<sub>b</sub></sup>	15,3±0,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>
<b>Zumo</b>								
Control	57,5±2,2 <sup>b<sub>a</sub></sup>	60,3±2,5 <sup>c<sub>a</sub></sup>	91,6±4,8 <sup>c<sub>b</sub></sup>	72,0±1,0 <sup>c<sub>b</sub></sup>	14,7±0,3 <sup>c<sub>a</sub></sup>	27,6±1,6 <sup>c<sub>b</sub></sup>	163,8±3,0 <sup>c<sub>a</sub></sup>	159,9±6,8 <sup>c<sub>a</sub></sup>
Pasterización	75,3±2,2 <sup>c<sub>b</sub></sup>	32,7±0,8 <sup>b<sub>a</sub></sup>	32,4±2,0 <sup>b<sub>a</sub></sup>	42,8±3,9 <sup>b<sub>b</sub></sup>	9,1±0,8 <sup>b<sub>a</sub></sup>	8,2±0,7 <sup>b<sub>a</sub></sup>	116,8±5,2 <sup>b<sub>b</sub></sup>	83,7±7,7 <sup>b<sub>a</sub></sup>
Esterilización	37,8±0,1 <sup>a<sub>b</sub></sup>	20,5±0,4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	21,5±1,8 <sup>a<sub>a</sub></sup>	29,0±2,0 <sup>a<sub>b</sub></sup>	7,2±0,6 <sup>a<sub>a</sub></sup>	6,1±0,6 <sup>a<sub>a</sub></sup>	66,5±4,0 <sup>a<sub>b</sub></sup>	55,6±5,4 <sup>a<sub>a</sub></sup>
<b>Puré</b>								
Control	25,4±2,0 <sup>c<sub>a</sub></sup>	37,2±3,2 <sup>b<sub>b</sub></sup>	10,4±0,7 <sup>b<sub>a</sub></sup>	10,3±0,6 <sup>b<sub>a</sub></sup>	6,0±0,5 <sup>c<sub>b</sub></sup>	1,7± 0,1 <sup>c<sub>a</sub></sup>	41,8±4,1 <sup>c<sub>a</sub></sup>	49,2±3,7 <sup>c<sub>a</sub></sup>
Pasterización	13,4±1,3 <sup>b<sub>a</sub></sup>	13,2±1,4 <sup>a<sub>a</sub></sup>	11,0±0,3 <sup>b<sub>b</sub></sup>	7,2±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,1±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	1,0± 0,0 <sup>b<sub>a</sub></sup>	25,5 ±0,7 <sup>b<sub>b</sub></sup>	21,4±1,3 <sup>b<sub>a</sub></sup>
Esterilización	9,6 ±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	11,0±0,8 <sup>a<sub>b</sub></sup>	4,9±0,2 <sup>a<sub>a</sub></sup>	6,8±0,5 <sup>a<sub>b</sub></sup>	2,5±0,1 <sup>b<sub>b</sub></sup>	0,7±0,0 <sup>a<sub>a</sub></sup>	17,0±1,1 <sup>a<sub>a</sub></sup>	17,7±0,7 <sup>a<sub>a</sub></sup>

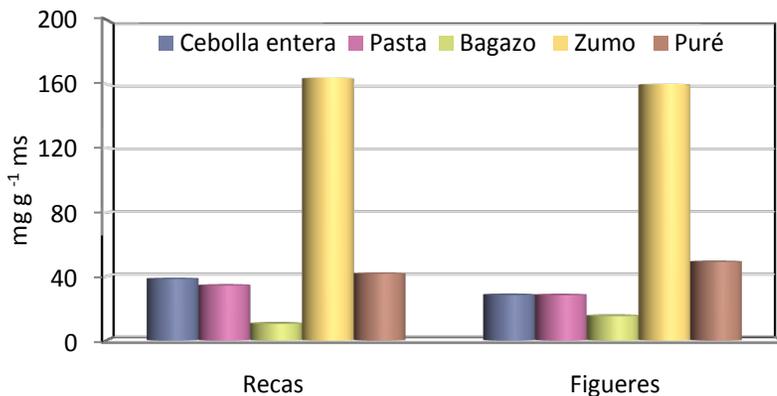
Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una fila y un azúcar con diferentes letras en el subíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

Estos resultados podrían ser el reflejo de la facilidad de los fructanos de bajo peso molecular (FOS) para pasar al Zumo durante el procesamiento de la cebolla, mientras que los fructanos de alto peso molecular permanecerían en los tejidos sólidos.



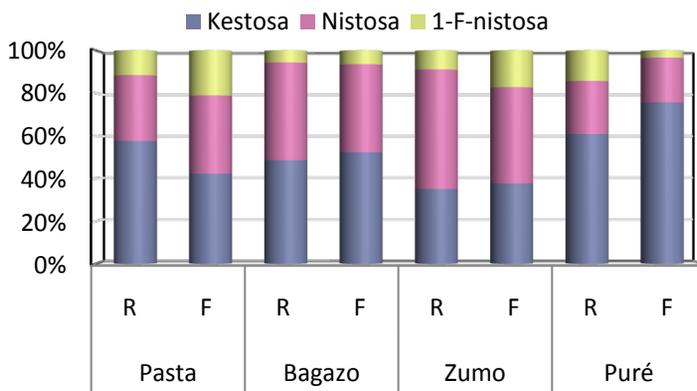
**Figura 39.** Contribución (%) de los fructooligosacáridos (FOS) totales a los fructanos totales de los subproductos

Al comparar los FOS totales de los subproductos con los correspondientes a cebolla entera (Figura 40), se vio que la Pasta y el Puré mostraban unos contenidos similares a los de cebolla entera. Por el contrario, en Bagazo y Zumo se observaron efectos contrapuestos, ya que el primero sufrió importantes pérdidas de estos compuestos, mientras que el segundo experimentó un incremento de entre cuatro y seis veces el contenido de FOS encontrado en la cebolla. El origen de estos cambios podría estar en el procesamiento que genera estos productos y en la solubilidad de estos compuestos. Los altos contenidos de FOS en el Zumo de cebolla con relación a la cebolla de origen constituyen unos resultados que muestran un paralelismo con los obtenidos en el estudio realizado por Hogarth y col. (2000) sobre los niveles de fructooligosacáridos en preparados y conservas de alimentos.



**Figura 40.** Contenido FOS totales en los subproductos de cebolla (mg g<sup>-1</sup> ms)

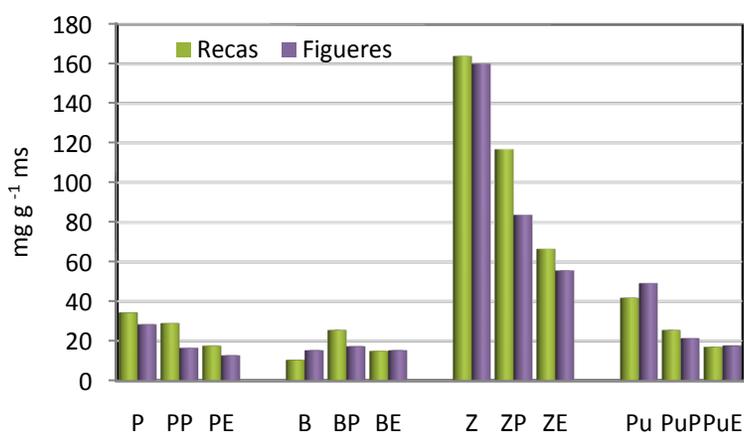
Los FOS identificados en todos los subproductos fueron, al igual que en la cebolla entera, kestosa, nistosa y 1-F-Nistosa. El trisacárido kestosa fue el FOS mayoritario, representando entre el 35-76% del total de FOS (Figura 41), excepto en el Zumo, donde la nistosa constituía el FOS mayoritario.



**Figura 41.** Contribución (%) de kestosa, nistosa y 1-F-nistosa a los FOS totales

Por otro lado, la pasterización y la esterilización produjeron un marcado descenso del total de FOS en Zumo, Pasta y Puré (Figura 42). Sin embargo, en el Bagazo, donde se encuentran los fructanos de mayor grado de polimerización, se observó un incremento de total de FOS, lo que podría deberse a que los

fructanos de alto grado de polimerización se hidrolizaban dando lugar a FOS. En este sentido, Beckler y col. (2002) encontraron que los oligómeros de bajo grado de polimerización se transformaban más rápidamente en fructosa que los que tienen un grado de polimerización mayor. En Pasta, Zumo y Puré, cuanto más drástico fue el tratamiento térmico, mayor fue la reducción en el contenido de FOS. En otros estudios también se observó un aumento de la degradación de FOS según aumentaba la temperatura y los resultados ponían de manifiesto que la hidrólisis seguía una cinética de pseudo primer orden con respecto a la concentración de FOS (L'Homme y col., 2003).



**Figura 42.** Efecto del tratamiento térmico sobre los FOS totales ( $\text{mg g}^{-1} \text{ms}$ )

Al observar el comportamiento de cada FOS por separado se puso de manifiesto nuevamente que éstos experimentaban cambios inducidos por el calor. En general, todos los FOS disminuían tras el tratamiento térmico, aunque existen excepciones como la kestosa y nistosa en el Bagazo, donde aumentaban, probablemente por la hidrólisis de compuestos de mayor grado de polimerización (Figura 43).

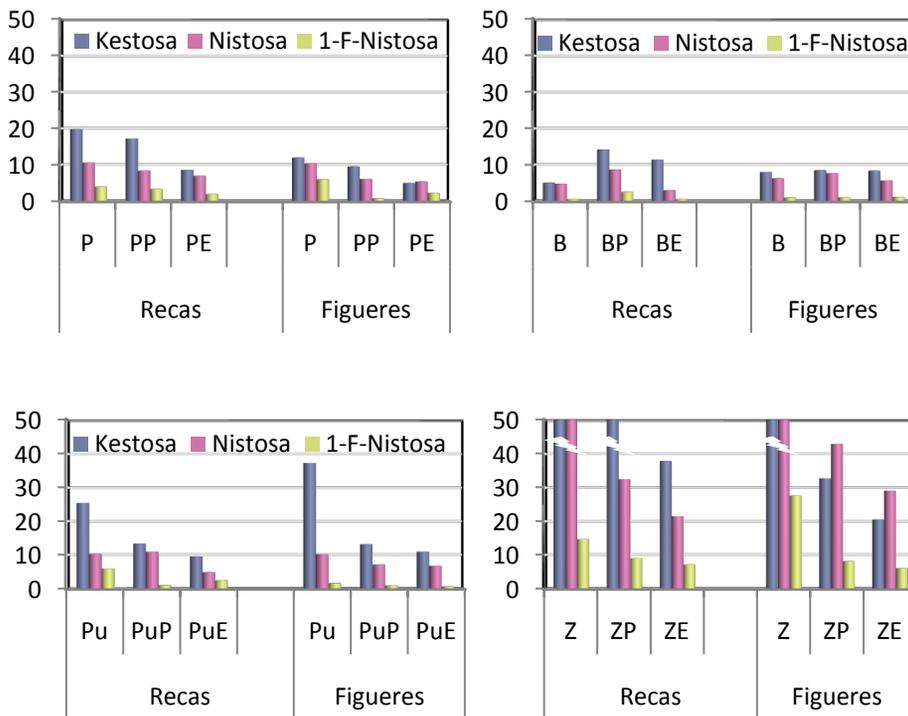


Figura 43. Efecto del tratamiento térmico en los FOS individuales ( $\text{mg g}^{-1} \text{ms}$ )

### Compuestos azufrados

Los resultados de azufre total y de precursores del “flavor” en los subproductos de cebolla se muestran en la Tabla 22. Este estudio se llevó a cabo sólo en Recas, ya que esta variedad constituía la mejor alternativa para obtener subproductos de cebolla estabilizados ricos en fibra alimentaria y FOS.

Los niveles más altos de azufre se encontraron en la Pasta y los menores en el Zumo, tanto en los controles como en los estabilizados. Estas diferencias pueden ser debidas al procesamiento, sugiriendo que los compuestos azufrados pasan en menores cantidades al Zumo. No obstante, hay que indicar que en el Zumo el porcentaje de S-ACSOs respecto al S total fue el más elevado (49%) de todos los subproductos, lo que indicaría que los ACSOs constituyen los

principales compuestos azufrados presentes en el Zumo. Estos resultados muestran un paralelismo con el porcentaje que representa el S-ACSOs respecto al S total en las capas internas de la cebolla. Por el contrario, los valores encontrados en Pasta y Bagazo (20%) pusieron de manifiesto la existencia en cantidades notables de otros compuestos azufrados diferentes a los ACSOs, en clara correspondencia con los resultados obtenidos en la cebolla entera y en la base-cuello del bulbo.

**Tabla 22.** Compuestos azufrados en los subproductos de cebolla

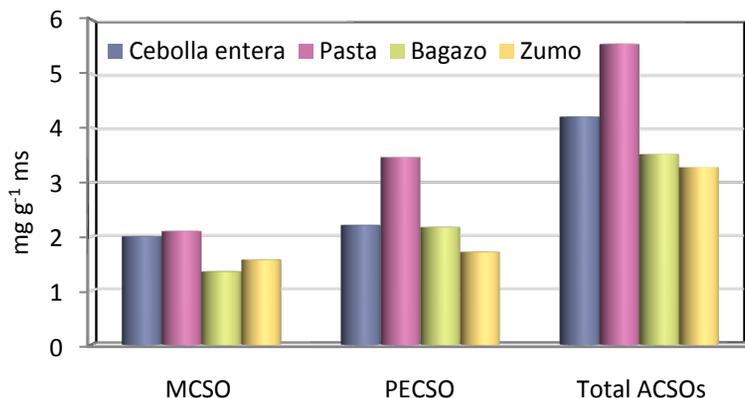
	S total	S-ACSOs vs. S total	PECSO	MCSO	ACSOs totales
	µmoles g <sup>-1</sup> ms	%	mg g <sup>-1</sup> ms	mg g <sup>-1</sup> ms	mg g <sup>-1</sup> ms
<b>Pasta</b>					
Control	169± 5 <sup>c</sup>	20	3,5± 0,2 <sup>b</sup>	2,1± 0,2 <sup>b</sup>	5,6
Pasterización	125± 4 <sup>b</sup>	19	2,4± 0,1 <sup>a</sup>	1,5± 0,1 <sup>a</sup>	3,9
Esterilización	109± 6 <sup>a</sup>	28	3,6± 0,2 <sup>b</sup>	1,6± 0,1 <sup>a</sup>	5,2
<b>Bagazo</b>					
Control	106± 6 <sup>c</sup>	20	2,2± 0,1 <sup>b</sup>	1,4± 0,1 <sup>c</sup>	3,6
Pasterización	56± 3 <sup>a</sup>	14	0,7± 0,1 <sup>a</sup>	0,6± 0,0 <sup>a</sup>	1,3
Esterilización	81± 7 <sup>b</sup>	36	4,2± 0,3 <sup>c</sup>	0,9± 0,1 <sup>b</sup>	5,1
<b>Zumo</b>					
Control	41± 3 <sup>c</sup>	49	1,7± 0,1 <sup>a</sup>	1,6± 0,1 <sup>b</sup>	3,3
Pasterización	34± 1 <sup>b</sup>	68	2,0± 0,2 <sup>ab</sup>	1,7± 0,0 <sup>b</sup>	3,7
Esterilización	32± 0 <sup>a</sup>	63	2,1± 0,1 <sup>b</sup>	1,3± 0,1 <sup>a</sup>	3,4

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

En cuanto a los componentes azufrados presentes, como ocurría en la cebolla entera y en las distintas secciones de la misma, en los subproductos sólo se detectaron dos ACSOs: PECSO y MCSO. Al observar los controles, se apreció que la Pasta era el subproducto de cebolla con el mayor contenido de precursores del “flavor” y el Zumo el de menor. Además, PECSO, precursor del

factor lacrimógeno, fue el compuesto mayoritario en todos los subproductos, con una contribución al total de ACSOs del 52-62%. Estos resultados son inferiores a los encontrados en la literatura (90%), lo que indicaría que los subproductos son poco picantes, ya que las cebollas picantes tienen una mayor proporción de PECSO (Yoo y Pike, 1998). Si se compara entre subproductos, la Pasta y el Bagazo, con una relación MCSO:PECSO de 1:1,6, serían más picantes que el Zumo con una relación de 1:1,1. La relación entre los precursores del “flavor” es muy importante ya que da lugar a distintos sabores y aromas (Randle, 1997).

El procesamiento de la cebolla para dar los subproductos produjo una pérdida de ACSOs del 14% en el Bagazo y de un 21% en el Zumo, mientras que en la Pasta se observó un enriquecimiento (33%) (Figura 44). En el caso del Bagazo el descenso de ACSOs con respecto a cebolla entera se debió principalmente a la pérdida de MCSO, ya que el PECSO no presentaba diferencias con los niveles encontrados en cebolla entera. Estos resultados muestran un claro paralelismo con los obtenidos para la base-cuello del bulbo, partes que se caracterizan por su bajo contenido en MCSO y que quedan incluidas en gran medida en el Bagazo. Sin embargo, en el Zumo se pudo apreciar un descenso del 20%, aproximadamente, de ambos componentes con respecto a sus niveles en cebolla entera. El incremento en ACSOs de la Pasta se debía a un aumento del contenido en PECSO, ya que el componente MCSO no presentaba cambios significativos. Esta presencia mayoritaria de PECSO se corresponde con los valores encontrados en las capas carnosas de la cebolla que constituyen una proporción importante de la Pasta. Por tanto, los ACSOs de la cebolla, aunque se encuentran principalmente en las partes internas, estarían probablemente asociados a tejidos y en formas insolubles.



**Figura 44.** Contenido de precursores del “flavor” en subproductos de cebolla ( $\text{mg g}^{-1} \text{ms}$ )

El tratamiento térmico produjo un descenso del contenido total de S en todos los subproductos y la contribución de los ACSOs al S total aumentaba en los productos esterilizados, lo que podría estar relacionado en parte con la mayor degradación térmica de otros compuestos diferentes a los ACSOs.

Después de la pasterización, PECSO continuó siendo el ACSO mayoritario, aunque este tratamiento térmico produjo un descenso del contenido de ACSOs totales en Pasta (30%) y Bagazo (64%) comparado con el control, mientras que en el Zumo no se encontraron cambios significativos. Aparte de la degradación enzimática, durante la pasterización se puede producir una hidrólisis térmica de los ACSOs, ya que los aminoácidos que contienen un grupo azufrado suelen ser bastante termolábiles. En estudios sobre la descomposición de PCSO y MCSO (Kubec y col., 1998; Kubec y col., 1999), se encontró que el grado de descomposición de estos compuestos no sólo dependía de la temperatura y del tiempo de calentamiento, sino también del contenido de agua en el sistema de reacción, cuanto menos agua más hidrólisis. Los subproductos de cebolla mostraron todos un alto contenido de agua, pero mayor en Zumo (93,2%) que en Pasta (90,1%) y Bagazo (87,6%), lo que podría explicar cómo bajo las mismas

condiciones de tiempo y temperatura, la hidrólisis térmica fue mayor en el Bagazo pasterizado.

Los subproductos esterilizados de Pasta y Bagazo mostraron unos contenidos similares de ACSOs, siendo de nuevo PECSO el precursor mayoritario. La esterilización produjo un aumento en el contenido total de ACSOs en el Bagazo con respecto al control, mientras que no se encontraron diferencias significativas en el Zumo y en la Pasta. Por lo que respecta a cada precursor, las modificaciones observadas en los contenidos de PECSO y MCSO en Bagazo y Zumo, después de la esterilización, se debieron principalmente al aumento de PECSO y al descenso de MCSO. Los resultados sugieren que la degradación de MCSO fue principalmente por hidrólisis térmica (más agudizada cuanto menor es la humedad) y la tendencia fue la misma que la encontrada en los subproductos pasterizados, mientras que el PECSO se vería afectado principalmente por hidrólisis enzimática. Se sabe que la enzima alliinasa de la cebolla hidroliza preferentemente al PECSO (Rose y col., 2005) y que la cinética de descomposición del PECSO *in vivo* es casi instantánea (Randle, 1997). Por lo tanto, los resultados sugerirían una inactivación más rápida de la alliinasa en la esterilización que en la pasterización y en la congelación (control), que explicaría el mayor o igual contenido de PECSO en los subproductos esterilizados que en los controles y los pasterizados. Algunos procesamientos culinarios como hervir o freír pueden causar la inactivación de la alliinasa y, por este motivo, cierta cantidad de precursores del aroma permanecen intactos (Kubec y col., 1999). Además, Yoo y Pike (1998) encontraron que el tratamiento con microondas inactivaba las enzimas involucradas en la transformación de los ACSOs.

## Conclusiones

Las dos modalidades de procesamiento aplicadas a los excedentes de cebolla permitieron obtener cuatro tipos de subproductos con características diferentes.

El Bagazo podría considerarse como el prototipo de subproducto enriquecido en fibra alimentaria, lo que también lleva consigo la presencia de minerales como el calcio. Además, el Bagazo mantiene una adecuada proporción de las cualidades de la cebolla, como son el carácter prebiótico y la presencia de compuestos azufrados. El tratamiento térmico de estabilización no supuso modificaciones importantes en la composición global de este subproducto.

El Zumo constituye básicamente un subproducto enriquecido en carbohidratos no estructurales, con una proporción de componentes prebióticos (fructooligosacáridos) muy superior a la encontrada en cebolla entera. Sin embargo, los tratamientos de estabilización por altas temperaturas no resultan adecuados, especialmente la esterilización, ya que provocan importantes pérdidas de dichos compuestos. Sería objeto de un posterior estudio la investigación sobre otras tecnologías de conservación que no afectasen significativamente a estos compuestos.

La Pasta no presenta especiales características como subproducto enriquecido, ya que su composición resulta muy similar a la correspondiente a las cebollas de origen. No obstante, este subproducto podría considerarse de interés como concentrado de precursores del aroma de cebolla, así como por su excelente calidad al reunir en un único producto todas las cualidades beneficiosas existentes en la cebolla.

En consecuencia, la modalidad de procesamiento de los excedentes de cebolla que da lugar a Bagazo y Zumo, por un lado, o bien a Pasta, se muestra de gran interés por el potencial aprovechamiento de estos productos, especialmente de la variedad Recas.

Por el contrario, el procesamiento en forma de Puré no presenta, en principio, aplicaciones prácticas para la obtención de subproductos enriquecidos en los componentes analizados en el presente estudio, aunque sería conveniente su evaluación futura en relación con otro tipo de propiedades, así como el posible aprovechamiento de los demás residuos que se generan con esta forma de procesado.

### CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE CEBOLLA: EFECTO DE LA ESTABILIZACIÓN TÉRMICA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y LA COMPOSICIÓN DE LA FIBRA ALIMENTARIA

#### **Interés del estudio**

Como consecuencia de los efectos beneficiosos que la fibra alimentaria ejerce sobre la salud, la ingesta recomendada para adultos es de 25 g por día. Sin embargo, el consumo actual estimado oscila entre 14 y 29 g por día, por lo que no cumple en muchos casos con las recomendaciones (Gray, 2006). Ante esta situación resulta de especial importancia aumentar la disponibilidad de alimentos con alto contenido de fibra, con el fin de conseguir cambios en la ingesta diaria de este componente complejo. Por este motivo, los productos ricos en fibra están ganando en popularidad como ingredientes alimentarios, lo que ha animado a la comunidad científica hacia la búsqueda de nuevas fuentes de fibra y el desarrollo de nuevos productos con alto contenido de la misma.

Como se ha visto en el Capítulo 2, los subproductos de cebolla muestran unos niveles considerables de fibra total. Por tanto, podrían ser usados potencialmente como ingredientes ricos en fibra. Sin embargo, para que las fibras alimentarias se puedan explotar como ingredientes es fundamental el estudio de sus propiedades físico-químicas y de su composición, ya que tanto sus efectos fisiológicos como su aplicación tecnológica van a depender de estas características. Por este motivo, en el presente capítulo se han estudiado las propiedades físico-químicas y la composición de la fibra en los subproductos de cebolla, con especial atención al efecto de los procesos de obtención y estabilización de los mismos. Este conocimiento permitirá seleccionar el procesamiento y el tratamiento de estabilización más apropiado para obtener un producto rico en fibra con la mejores propiedades físico-químicas.

## Propiedades físico-químicas

El estudio de las propiedades físico-químicas de los subproductos va a ser de gran utilidad para evaluar la aplicación potencial de estos subproductos como ingredientes alimentarios ricos en fibra. Además de en los subproductos, se llevó a cabo la determinación de las propiedades físico-químicas en la celulosa, para poder comparar la capacidad de los subproductos con respecto a un tipo de fibra, y en la cebolla entera para observar el efecto del procesamiento. Los resultados obtenidos en este estudio se muestran en las Tablas 23 y 24.

### *Densidad aparente*

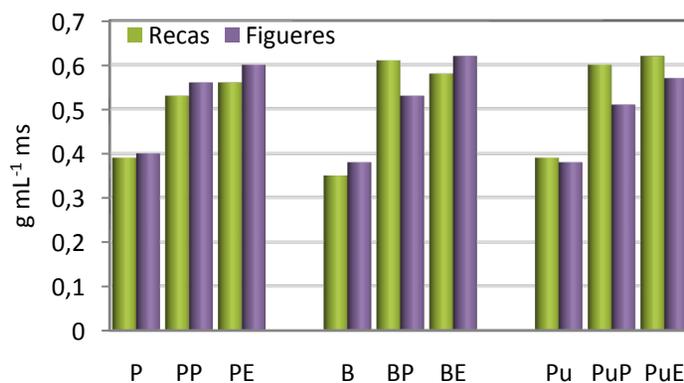
La densidad aparente (DA) de los subproductos de cebolla congelados (Control) oscilaba entre 0,35-0,40 g mL<sup>-1</sup>, siendo estos valores menores que los de la celulosa (Tabla 23). Esta propiedad da una idea de la porosidad y del área superficial que tiene el material. Cuanto menor sea la densidad aparente mayor será la porosidad y, por tanto, mayor será el área superficial, lo que influirá en el resto de propiedades físico-químicas. La densidad aparente depende de las características estructurales del producto, el tamaño de partícula y su distribución (Grigelmo-Miguel y col., 1999).

El Bagazo resultó ser el subproducto menos denso y, en consecuencia, el más poroso. Los resultados obtenidos para los subproductos de cebolla fueron similares a los de concentrados de fibra de naranja y a los subproductos de fresa, pero menores que los de harina de alcachofa y bagazo de melocotón (López, y col., 1996; Grigelmo-Miguel y Martín Belloso 1999ab; Torres et al., 2009).

Se deduce, por tanto, que el proceso de obtención de los subproductos de cebolla produjo un ligero descenso de esta propiedad, ya que todos los subproductos mostraron menor DA que la cebolla entera, siendo este descenso más acusado en el Bagazo. En consecuencia, el procesamiento industrial tiende

a mejorar esta propiedad, siendo el triturado seguido del prensado, procesamiento que se realiza para la obtención del Bagazo, el que más disminuye la densidad, lo que podría deberse a la reducción del tamaño de partícula durante el procesamiento.

Por lo que respecta al efecto de los tratamientos térmicos, se pudo observar que el calor produjo un aumento de la densidad aparente en todos los subproductos de cebolla (Figura 45), obteniéndose valores superiores al encontrado en la celulosa. En general, este aumento fue mayor cuanto más intenso era el tratamiento.



**Figura 45.** Efecto del tratamiento térmico sobre la DA (g mL<sup>-1</sup> ms)

**Tabla 23.** Propiedades físico-químicas de los subproductos de cebolla

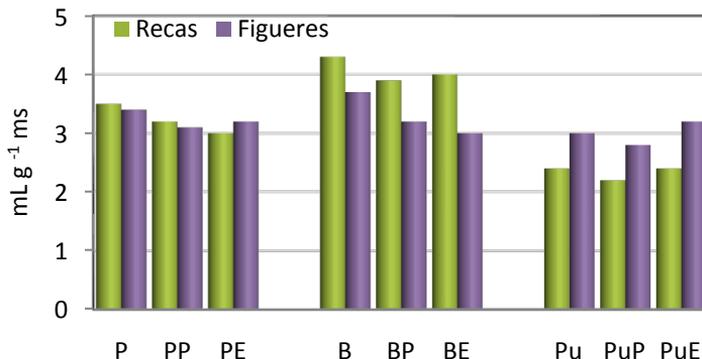
	DA (g mL <sup>-1</sup> )		CRAc (mL g <sup>-1</sup> ms)		CIC (meq kg <sup>-1</sup> ms)		MCG (%)	
	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres
<b>Celulosa</b>	0,50 ± 0,00 D	0,50 ± 0,00D	3,0 ± 0,0C	3,0 ± 0,0B	11± 1A	11± 1A	4A	4A
<b>Cebolla entera</b>	0,42 ± 0,00 C	0,46 ± 0,02C	2,1 ± 0,1A	2,3 ± 0,1A c <sub>a</sub>	42 ±2B	39 ±2B	14C	12C
<b>Pasta</b>								
Control	0,39 ± 0,00 B <sub>a</sub>	0,40 ± 0,00B <sub>a</sub>	3,5 ± 0,0D <sub>b</sub>	3,4 ± 0,1C <sub>b</sub>	87 ±3D <sub>b</sub>	82 ±1D <sub>c</sub>	12C <sub>a</sub>	12C <sub>a</sub>
Pasterización	0,53 ± 0,01 <sub>b</sub>	0,56 ± 0,01 <sub>b</sub>	3,2 ± 0,1 <sub>a</sub>	3,1 ± 0,1 <sub>a</sub>	48 ± 3 <sub>a</sub>	51 ± 1 <sub>b</sub>	20 <sub>b</sub>	14 <sub>b</sub>
Esterilización	0,56 ± 0,01 <sub>b</sub>	0,60 ± 0,00 <sub>b</sub>	3,0 ± 0,1 <sub>a</sub>	3,2 ± 0,2 <sub>a</sub>	49 ± 2 <sub>a</sub>	47 ± 2 <sub>a</sub>	16 <sub>b</sub>	14 <sub>b</sub>
<b>Bagazo</b>								
Control	0,35 ± 0,01A <sub>a</sub>	0,38 ± 0,00A <sub>b</sub>	4,3 ± 0,1E <sub>b</sub>	3,7 ± 0,1D <sub>b</sub>	171±7E <sub>c</sub>	163 ± 8E <sub>c</sub>	8B <sub>a</sub>	8B <sub>a</sub>
Pasterización	0,61 ± 0,00 <sub>b</sub>	0,53 ± 0,02 <sub>b</sub>	3,9 ± 0,2 <sub>a</sub>	3,2 ± 0,2 <sub>a</sub>	129±7 <sub>b</sub>	125 ± 5 <sub>b</sub>	8 <sub>a</sub>	8 <sub>a</sub>
Esterilización	0,58 ± 0,00 <sub>b</sub>	0,62 ± 0,00 <sub>b</sub>	4,0 ± 0,0 <sub>a</sub>	3,0 ± 0,1 <sub>a</sub>	101±3 <sub>a</sub>	105 ± 5 <sub>a</sub>	8 <sub>a</sub>	8 <sub>a</sub>
<b>Puré</b>								
Control	0,39 ± 0,01B <sub>a</sub>	0,38 ± 0,00A <sub>a</sub>	2,4 ± 0,1B <sub>a</sub>	3,0 ± 0,1B <sub>a</sub>	57± 4C <sub>c</sub>	54 ± 3C <sub>c</sub>	16D <sub>a</sub>	20D <sub>a</sub>
Pasterización	0,60 ± 0,00 <sub>b</sub>	0,51 ± 0,01 <sub>b</sub>	2,2 ± 0,1 <sub>a</sub>	2,8 ± 0,2 <sub>a</sub>	51 ± 1 <sub>b</sub>	45 ± 3 <sub>b</sub>	24 <sub>b</sub>	20 <sub>a</sub>
Esterilización	0,62 ± 0,01 <sub>b</sub>	0,57 ± 0,01 <sub>c</sub>	2,4 ± 0,1 <sub>a</sub>	3,2 ± 0,2 <sub>a</sub>	29 ± 2 <sub>a</sub>	28 ± 1 <sub>a</sub>	24 <sub>b</sub>	24 <sub>b</sub>

Los valores son medias ± DE, n=6. Las medias dentro de una columna y subproducto con diferente superíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de la misma columna y control con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una fila y propiedad con distinto subíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ .

### *Capacidad de retención de aceite*

Con respecto a la capacidad de retención de aceite (CRAC), los valores encontrados fueron superiores en los subproductos de cebolla que en la celulosa, excepto en el caso del Puré, y que en la cebolla entera (Tabla 23). Asimismo, los resultados también fueron mayores a los indicados en la bibliografía para concentrados de naranja, melocotón, fresa y coliflor (Femenia y col., 1997; Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999ab; Torres y col., 2009). Es probable que los diferentes procesos utilizados, trituración y prensado, den lugar a una mayor exposición de grupos hidrófobos, capaces de unir lípidos, lo que originaría una capacidad de retención de aceite más elevada. Además, se encontraron diferencias significativas entre los subproductos estudiados, siendo el Bagazo el que presentaba la mayor CRAC; este resultado estaría relacionado con la baja densidad aparente de este subproducto, ya que la CRAC está íntimamente relacionada con esta propiedad del material. Las partículas con baja densidad aparente tendrán mayor área superficial y, por tanto, tendrán mayor capacidad para adsorber y unir componentes lipídicos (Yeh y col., 2005).

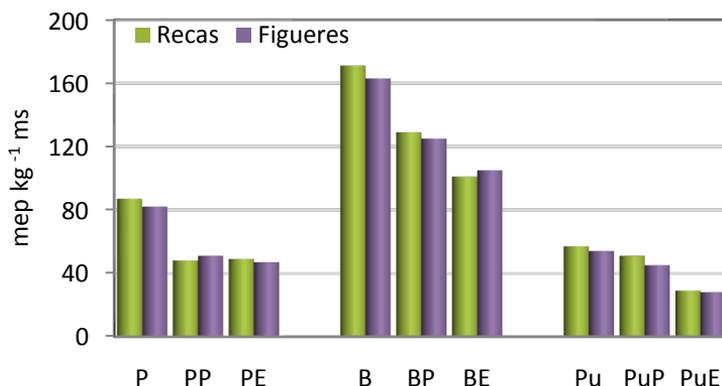
Por otro lado, los tratamientos térmicos de estabilización produjeron un ligero descenso en la CRAC de los subproductos de cebolla (Figura 46), excepto en el Puré. Esta misma tendencia fue encontrada también por otros autores (Femenia, y col., 2003; Garau y col., 2007), quienes además observaron que cuanto más intenso era el tratamiento mayor era la reducción de la propiedad, hecho que no se aprecia en este estudio. Los subproductos tratados térmicamente mostraron una CRAC similar a la observada en celulosa, excepto el Bagazo de Recas que mostró una CRAC mayor. Esta propiedad convierte a estos subproductos en un material apropiado para la estabilización de alimentos con alto porcentaje de grasas y de emulsiones (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999a). Por otra parte, la capacidad de retención de aceite es una propiedad importante para la mejora de la palatabilidad y la retención del aroma (Singh, 2001).



**Figura 46.** Efecto del tratamiento térmico sobre la CRAC (mL g<sup>-1</sup> ms)

#### *Capacidad de intercambio catiónico*

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de cebolla entera fueron del orden de 40 meq kg<sup>-1</sup> ms (Tabla 23), valores superiores a los encontrados para la celulosa. Además, cuando la cebolla entera se somete al procesamiento industrial, los subproductos que se obtienen presentan una CIC superior a la del material de origen. Así, destacan los valores correspondientes al Bagazo, cuya CIC fue cuatro veces superior a la que presentaba la cebolla entera. Sin embargo, en la Pasta, y sobre todo en el Puré, este incremento no resultó tan acusado. La alta CIC de los subproductos comparada con la encontrada en la celulosa se podría deber a la presencia de ácidos urónicos, ya que la CIC está relacionada con el contenido de ácidos urónicos de la fibra (Chau y Huang, 2003). No obstante, las CIC de los subproductos de cebolla fueron inferiores a las encontradas en otros subproductos como la cubierta del guisante y el residuo de soja (Ralet y col., 1993; Yeh y col., 2005).



**Figura 47.** Efecto del tratamiento térmico sobre la CIC (meq kg<sup>-1</sup> ms)

Los tratamientos térmicos ocasionaron un drástico descenso en la CIC, que por lo general fue más acusado cuanto mayor era la intensidad del tratamiento (Figura 47). Las Pastas estabilizadas ven reducidas su capacidad en un 41% de media en la pasterización y en un 43% en la esterilización, mientras que en el Bagazo estas reducciones son ligeramente menores, un 24% en la pasterización y un 39% en la esterilización. En el Puré, la pasterización casi no afectó a la CIC, ya que sólo se reducía en un 14%, pero la esterilización provocó una reducción del 50%. Esta disminución en la capacidad de intercambio catiónico estaría justificada por una posible pérdida de ácidos urónicos durante los procesos de estabilización. A pesar del descenso, los subproductos de cebolla tienen una CIC muy superior a la de la celulosa. La CIC está relacionada con la capacidad de la fibra para disminuir la absorción de lípidos en el intestino, por lo que la alta CIC encontrada en los subproductos de cebolla les haría capaces de atrapar, desestabilizar y desintegrar la emulsión lipídica, lo que provocaría un descenso en la difusión y absorción de los lípidos (Yeh y col., 2005).

#### *Capacidad de gelificación*

La mínima concentración de gelificación (MCG) se utiliza como índice de la capacidad de gelificación. Cuanto menor sea la MCG mejor capacidad de

gelificación tendrá el producto. Esta propiedad es esencial en la preparación y aceptación de muchos alimentos. Los subproductos de cebolla y la cebolla entera mostraron mayores valores de MCG que la celulosa, siendo el Bagazo el subproducto con la menor MCG (Tabla 23), probablemente por su mayor contenido de fibra. El procesamiento industrial de las cebollas para obtener Puré provocó un incremento de la MCG, mientras que el proceso para obtener el Bagazo produjo un descenso, siendo por tanto el procesamiento que conlleva la trituración más el prensado el más apropiado para obtener un subproducto con mejor capacidad de gelificación.

El efecto de los tratamientos térmicos sobre la MCG parece depender del material; así, la MCG en Pasta y Puré aumentó después del tratamiento térmico, mientras que no cambiaba en el Bagazo (Figura 48). Los resultados indican que los subproductos de cebolla y especialmente los estabilizados térmicamente, no presentan una buena capacidad de gelificación. Esto podría deberse a la presencia en los subproductos de otros compuestos distintos de la fibra que harían disminuir la capacidad de gelificación de ésta.

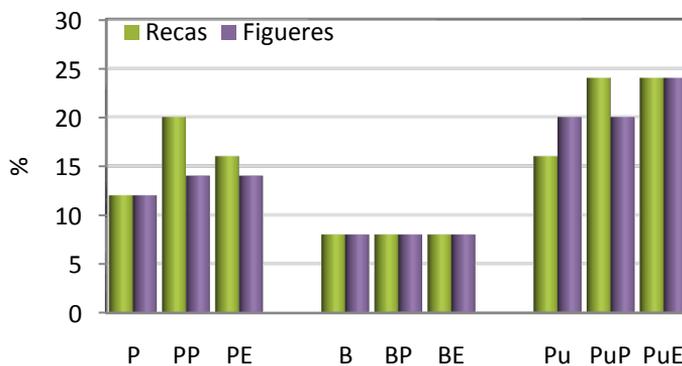


Figura 48. Efecto del tratamiento térmico sobre la MCG (%)

*Propiedades de hidratación*

Las propiedades de hidratación son relevantes tanto desde un punto de vista fisiológico como tecnológico y pueden influir en el éxito de la incorporación de los ingredientes ricos en fibra a un alimento (Femenia y col., 1999). Las propiedades de hidratación analizadas fueron la capacidad de retención de agua (CRA) y la capacidad de hinchamiento (CH) (Tabla 24). La CRA representa el volumen de hidratación bajo fuerzas centrífugas, mientras que la CH representaría el volumen de hidratación bajo fuerzas gravitatorias (López y col., 1996).

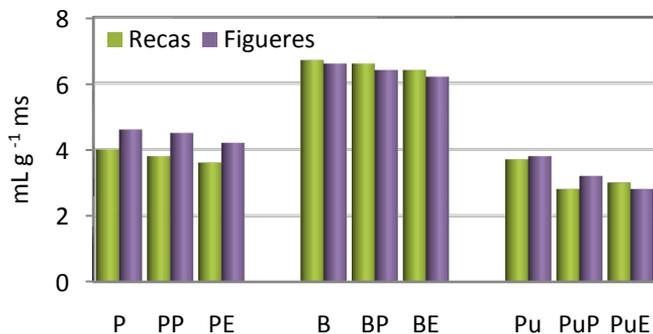
**Tabla 24.** Propiedades de hidratación de los subproductos de cebolla

	CRA (mL g <sup>-1</sup> ms)		CH (mL g <sup>-1</sup> ms)	
	Recas	Figueres	Recas	Figueres
<b>Celulosa</b>	5,5 ± 0,0B	5,5 ± 0,0C	4,0 ± 0,0A	4,0 ± 0,0A
<b>Cebolla entera</b>	3,8 ± 0,1A	4,4 ± 0,0B	21,0 ± 0,2C	20,0 ± 0,2C
<b>Pasta</b>				
Control	4,0 ± 0,2A <sup>a</sup>	4,6 ± 0,1B <sup>a</sup> <sub>b</sub>	20,5 ± 0,5C <sup>a</sup> <sub>c</sub>	19,5 ± 1,0C <sup>a</sup> <sub>c</sub>
Pasterización	3,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	4,5 ± 0,1 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	17,0 ± 0,5 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	17,5 ± 0,5 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
Esterilización	3,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	4,2 ± 0,2 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	15,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	16,0 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
<b>Bagazo</b>				
Control	6,7 ± 0,3C <sup>a</sup>	6,6 ± 0,0D <sup>a</sup>	21,0 ± 0,3C <sup>b</sup> <sub>a</sub>	22,5 ± 0,1D <sup>b</sup> <sub>b</sub>
Pasterización	6,6 ± 0,1 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	19,0 ± 0,1 <sup>a</sup>	22,0 ± 0,5 <sup>b</sup> <sub>b</sub>
Esterilización	6,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	6,2 ± 0,4 <sup>a</sup>	19,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	20,0 ± 0,3 <sup>a</sup> <sub>b</sub>
<b>Puré</b>				
Control	3,7 ± 0,0A <sup>b</sup> <sub>a</sub>	3,8 ± 0,0A <sup>b</sup> <sub>a</sub>	19,0 ± 0,9B <sup>b</sup> <sub>b</sub>	17,0 ± 0,5B <sup>c</sup> <sub>a</sub>
Pasterización	2,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	3,2 ± 0,0 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	11,0 ± 0,3 <sup>a</sup>	14,0 ± 0,3 <sup>b</sup> <sub>b</sub>
Esterilización	3,0 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,8 ± 0,0 <sup>a</sup>	12,0 ± 0,3 <sup>a</sup>	11,5 ± 0,5 <sup>a</sup>

Los valores son medias ± DE, n=6. Las medias dentro de una columna y subproducto con diferente superíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de la misma columna y control con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una fila y propiedad con distinto subíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$

Capacidad de retención de agua: La Pasta y el Puré mostraron una CRA menor que la encontrada en la celulosa, mientras que el Bagazo presentaba una CRA superior. La CRA está inversamente relacionada con la densidad aparente; así, cuanto menor es la densidad aparente, más elevados serán los valores de CRA, ya que hay mayor área superficial y, por tanto, quedarían más expuestos los grupos que se unen al agua. Además, la CRA también depende de la composición de la fibra, es decir, la cantidad de grupos capaces de unir agua presentes, y de la estructura del material (Chau y col., 2004a). El procesamiento de la cebolla entera para la obtención de Pasta y Puré no modificó esta propiedad, mientras que el proceso para la obtención del Bagazo la mejoró, probablemente porque tras este proceso se obtiene un subproducto más rico en fibra y con menor densidad aparente.

Los datos de CRA obtenidos en este estudio son intermedios a los citados en la bibliografía. Así, los subproductos de cebolla presentan mayor CRA que los concentrados de pomelo, limón, naranja y manzana (Figuerola y col., 2005), menor que los de melocotón, alcachofa y espárragos (Grigelmo-Miguel y col., 1999), y similar a las CRA de concentrados de pera, salvado de cereales (Grigelmo-Miguel y col., 1999), piel de cítricos, piña (Larrauri, 1994) y harina de alcachofa (López y col., 1996).



**Figura 49.** Efecto del tratamiento térmico sobre la CRA (mL g<sup>-1</sup> ms)

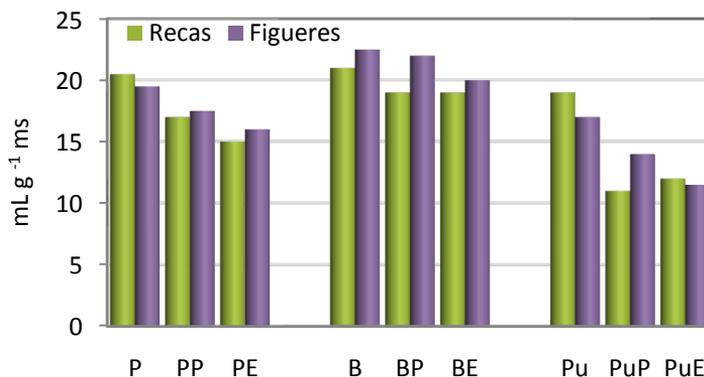
Los tratamientos térmicos produjeron ligeras disminuciones en la CRA (Figura 49), aunque éstas no fueron significativas en la Pasta y en el Bagazo. Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas entre la CRA del Puré control y los estabilizados térmicamente, hecho coincidente con los descensos encontrados en subproductos de fresa tratados térmicamente (Torres y col., 2009) y en otros productos vegetales sometidos a autoclave, cocción-extrusión y deshidratación (Ralet y col., 1993; Femenia y col., 2003). Los distintos comportamientos observados en los subproductos de cebolla podrían deberse a su diferente constitución, ya que la Pasta y el Bagazo contienen piel marrón, y sin embargo la mayor parte de la piel se elimina durante el procesado que da lugar al Puré. Así, el Puré está compuesto principalmente por paredes celulares primarias que son más frágiles y podrían desmoronarse debido a la solubilización de los polisacáridos de la pared celular causada por el tratamiento térmico. Sin embargo, los subproductos ricos en paredes celulares secundarias, como Pasta y Bagazo, serían menos sensibles a esta desestabilización provocada por el tratamiento térmico y su CRA no se vería tan afectada (Ralet y col., 1993).

Capacidad de hinchamiento: La CH fue mucho mayor en los subproductos de cebolla que en la celulosa. El tipo de procesamiento aplicado para la obtención de los subproductos influyó de forma diferente en la CH. Así, el procesamiento para obtener el Puré la disminuyó, la trituración, que da lugar a la Pasta, no causó ningún efecto sobre ella y el efecto de la trituración más el prensado (Bagazo) dependía de la variedad.

Los resultados obtenidos para los subproductos de cebolla estarían dentro de los márgenes indicados por algunos autores (Thibault y col., 1992) para ciertos concentrados de fibra de frutas y hortalizas, pero fueron superiores a los referidos por otros autores (López y col., 1996; Robertson y col., 2000; Figuerola y col., 2005) para concentrados de guisante, manzana, limón, naranja y harina de alcachofa.

Los tratamientos térmicos produjeron una reducción en la CH de los subproductos de cebolla (Figura 50). Además, excepto en el Bagazo, esta reducción fue mayor cuanto más intenso era el tratamiento. Este efecto también fue observado por otros autores (Femenia y col., 2003; Garau y col., 2007). A pesar de esta disminución, la CH de los subproductos estabilizados de cebolla es más elevada que la de otros subproductos como fibra de alcachofa, cubierta de guisante o pulpa de cítrico (López y col., 1996; Robertson y col., 2000).

Para poder entender las diferencias encontradas en las propiedades de hidratación en los distintos materiales, hay que tener en cuenta que los principales factores que influyen sobre la CH y la CRA son los polisacáridos que forman la pared celular, así como su organización intermolecular dentro de la pared (Serena y Bach Knudsen, 2007). Además, algunas propiedades físico-químicas como el tamaño de partícula, la porosidad y densidad también son importantes para entender el diferente comportamiento de las muestras durante la hidratación (López y col., 1996).



**Figura 50.** Efecto del tratamiento térmico sobre la CH (mL g<sup>-1</sup> ms)

Así, la CH va a depender principalmente de la estructura, ya que en este caso se mide el agua que se mantiene en las estructuras capilares de la fibra como resultado de una fuerte tensión superficial. La fibra insoluble juega un papel

fundamental en la CH, ya que se encuentra formando una matriz hidrofílica en la cual el agua quedaría atrapada, relleno los intersticios de los polisacáridos casi cristalinos, lo que produciría el hinchamiento de la fibra (Yeh y col., 2005). Sin embargo, la CRA depende fundamentalmente de la composición de la fibra, ya que se mide el agua unida por puentes de hidrógeno o dipolos (López y col., 1996), porque durante la centrifugación se elimina el agua que está débilmente unida. Así, la CRA se ve influida por el contenido de polisacáridos hidrofílicos que son aquéllos que presentan gran cantidad de grupos hidroxilo libres y pueden unirse a moléculas de agua mediante puentes de hidrógeno (López y col., 1996; Yeh y col., 2005). La mayor sensibilidad de la CH a los tratamientos térmicos parece indicar que éstos afectan en mayor medida a la estructura que a la composición, ya que la CRA se ve poco alterada. Además, cuanto más intenso es el tratamiento (esterilización) mayor parece ser la desestructuración.

En general, se puede decir que los subproductos de cebolla presentan unas buenas propiedades de hidratación. Asimismo, los productos estabilizados térmicamente mantienen estas características de hidratación óptimas para su empleo como ingredientes alimentarios, principalmente el Bagazo debido a que sus buenas propiedades hídricas se mantienen prácticamente inalteradas después del tratamiento térmico. Los productos enriquecidos en fibra que posean unas aceptables propiedades de hidratación tendrán la capacidad de ejercer diversos efectos fisiológicos, como el incremento del peso de las deposiciones o el descenso potencial de la tasa de absorción de nutrientes (Gallaher y Schneeman, 2001), así como importantes características tecnológicas como son la reducción de calorías, evitar la sinéresis y modificar la viscosidad y textura del producto final, lo que les hace aptos para su uso en muchos ámbitos alimentarios como productos de panadería, productos instantáneos o productos cárnicos (Grigelmo-Miguel y col., 1999).

## **Fracciones de fibra**

Las modificaciones causadas por el calor en las propiedades físico-químicas de los subproductos de cebolla podrían ser una expresión de los cambios producidos en la composición de la fibra. Los contenidos de fibra insoluble (FI) y fibra soluble (FS) de los subproductos de cebolla se muestran en la Tabla 25 y Figura 51. Los contenidos de FI dependen de la variedad, siendo Recas la que mostró los niveles más altos en todos los subproductos de cebolla. No obstante, FI fue siempre la fracción principal en ambas variedades, al igual que ocurre en muchos otros subproductos vegetales, como los de mango, la piel de cítricos, semillas de fruta de la pasión o subproductos derivados del procesamiento de la soja (Gourge y col., 1992; Chau y Huang, 2003, 2004; Yeh y col., 2005). De los subproductos obtenidos del Procesado 1 (trituración y trituración+prensado), la Pasta y el Bagazo mostraron altos contenidos de FI, especialmente el Bagazo de Recas. Sin embargo, esta fracción no se encontró en el Zumo. Por otro lado, el Puré, que se obtuvo del Procesado 2 (prensado+tamizado), mostró unos niveles de FI inferiores a los encontrados en Pasta y Bagazo, probablemente debido a las pérdidas de material insoluble que acompañan a este procesamiento.

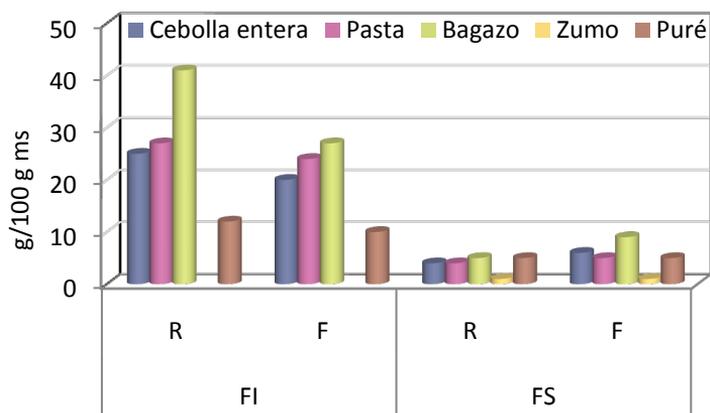
Al comparar los contenidos de fibra insoluble de los subproductos con los de cebolla entera (Figura 51), se observó que el Bagazo presentaba mayor contenido de FI que la cebolla entera, 35% más en Figueres y 63% más en Recas, lo que sugiere que el procesamiento para la obtención del Bagazo produjo un enriquecimiento en FI, debido principalmente al enriquecimiento en partes externas que presenta este subproducto. Por otro lado, la Pasta que se obtiene tras la trituración de las cebollas experimentó un incremento de FI con respecto a cebolla entera (19% en Figueres y 8% en Recas), probablemente debido a un efecto de concentración por pérdida de parte del agua de constitución de las cebollas. El Puré mostró menor contenido de FI que la cebolla entera, sugiriendo que el Procesado 2 no es adecuado para la obtención de subproductos enriquecidos en FI, ya que las partes más externas no pasan por el tamiz. En

consecuencia, el Bagazo de cebolla podría ser considerado una buena fuente de fibra insoluble y podría ser usado como ingrediente alimentario para el tratamiento del estreñimiento, ya que al ser rico en FI reduciría el tiempo del tránsito intestinal mediante el aumento de los movimientos peristálticos.

**Tabla 25.** Fracciones de fibra de los subproductos de cebolla (mg g<sup>-1</sup> ms)

	FI		FS		FS:FI	
	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres
<b>Pasta</b>						
Control	270±14B <sup>c</sup> <sub>b</sub>	242 ± 8 B <sup>c</sup> <sub>a</sub>	43 ±4B <sup>a</sup> <sub>a</sub>	45 ± 3 B <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1:6	1:5
Pasterización	241 ± 1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	199 ± 2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	73 ± 1 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	63 ± 1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	1:3	1:3
Esterilización	202 ± 6 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	168 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	102 ± 7 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	80 ± 3 <sup>c</sup> <sub>a</sub>	1:2	1:2
<b>Bagazo</b>						
Control	407 ±7C <sup>c</sup> <sub>b</sub>	273 ±20C <sup>b</sup> <sub>a</sub>	46 ±4B <sup>a</sup> <sub>a</sub>	88 ± 4D <sup>a</sup> <sub>b</sub>	1:9	1:3
Pasterización	334 ± 19 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	283 ± 8 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	118 ±2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	101 ± 8 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	1:3	1:3
Esterilización	287 ± 8 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	238 ± 9 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	121 ±4 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	105 ± 1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	1:2	1:2
<b>Zumo</b>						
Control	-	-	8 ± 1A <sup>a</sup> <sub>a</sub>	7 ± 0 A <sup>a</sup> <sub>a</sub>		
Pasterización			8 ± 0 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	12 ± 1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>		
Esterilización	-	-	14 ± 1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	18 ± 3 <sup>c</sup> <sub>a</sub>		
<b>Puré</b>						
Control	121 ±1A <sup>b</sup> <sub>b</sub>	95 ± 8 A <sup>b</sup> <sub>a</sub>	49 ±3B <sup>b</sup> <sub>a</sub>	54±4 C <sup>c</sup> <sub>a</sub>	1:2	1:2
Pasterización	104 ± 5 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	82 ±1 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	51± 2 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	38 ± 2 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	1:2	1:2
Esterilización	105 ±7 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	67 ± 2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	28 ±2 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	26 ± 1 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1:4	1: 3

Los valores son medias ± DE, n=6. Las medias dentro de una columna y subproducto con diferente superíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de la misma columna y control con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una fila y fracción de fibra con distinto subíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ .



**Figura 51.** Contenido de FI y FS de los subproductos de cebolla (g 100 g<sup>-1</sup> ms) (R: Recas; F: Figueres)

Por lo que respecta a la fibra soluble (FS), se pudo observar una gran variabilidad dependiendo del subproducto y la variedad. El contenido de FS en los subproductos de cebolla fue menor que aquéllos encontrados en otros subproductos de frutas y hortalizas, como los de melocotón y espárrago (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999b), pero superior al nivel de FS del salvado de cereales (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999a). En general, después del procesamiento (Figura 51) se encontró un descenso de la fracción soluble, excepto en el Bagazo de ambas variedades y la Pasta de Recas; la magnitud del cambio dependía del subproducto y de la variedad. Estos resultados sugieren que el Bagazo, así como otros concentrados de fibra obtenidos a partir de frutas y hortalizas, podrían ser usados como una buena fuente de fibra soluble en muchas aplicaciones alimentarias, como por ejemplo en dietas de adelgazamiento, gracias a la habilidad que tiene la fracción soluble para retener agua, aumentar la sensación de saciedad y disminuir la absorción de nutrientes (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999b).

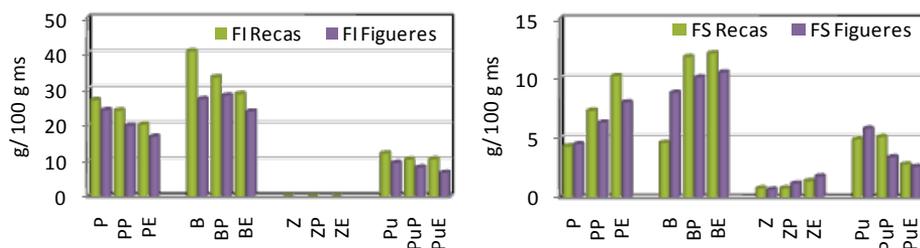
La relación FS:FI es importante para obtener los efectos fisiológicos asociados tanto a la fracción soluble como a la insoluble, además de estar relacionada con

propiedades estructurales y sensoriales que son importantes para usar la fibra alimentaria como ingrediente. Se considera que una fibra equilibrada debe proporcionar aproximadamente un 30% de FS (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999b). En este sentido, los subproductos de la variedad Figueres presentaron unas relaciones más próximas a la ideal que los subproductos de Recas (Tabla 25). En Bagazo y Puré de la variedad Figueres y en Puré de Recas la relación entre sus fracciones fue más equilibrada, siendo próxima a 1:3. En general, los subproductos de cebolla mostraron unas relaciones bajas comparadas con las de concentrados de fibra obtenidos a partir de otras frutas y verduras (pera 1:1,6 y naranjas 1:1,8), aunque superiores al salvado de trigo (1:14,1) (Grigelmo-Miguel, 1999b). El procesamiento para la obtención del Puré es el único que mejoró la relación FS:FI en la variedad Recas, ya que en Pasta no se vio modificada con respecto a cebolla entera y en Bagazo empeoraba.

Cuando los subproductos de cebolla se sometieron a tratamientos térmicos hubo un descenso significativo (11-30%) del contenido de FI de Pasta, Puré y Bagazo, salvo en Bagazo pasterizado de Figueres, siendo más drástica la reducción en los subproductos esterilizados (Figura 52). Rehman y col. (2003) encontraron que los contenidos de FI de diversos vegetales se reducían después del cocinado, y que las pérdidas eran aún mayores cuando se sometían a esterilización y pasterización, debido a las condiciones de presión y temperatura. Con respecto a la fracción soluble, se produjo un incremento en Pasta, Bagazo y Zumo como consecuencia del tratamiento térmico, probablemente debido a la solubilización de parte de la fracción insoluble. Por el contrario, la FS del Puré descendía.

El grado en el que aumentaron o disminuyeron las fracciones de fibra fue diferente en los distintos subproductos de cebolla, sugiriendo que los tratamientos térmicos producen cambios que son dependientes de la matriz del producto. Como consecuencia de las variaciones en FI y FS, la relación FS:FI aumentó a 1:3 en las Pastas y Bagazos pasterizados y a 1:2 en los productos esterilizados. Estas relaciones fueron similares a las encontradas en otras frutas y

hortalizas, y mejores que las observadas en el salvado de trigo y de avena (1:14 y 1:6, respectivamente) (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999b). De esta forma, los subproductos de cebolla tratados térmicamente mostraron una relación equilibrada entre sus fracciones lo que permitirá obtener los efectos fisiológicos asociados a ambas fracciones, como son la regulación intestinal, una considerable capacidad para ser fermentada y la reducción del colesterol, entre otras.



**Figura 52.** Efecto del tratamiento térmico sobre las fracciones de fibra alimentaria (g/ 100 g ms)

Los tratamientos térmicos podrían causar la ruptura de polisacáridos pécticos, ya que el calor provoca la degradación  $\beta$ -eliminativa en estos polisacáridos. La ruptura de los enlaces glucosídicos de los polisacáridos de la fibra alimentaria produciría la solubilización de la fibra insoluble. Asimismo, las reducciones de FI podrían ser atribuidas a la degradación parcial de celulosa y hemicelulosas (Rehman y col., 2003). En consecuencia, el tratamiento térmico daría lugar a una redistribución desde los componentes insolubles de la fibra hacia los solubles, produciendo además variaciones menores en el contenido total de fibra. Los cambios en las características químicas y en la solubilidad de los polisacáridos podrían tener importantes repercusiones a nivel fisiológico (Esteban y col., 1998).

A la vista de los resultados se puede concluir que los tratamientos térmicos producen diferencias tanto cualitativas como cuantitativas en la fibra presente

en los subproductos de cebolla y éstas pueden atribuirse tanto a la intensidad del tratamiento aplicado como a las distintas características del subproducto. De cualquier forma, las modificaciones de la fibra como consecuencia de los tratamientos térmicos resultan de gran interés desde el punto de vista nutricional, ya que el tratamiento térmico afecta a las propiedades físico-químicas, lo que podría repercutir en una modificación de sus efectos fisiológicos.

### **Composición de la fibra alimentaria**

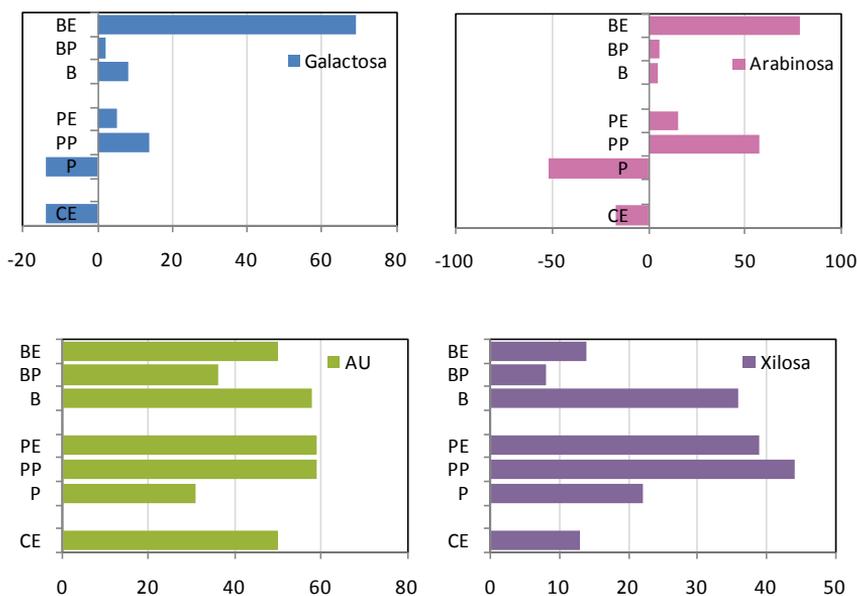
Las Tablas 26-28 muestran la composición en monosacáridos de las distintas fracciones de fibra, así como de la fibra total, en el Bagazo y la Pasta de la variedad Recas, subproductos que fueron seleccionados por su alto contenido en fibra y por su elevado rendimiento. En general, la fibra insoluble de los subproductos de cebolla, así como la de cebolla entera (Tabla 26) está compuesta principalmente por glucosa y ácidos urónicos, con contenidos importantes de galactosa, mientras que la xilosa, manosa y arabinosa están presentes en menores cantidades. La glucosa es de origen celulósico principalmente, ya que menos del 10% fue liberada con la hidrólisis 0,6 M. Por tanto, los principales polisacáridos de la fibra insoluble de los subproductos de cebolla fueron la celulosa y los poliurónidos, con menores cantidades de hemicelulosas.

Por otra parte, la galactosa, arabinosa y manosa en la cebolla entera y en la mayoría de los subproductos sin tratar térmicamente se muestran en igual o mayor nivel en la hidrólisis débil (0,6 M) que en la fuerte (12+0,6 M), mientras que los ácidos urónicos y la xilosa se liberan en mayor concentración en esta última (Figura 53). Este hecho podría indicar que la matriz celulósica está íntimamente relacionada con las hemicelulosas (probablemente xiloglucanos) y los polisacáridos pécticos, principalmente homogalacturonanos, mientras que arabinanos y galactanos estarían menos unidos a la celulosa.

**Tabla 26.** Composición de la FI de los subproductos de cebolla (mg g<sup>-1</sup> ms)

	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Hidrólisis	Azúcares							Azúcares totales	Lignina Klason	Celulosa	AU:AN <sup>1</sup>
		Celob	Glu	Xil	Gal/Ram	Ara	Man	AU				
<b>CE</b>												
	<b>12+0,6M</b>	13,5 ± 1,2	59,1 ± 5,4	6,1 ± 0,2	22,1 ± 1,4	2,3 ± 0,2	15,2 ± 1,3	50,8 ± 0,0	169,1 ± 6,2A	36,6 ± 2,1A	58 ± 1B	2,1
	<b>0,6M</b>	3,8 ± 0,3	4,8 ± 0,4	5,3 ± 0,3	25,2 ± 0,3	2,7 ± 0,2	17,8 ± 1,5	25,4 ± 1,1				
	% <sup>2</sup>	8	35	4	13	1	9	30				
<b>Pasta</b>												
Control	<b>12+0,6M</b>	14,7 ± 1,0	53,2 ± 1,6	8,6 ± 0,7	27,5 ± 2,1	2,5 ± 0,2	16,6 ± 0,8	60,0 ± 4,1	183,1 ± 5,0B <sup>c</sup>	43,6 ± 2,2B <sup>c</sup>	52 ± 1A <sup>b</sup>	2,1
	<b>0,6M</b>	4,8 ± 0,3	4,5 ± 0,4	6,7 ± 0,5	31,4 ± 1,7	3,8 ± 0,3	17,3 ± 0,6	41,3 ± 4,0				
	% <sup>2</sup>	8	29	5	15	1	9	33				
Pasterización	<b>12+0,6M</b>	10,3 ± 0,9	54,9 ± 5,1	5,4 ± 0,7	11,0 ± 1,0	3,0 ± 0,2	13,6 ± 1,1	46,4 ± 3,3	144,6 ± 13,0 <sup>b</sup>	35,9 ± 0,9 <sup>b</sup>	55 ± 2 <sup>b</sup>	2,8
	<b>0,6M</b>	2,4 ± 0,1	1,2 ± 0,1	3,0 ± 0,3	9,5 ± 0,8	1,3 ± 0,0	10,9 ± 1,0	19,0 ± 1,7				
	% <sup>2</sup>	7	38	4	8	2	9	32				
Esterilización	<b>12+0,6M</b>	8,4 ± 0,5	39,7 ± 0,7	4,6 ± 0,1	8,5 ± 0,8	1,3 ± 0,1	8,9 ± 0,3	44,3 ± 2,8	115,7 ± 4,3 <sup>a</sup>	28,3 ± 2,2 <sup>a</sup>	40 ± 1 <sup>a</sup>	4,7
	<b>0,6M</b>	2,3 ± 0,2	1,4 ± 0,0	2,8 ± 0,1	8,1 ± 0,3	1,1 ± 0,1	8,8 ± 0,0	18,3 ± 1,8				
	% <sup>2</sup>	7	34	4	7	1	8	38				
<b>Bagazo</b>												
Control	<b>12+0,6M</b>	21,4 ± 2,0	108,4 ± 10,4	14,0 ± 0,2	38,9 ± 3,5	6,3 ± 0,3	24,6 ± 0,6	111,2 ± 7,5	324,8 ± 8,0C <sup>c</sup>	60,8 ± 5,0C <sup>b</sup>	109 ± 9C <sup>c</sup>	2,4
	<b>0,6M</b>	n,d,	4,3 ± 0,2	9,0 ± 0,7	35,8 ± 0,3	6,0 ± 0,5	25,3 ± 1,2	46,3 ± 2,4				
	% <sup>2</sup>	6	34	4	12	2	8	34				
Pasterización	<b>12+0,6M</b>	22,6 ± 2,0	85,7 ± 7,3	13,0 ± 0,3	16,0 ± 0,8	3,6 ± 0,2	26,6 ± 2,2	78,1 ± 1,5	245,7 ± 16,0 <sup>b</sup>	61,6 ± 6,0 <sup>b</sup>	93 ± 4 <sup>b</sup>	4
	<b>0,6M</b>	n,d,	4,8 ± 0,3	11,9 ± 1,1	15,7 ± 0,1	3,4 ± 0,2	26,6 ± 2,3	49,7 ± 2,3				
	% <sup>2</sup>	9	35	5	7	1	11	32				
Esterilización	<b>12+0,6M</b>	18,3 ± 1,0	60,4 ± 2,8	7,0 ± 0,6	21,9 ± 0,3	5,9 ± 0,5	17,9 ± 1,6	53,0 ± 0,4	184,4 ± 3,7 <sup>a</sup>	36,6 ± 1,3 <sup>a</sup>	62 ± 3 <sup>a</sup>	1,9
	<b>0,6M</b>	2,5 ± 0,4	5,6 ± 0,5	6,0 ± 0,3	6,7 ± 0,2	4,6 ± 0,4	9,9 ± 0,1	26,5 ± 1,3				
	% <sup>2</sup>	10	33	4	12	3	10	29				

Los valores son medias ± DE, n=6. Las medias dentro de una columna y subproducto con diferente superíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de la misma columna y control con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . <sup>1</sup> AN= Gal + Ara. <sup>2</sup> porcentaje de cada azúcar con respecto a los azúcares totales en la hidrólisis 12+ 0,6M.

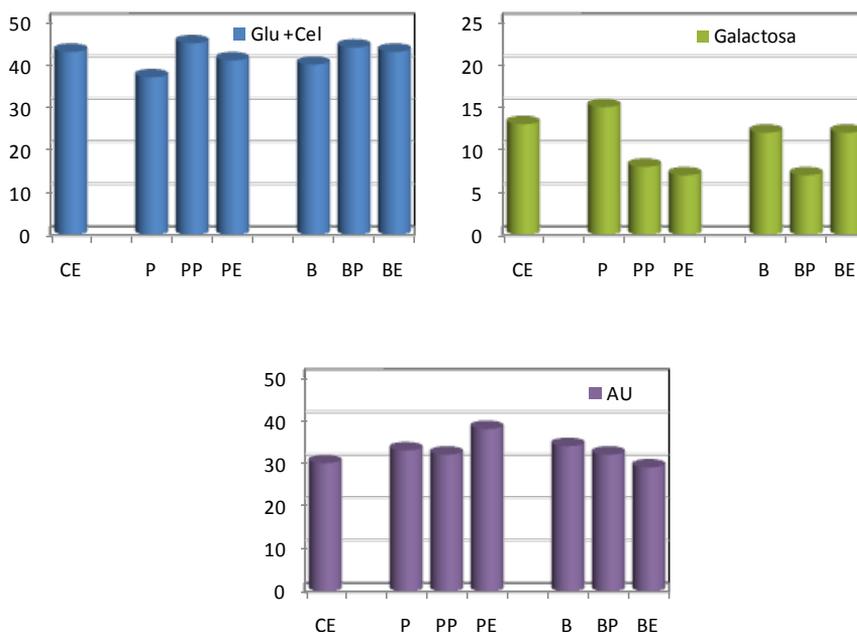


**Figura 53.** Diferencias entre hidrólisis fuerte y suave  $[(12+0,6M)-(0,6M)/(12+0,6M)] \times 100$

Aunque en esencia la composición de la FI de cebolla entera y de los subproductos es bastante similar, el proceso de obtención de los mismos produjo diferencias tanto cualitativas como cuantitativas en la misma. Así, existen diferencias significativas en cuanto al contenido de azúcares totales y lignina, observándose un incremento de estos tras ambos procesamientos, aunque destaca el enriquecimiento producido en la obtención del Bagazo. Además, también se encontraron diferencias en cuanto a la composición de la fibra, ya que el procesamiento para obtener el Bagazo produjo una FI más rica en polisacáridos (84%) y con menor proporción de lignina (16%) que el procesamiento para la obtención de la Pasta (81 y 19%, respectivamente), cuya composición resultó muy similar a la de cebolla entera.

En cuanto al perfil de azúcares, en la FI de los subproductos se apreció un ligero aumento de los ácidos urónicos con respecto a la cebolla entera, compensado por una disminución en la contribución de glucosa y celobiosa (Figura 54),

siendo más acusada esta disminución en la Pasta. Además, la FI de la Pasta resulta enriquecida en galactosa con respecto a la FI de cebolla entera. En consecuencia, la relación AU:AN (ácidos urónicos: azúcares neutros) que muestra la FI de la Pasta no varía con respecto a la de cebolla entera, mientras que el Bagazo presenta una relación AU:AN más elevada, lo que indicaría una mayor contribución de los homogalacturonanos en comparación con la FI de cebolla entera.



**Figura 54.** Contribución (%) de azúcares al total de azúcares de la FI.

Al comparar los subproductos entre sí se observó que el perfil de azúcares de la fibra insoluble del Bagazo mostró mayor porcentaje de glucosa y menor porcentaje de galactosa (respecto al total de azúcares) que el de la Pasta (Figura 54), lo que indicaría que la FI del Bagazo tiene mayor proporción de celulosa y menos galactanos que la FI de la Pasta. Además, la relación AU:AN de FI fue menor en la Pasta que en el Bagazo sugiriendo que los polisacáridos pécticos de

la Pasta son más ramificados que los del Bagazo, lo que podría afectar a las propiedades funcionales de estos subproductos.

A la vista de los resultados se puede decir que en los subproductos se aprecia una ligera disminución en la contribución de la glucosa de origen celulósico con respecto a la cebolla entera. Asimismo, hay que destacar diferencias en la naturaleza de las sustancias pécticas, especialmente en el Bagazo, donde se observa una menor presencia de polisacáridos pécticos ramificados, lo que se deduce por la mayor relación AU:AN que presenta. Estos hechos se deben probablemente a la pérdida de partes carnosas del bulbo de cebolla durante el procesamiento, especialmente en la obtención de Bagazo, lo que origina no sólo un enriquecimiento en FI, sino también un cambio en su naturaleza. En estudios realizados con otras variedades de cebolla (Jaime y col., 2002) se pudo observar que los polisacáridos pécticos son más ramificados en la parte interna de la cebolla que en las partes externas. Esto último podría estar relacionado con la pérdida de cadenas laterales de galactosa en las hojas más viejas (piel), posiblemente debida a la actividad galactosidasa, lo que podría incrementar el grado de entrecruzamiento de las cadenas de ácido poligalacturónico y, en consecuencia, las características de firmeza de los tejidos.

El tratamiento térmico, en general, produjo un descenso en la cantidad de FI de los subproductos, siendo esta disminución más acusada cuanto mayor es la intensidad del tratamiento. Los resultados de FI obtenidos por el método enzimático-gravimétrico ya sugerían este efecto del calor sobre la FI de los subproductos de cebolla variedad Recas. Las reducciones de FI se deben tanto a reducciones en los azúcares totales como en la lignina Klason, aunque los cambios fueron diferentes dependiendo del subproducto, siendo más drásticos en el Bagazo.

En los productos tratados con calor todos los azúcares fueron superiores en la hidrólisis 12 M+0,6 M que en la de 0,6 M (Figura 53). Estos resultados indican

que los arabinanos y especialmente los galactanos que permanecen formando parte de la FI de los subproductos tratados térmicamente son poco accesibles por estar unidos fuertemente a la celulosa. El Bagazo esterilizado parece ser el producto que presenta una unión más fuerte de sus galactanos a la celulosa, ya que con la hidrólisis suave se reduce en un 69% la liberación de galactosa, en comparación con la reducción del 8% en el Bagazo control. En el caso de los polisacáridos pécticos ácidos, en las Pastas tratadas con calor el porcentaje de urónicos liberados en la hidrólisis 0,6 M disminuye en un 57% con respecto a la hidrólisis fuerte, mientras que en el producto sin tratar la reducción es sólo del 30%. Estas diferencias en los porcentajes parecen indicar que los poliuronidos que permanecen en la FI de las Pastas tratadas con calor son aquéllos que están más unidos a la celulosa, y por tanto menos accesibles durante la hidrólisis suave. Sin embargo, en el Bagazo se observó el efecto contrario ya que disminuyen las diferencias entre ambas hidrólisis (42% en los Bagazos tratados y 57% en el Bagazo control), es decir el calor parece inducir una mayor accesibilidad de los poliuronidos.

En general, todos los azúcares constituyentes de la FI, así como la lignina, experimentaron una reducción neta como consecuencia del calor, sin embargo, dicha pérdida no se produjo en la misma proporción para todos ellos. Así, en la Pasta el tratamiento térmico ocasionó varios cambios en la composición de FI, sobre todo en la distribución de los principales azúcares neutros y en los ácidos urónicos (Figura 54). El cambio más drástico fue la reducción en la contribución de la galactosa de un 15% a un 8 ó 7% en función del tratamiento. Los ácidos urónicos también variaron algo en función del tratamiento, siendo mayor su contribución cuando el tratamiento térmico fue más intenso (Pasta esterilizada). Todo ello se tradujo en una pérdida de ramificaciones de los polisacáridos pécticos y, en consecuencia, en el aumento de la relación AU:AN. Asimismo, se observó un incremento de la proporción relativa de glucosa-celobiosa en las Pastas tratadas térmicamente derivado de la considerable disminución de los galactanos.

En el Bagazo, el tratamiento térmico también produjo cambios en la naturaleza de FI, aunque diferentes a los encontrados en la Pasta (Figura 54). En este caso, la aportación de los ácidos urónicos al total de carbohidratos disminuía a medida que aumentaba el tratamiento térmico. Estos resultados podrían estar relacionados con los obtenidos en la hidrólisis 0,6 M, que indicaban una mayor accesibilidad de los poliurónidos y, en consecuencia, parte de los mismos habrían podido solubilizarse transformándose en fibra soluble.

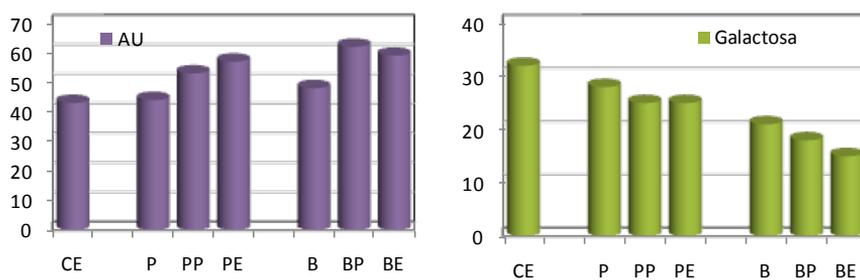
La composición de carbohidratos de la FS en los subproductos de cebolla se encuentra reflejada en la Tabla 27 y Figura 55. Los ácidos urónicos y la galactosa fueron los principales componentes, tanto en la cebolla entera como en los subproductos, representando más del 70% de los azúcares totales, mientras que la xilosa y arabinosa se encontraron en pequeñas concentraciones. Por lo tanto, los polisacáridos pécticos con cadenas laterales de galactosa serían los principales componentes de la fibra soluble de la cebolla entera y sus subproductos. Al comparar los resultados se apreció en ambos subproductos un mayor contenido total de azúcares que en la materia prima inicial. No obstante, la naturaleza de la FS de la Pasta es bastante similar a la correspondiente a cebolla entera, lo que queda reflejado en la relación AU:AN en ambas muestras (1,3-1,4). Por el contrario, el perfil de azúcares constituyentes de la FS del Bagazo mostró una menor presencia de galactosa frente a una predominancia de ácidos urónicos, lo que indica la existencia de polisacáridos pécticos menos ramificados.

El tratamiento térmico provocó, en general, un incremento de FS en los subproductos, especialmente de la Pasta, incremento que fue más acusado cuanto mayor era la intensidad del tratamiento térmico. Estos resultados corroboran los obtenidos por el método enzimático-gravimétrico.

**Tabla 27.** Composición de la FS de los subproductos de cebolla (mg g<sup>-1</sup> ms)

	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		Azúcares						Azúcares	
	Hidrólisis	Celob	Glu	Xil	Gal/Ram	Ara	Man	AU	Totales	AU:AN <sup>1</sup>
<b>CE</b>										
	<b>0,6M</b>	n.d.	2,1 ± 0,2	n.d.	15,3 ± 1,2	0,7 ± 0,0	10,0 ± 0,1	20,6 ± 0,3	48,7 ± 2,1A	1,3
	% <sup>2</sup>		4		32	1	20	43		
<b>Pasta</b>										
Control	<b>0,6M</b>	n.d.	3,2 ± 0,3	2,1 ± 0,1	17,5 ± 1,6	1,1 ± 0,0	11,0 ± 0,2	26,7 ± 1,4	61,6 ± 1,3 C <sup>a</sup>	1,4
	% <sup>2</sup>		5	3	28	2	18	44		
Pasterización	<b>0,6M</b>	n.d.	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,2	16,6 ± 1,3	0,5 ± 0,0	10,4 ± 0,7	35,9 ± 1,8	67,4 ± 2,3 <sup>b</sup>	2,1
	% <sup>2</sup>		3	3	25	1	15	53		
Esterilización	<b>0,6M</b>	n.d.	2,2 ± 0,2	n.d.	19,7 ± 1,6	0,5 ± 0,0	11,3 ± 1,4	45,4 ± 3,9	79,1 ± 1,7 <sup>c</sup>	2,2
	% <sup>2</sup>		3		25	1	14	57		
<b>Bagazo</b>										
Control	<b>0,6M</b>	n.d.	2,4 ± 0,1	2,0 ± 0,0	11,7 ± 0,7	1,6 ± 0,1	11,5 ± 0,5	27,0 ± 2,1	56,2 ± 1,2B <sup>a</sup>	2,0
	% <sup>2</sup>		4	4	21	3	20	48		
Pasterización	<b>0,6M</b>	n.d.	2,4 ± 0,2	n.d.	14,0 ± 1,0	n.d.	10,8 ± 1,5	44,8 ± 3,0	72,0 ± 1,8 <sup>b</sup>	3,2
	% <sup>2</sup>		3		18		14	62		
Esterilización	<b>0,6M</b>	n.d.	4,0 ± 0,1	2,2 ± 0,2	8,5 ± 0,3	3,7 ± 0,2	6,1 ± 0,5	33,6 ± 0,4	58,1 ± 2,1 <sup>a</sup>	2,7
	% <sup>2</sup>		7	4	15	6	10	59		

Los valores son medias ± DE, n=6. Las medias dentro de una columna y subproducto con diferente superíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de la misma columna y control con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . <sup>1</sup> AN= Gal + Ara. <sup>2</sup> porcentaje de cada azúcar con respecto a los azúcares totales.



**Figura 55.** Contribución (%) de ácidos urónicos (AU) y galactosa al total de azúcares de la FS

El análisis de azúcares puso de manifiesto los cambios producidos por el calor en la naturaleza de la FS. En este sentido, se observó que los tratamientos térmicos provocaron un aumento de ácidos urónicos debido probablemente a su solubilización desde la fracción insoluble de fibra. Además, ocasionaron una pérdida de cadenas de galactanos, especialmente en el Bagazo. Ambos hechos se traducen en que el perfil de azúcares de la FS en los subproductos estabilizados térmicamente se va enriqueciendo en poliurónidos, en detrimento de los polisacáridos pécticos neutros. En estudios previos sobre el efecto de los tratamientos térmicos en la fibra, se vio que el calor producía despolimerización, solubilización y degradación de los polisacáridos pécticos (Valiente y col., 1994; Colin-Henrion y col., 2009).

La composición de la FT como suma de sus fracciones se muestra en la Tabla 28. Los resultados indicaron que la fibra alimentaria de la cebolla entera y los subproductos está formada principalmente por polisacáridos pécticos y por celulosa. En la Pasta se pudo apreciar un cierto enriquecimiento en polisacáridos pécticos neutros (galactosa y arabinosa) en comparación con la materia prima de partida (cebolla entera), además de una pequeña pérdida de tejidos ricos en celulosa. Por el contrario, el Bagazo es un producto donde quedan incluidos tejidos de cebolla proporcionalmente más ricos en celulosa y poliurónidos que en polisacáridos pécticos ramificados (galactanos), esto último en concordancia

con una mayor presencia de partes externas de cebolla (Jaime y col, 2002). Por tanto, la FT del Bagazo es más rica en celulosa que la FT de la Pasta y sus polisacáridos pécticos están menos ramificados.

El tratamiento térmico produjo pérdidas en la cantidad de FT, como consecuencia del descenso de los contenidos de azúcares totales y lignina. Además, estas pérdidas fueron mayores cuanto más intenso era el tratamiento térmico. Estos mismos efectos fueron observado previamente por otros autores (Femenia y col., 2003; Rehman y col., 2003; Garau y col., 2007). Por otra parte, los tratamientos térmicos dieron lugar a un ligero incremento en la contribución de los polisacáridos al total de la fibra, excepto en el Bagazo pasterizado, con el consecuente descenso en la contribución de la lignina.

Los cambios promovidos por el tratamiento térmico a distintas temperaturas modificaron el contenido de polisacáridos y su distribución en las dos fracciones de fibra. Esto se podría deber a que el calor libera algunas hemicelulosas y pectinas que están unidas a otros componentes celulares, lo que explicaría el aumento de la fibra soluble, es decir, se produciría una redistribución interna de la fibra. Asimismo, otra consecuencia del calentamiento sería la degradación de la fibra soluble de alto peso molecular a fragmentos más pequeños, con la consiguiente pérdida de los mismos.

El análisis pormenorizado de los azúcares mostró diferencias en la magnitud en que se perdían los diferentes componentes de la fibra. La pérdida de galactanos fue la más acusada y deriva de la disminución de estos polisacáridos en ambas fracciones de fibra. Estos hechos suponen, además de una reducción en el contenido de fibra de los productos tratados con calor, una relativa modificación de su naturaleza, diferente según el producto. En este sentido, la Pasta pasterizada y/o esterilizada es proporcionalmente más rica en polisacáridos pécticos ácidos (ácidos urónicos) que la Pasta control, mientras que en el Bagazo sólo se observó esto en el producto pasterizado. El mismo efecto fue encontrado

**Tabla 28.** Composición de la FT de los subproductos de cebolla

FT	Azúcares totales	Azúcares (%) <sup>1</sup>							Polisacáridos totales	lignina			UA:NS <sup>4</sup>
		Celob.	Glu	Xil	Gal/Ram	Ara	Man	AU		Klason	Celulosa	FT <sup>3</sup>	
mg g <sup>-1</sup> ms									% <sup>2</sup>	% <sup>2</sup>	% <sup>2</sup>	mg g <sup>-1</sup> ms	
<b>CE</b>	218	6	28	3	17	1	12	33	85	15	23	255	1,8
<b>Pasta</b>													
Control	245	6	23	4	19	2	11	35	84	16	18	289	1,8
Pasterización	212	5	27	3	13	2	11	39	85	15	24	248	2,6
Esterilización	195	4	23	2	14	1	10	46	88	12	18	223	3,0
<b>Bagazo</b>													
Control	381	6	29	4	13	2	10	36	86	14	25	442	2,4
Pasterización	318	7	28	4	9	1	12	39	84	16	24	380	3,9
Esterilización	242	8	26	4	12	4	10	36	88	12	23	274	2,2

<sup>1</sup> porcentaje de cada azúcar con respecto al total de azúcares.

<sup>2</sup> porcentaje de FT

<sup>3</sup>FT=azúcares totales + lignina Klason

<sup>4</sup>AN= Gal+Ara

por Ralet y col. (1993) después de la cocción-extrusión de la cubierta del guisante. El hecho de que el Bagazo esterilizado no muestre un enriquecimiento en poliuronidos podría deberse al efecto del calor sobre la accesibilidad de los mismos, lo que provocaría no sólo su solubilización, sino también su degradación y pérdida parcial.

## **Conclusiones**

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten conocer las diferencias que existen entre los distintos subproductos de cebolla en relación con las propiedades físico-químicas que presentan y la composición de la fibra. En este sentido, hay que destacar que el Bagazo (obtenido mediante trituración y prensado) muestra unas propiedades óptimas, al tratarse del producto menos denso, con una mayor capacidad de retención de aceite, de intercambio catiónico y de gelificación, junto con unas excelentes propiedades de hidratación. Estas características se deben principalmente al elevado contenido de fibra de este subproducto así como a la composición de la misma.

La fibra alimentaria de los subproductos de cebolla está formada principalmente por celulosa y polisacáridos pécticos, con menores cantidades de hemicelulosas, probablemente xiloglucanos, en estrecha asociación con la matriz celulósica, junto con un bajo nivel de lignina.

En el caso del Bagazo, su fibra es proporcionalmente más rica en celulosa y en polisacáridos pécticos ácidos, posiblemente con un alto grado de entrecruzamiento, lo que influye en las características de firmeza de este material. Las excelentes propiedades de hidratación que muestra este subproducto estarían relacionadas con el elevado contenido en fibra insoluble, concretamente en polisacáridos, cuya naturaleza hidrofílica le confiere una buena capacidad de retención de agua y de hinchamiento. Asimismo, se trata de una fibra rica en ácidos urónicos, lo que se relacionaría con su elevada capacidad de intercambio catiónico.

La presencia de lignina, con su capacidad para unir ácidos biliares, estaría involucrada con el efecto hipocolesterolémico asociado a la ingestión de fibra, y su naturaleza hidrofóbica justificaría la mayor capacidad de retención de aceite que presenta el Bagazo.

A todo esto hay que añadir que este subproducto es el que presenta una menor densidad aparente, lo que implica una mayor porosidad y área superficial, permitiendo así una mayor exposición de los grupos de unión al agua, aceite y cationes.

Los tratamientos térmicos aplicados a los subproductos para su estabilización provocan, por lo general, un relativo empeoramiento de sus propiedades físico-químicas, más acusado en el caso de la esterilización. Esto se debe en parte a una disminución de la porosidad, con la consecuente reducción del área superficial, y a un cambio en el contenido y naturaleza de la fibra. La fibra total disminuye, lo que se corresponde con una marcada reducción de la fibra insoluble, acompañada de un aumento, menos acusado, de la fracción soluble. La pérdida de fibra insoluble explicaría el descenso en la capacidad de hinchamiento de los subproductos. El cambio más drástico es la pérdida de galactanos en ambas fracciones de fibra, permaneciendo en la fibra insoluble aquéllos que están fuertemente unidos a la celulosa. Además, también disminuyen los ácidos urónicos, lo que explicaría el descenso que se produce en la capacidad de intercambio catiónico.

A pesar de estos cambios, el Bagazo estabilizado por Pasterización presenta unas propiedades físico-químicas óptimas, manteniendo inalteradas su capacidad de gelificación y su capacidad de retención de agua, lo que permitiría en principio su empleo como ingrediente alimentario rico en fibra.



## CAPÍTULO 4. OBTENCIÓN DE CONCENTRADOS DE FIBRA A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE CEBOLLA: PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN

### **Interés del estudio**

La obtención de un residuo rico en fibra de una forma sencilla y económica presenta un gran interés y la evaluación de sus propiedades físico-químicas para estimar sus posibles efectos fisiológicos constituye una información muy valiosa para la inclusión de estos concentrados como ingredientes funcionales en un amplia gama de alimentos.

En este sentido, el objetivo de esta parte del estudio se centraba en la obtención de concentrados de fibra a partir de los subproductos de cebolla y en el análisis de sus propiedades físico-químicas y su composición. Además, se llevó a cabo una evaluación comparativa de la composición de estos concentrados y de la fibra obtenida por el método enzimático-gravimétrico. Asimismo, se compararon las propiedades físico-químicas concentrados con las de los subproductos de origen.

### **Obtención del concentrado de fibra**

La obtención de concentrados de fibra a partir de los subproductos de cebolla se realizó mediante una extracción etanólica, proceso tras el cual se consigue un residuo insoluble en alcohol (RIA), rico en fibra alimentaria, compuesto principalmente por paredes celulares, libre de aromas y de carbohidratos no estructurales.

Los subproductos seleccionados para la obtención de los concentrados de fibra fueron la Pasta y el Bagazo, de ambas variedades, por sus altos contenidos de fibra y las buenas propiedades físico-químicas mostradas (Capítulo 3). Asimismo, se analizó el concentrado de fibra obtenido de la cebolla entera, con

el fin de observar el efecto del procesamiento industrial empleado para la obtención de dichos subproductos

Cada subproducto mostró un rendimiento diferente en la obtención del concentrado de fibra (Tabla 29). Asimismo, la comparación entre variedades puso de manifiesto que Recas presentaba un rendimiento superior, lo que indica una mayor riqueza en paredes celulares. Estos resultados concuerdan con los obtenidos para fibra alimentaria. Por otro lado, el subproducto que mostró el mayor contenido de RIA fue el Bagazo congelado (control) que presentaba rendimientos del 41% y 58% en Figueres y Recas, respectivamente. El rendimiento del RIA depende mucho del tipo de producto que se estudie. Así, Robertson y col. (2000) encontraron unos rendimientos de 95,3, 69 y 48,5% para cubierta de guisante, pulpa de manzana y pulpa de cítricos, respectivamente, mientras que en otros estudios se obtuvieron unos rendimientos de 36,7% para la pulpa de mango (Gourge y col., 1992), de 51,5% para la piel de naranja dulce (Chau y Huang, 2003) y de 58,2% para Bagazo de la fruta estrella o carambola (Chau y col., 2004a).

**Tabla 29.** Rendimiento de los concentrados de fibra (%)

	<b>Recas</b>	<b>Figueres</b>
<b>Cebolla entera</b>	26 ± 1A <sub>b</sub>	22 ± 1A <sub>a</sub>
<b>Pasta</b>		
Control	33±2B <sub>c<sub>b</sub></sub>	29±2B <sub>c<sub>a</sub></sub>
Pasterización	25±1 <sub>b<sub>b</sub></sub>	20± 2 <sub>b<sub>a</sub></sub>
Esterilización	16±1 <sub>a<sub>a</sub></sub>	17±1 <sub>a<sub>a</sub></sub>
<b>Bagazo</b>		
Control	58 ±3C <sub>c<sub>b</sub></sub>	41 ±2C <sub>c<sub>a</sub></sub>
Pasterización	50±1 <sub>b<sub>b</sub></sub>	39 ±3 <sub>b<sub>a</sub></sub>
Esterilización	40± 2 <sub>a<sub>b</sub></sub>	34± 1 <sub>a<sub>a</sub></sub>

Los valores son medias ± DE, n=6. Las medias dentro de una columna y subproducto con diferente superíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de la misma columna y control con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una fila con distinto subíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ .

El procesamiento de la cebolla para la obtención de los subproductos produjo un aumento del rendimiento en RIA. En el caso del Bagazo se produce una concentración en paredes celulares, lo que explicaría el alto rendimiento encontrado. Asimismo, durante la trituración de la cebolla para la obtención de la Pasta, parece producirse también una concentración de tejidos ricos en paredes celulares, probablemente por pérdida de líquido.

El tratamiento térmico de los subproductos de cebolla dio lugar en todos los casos a un descenso del rendimiento en RIA, y cuanto mayor era la intensidad del tratamiento más drástica fue esta disminución (Tabla 29). Hay que indicar que el tratamiento térmico induce la fragmentación, degradación y solubilización de las pectinas (Valiente y col, 1994; Colin-Henrion y col., 2009), lo que explicaría el descenso en la cantidad de RIA.

### **Propiedades físico-químicas**

La fibra alimentaria incluye gran diversidad de macromoléculas que exhiben una amplia variedad de propiedades físico-químicas que son responsables de algunos de sus efectos fisiológicos, además de tener gran importancia tecnológica. Las propiedades físico-químicas varían entre las diferentes fibras y dependen fundamentalmente de su origen (frutas, hortalizas, cereales), de la composición química de la fibra (las fibras externas suelen ser muy celulósicas, mientras que las internas contienen más sustancias pécticas), de su estructura y del procesamiento al que ha sido sometido el material (Guillon y Champ, 2002).

Desde el punto de vista tecnológico, la fibra alimentaria se ha utilizado por sus características como agente texturizante y para aumentar el volumen, particularmente en la elaboración de alimentos bajos en calorías, cualidades que dependen esencialmente de sus propiedades hídricas, como la capacidad de absorber agua (Oakenfull, 2001; Yeh y col., 2005).

Las propiedades físico-químicas se determinaron en los concentrados de fibra para evaluar su potencial aplicación como ingredientes alimentarios ricos en fibra y compararlas con las correspondientes a los subproductos de origen. Las propiedades estudiadas fueron la densidad aparente, la capacidad de retención de aceite, la capacidad de intercambio catiónico, la capacidad de gelificación y las propiedades de hidratación (capacidad de retención de agua y capacidad de hinchamiento). El resumen de los resultados obtenidos aparece reflejado en la Tabla 30, donde también se muestran los datos correspondientes a la celulosa, que se analizó como referencia.

#### *Densidad aparente*

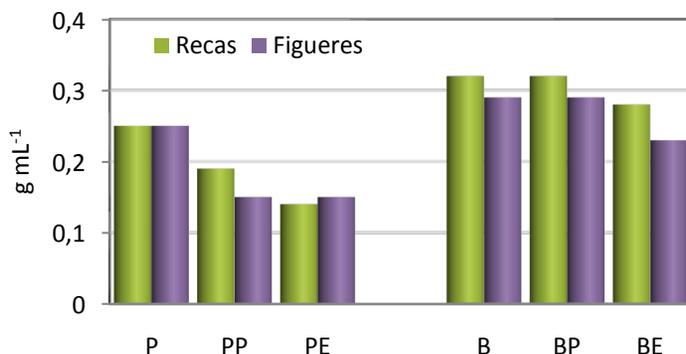
La densidad aparente (DA) de los concentrados de fibra de los subproductos congelados (control) presentaba un valor medio de alrededor de  $0,30 \text{ g mL}^{-1}$ , siendo este valor menor que el de la celulosa, lo que indica que los concentrados de fibra son menos densos que la celulosa y, por tanto, más porosos, hecho que influirá en el resto de propiedades físico-químicas, ya que tendrán mayor área superficial expuesta para unir distinto tipo de sustancias. El concentrado de fibra de Pasta era el subproducto menos denso y, por tanto, más poroso. En general, un valor bajo de densidad aparente indica que tiene una gran superficie y está relacionado con un alta capacidad de retener agua y de hinchamiento (Yeh y col., 2005). Al comparar con el concentrado de fibra de cebolla entera se deduce que el proceso de obtención de los subproductos produjo un aumento de la densidad aparente de los concentrados de fibra. Por tanto, el procesamiento industrial empeora esta propiedad, aunque en cualquier caso los resultados de DA son inferiores a los referidos en otros estudios sobre concentrados de fibra (RIA) procedentes de ciertas frutas y hortalizas (Grigelmo-Miguel y col., 1999; Chau y Huang, 2003, 2004; Chau y col., 2004ad), pero superiores al del subproducto de la elaboración de salsa de soja (Yeh y col., 2005).

**Tabla 30.** Propiedades físico-químicas de los concentrados de fibra

	DA (g mL <sup>-1</sup> )		CRAc (ml g <sup>-1</sup> RIA)		CIC (meq kg <sup>-1</sup> RIA)		MCG (%)		CRA (mL g <sup>-1</sup> RIA)		CH (mL g <sup>-1</sup> RIA)	
	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres	Recas	Figueres
<b>Celulosa</b>	0,50±0,00D	0,50±0,00D	3,0±0,0A	3,0±0,0A	11±1A	11±1A	4 A	4 A	5,0±0,0A	5,0±0,0A	4,0±0,0A	4,0±0,0A
<b>Cebolla entera</b>	0,14±0,00A <sub>a</sub>	0,17±0,00A <sub>b</sub>	7,4±0,2D <sub>b</sub>	6,7±0,3 C <sub>a</sub>	188±3C <sub>a</sub>	189±1C <sub>a</sub>	14 C <sub>b</sub>	8 B <sub>a</sub>	10,0±0,1B <sub>a</sub>	10,0±0,0B <sub>a</sub>	22,5±1,0C <sub>a</sub>	23,5±1,5C <sub>a</sub>
<b>Pasta</b>												
Control	0,25±0,00B <sub>c</sub> <sub>a</sub>	0,25±0,00B <sub>b</sub> <sub>a</sub>	6,8±0,1C <sub>b</sub> <sub>a</sub>	7,0±0,1C <sub>b</sub> <sub>a</sub>	154±7B <sub>a</sub> <sub>a</sub>	149±6B <sub>b</sub> <sub>a</sub>	8 B <sub>a</sub> <sub>a</sub>	8 B <sub>a</sub> <sub>a</sub>	9,7±0,2B <sub>c</sub> <sub>a</sub>	9,8±0,1B <sub>b</sub> <sub>a</sub>	19,0±0,0B <sub>c</sub> <sub>a</sub>	19,5±1,0B <sub>a</sub> <sub>a</sub>
Pasterización	0,19±0,00 <sub>b</sub> <sub>b</sub>	0,15±0,00 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	6,0±0,4 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	6,8±0,0 <sub>a</sub> <sub>b</sub>	152±5 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	148±6 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	8 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	8 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	8,6±0,2 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	9,2±0,4 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	14,0±0,0 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	17±1,0 <sub>b</sub> <sub>b</sub>
Esterilización	0,14±0,01 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	0,15±0,00 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	7,4±0,2 <sub>c</sub> <sub>a</sub>	8,0±0,0 <sub>c</sub> <sub>b</sub>	150±8 <sub>a</sub> <sub>b</sub>	132±8 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	8 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	8 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	8,0±0,0 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	9,0±0,2 <sub>a</sub> <sub>b</sub>	16,0±0,5 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	18,5±0,0 <sub>a</sub> <sub>b</sub>
<b>Bagazo</b>												
Control	0,32±0,00C <sub>b</sub> <sub>b</sub>	0,29±0,00C <sub>b</sub> <sub>a</sub>	5,0±0,4B <sub>a</sub> <sub>a</sub>	5,5±0,1B <sub>a</sub> <sub>b</sub>	218±12D <sub>b</sub> <sub>a</sub>	203±9D <sub>b</sub> <sub>a</sub>	8 B <sub>a</sub> <sub>a</sub>	8 B <sub>a</sub> <sub>a</sub>	9,6±0,1B <sub>b</sub> <sub>a</sub>	9,6±0,1B <sub>c</sub> <sub>a</sub>	18,5±1,0B <sub>c</sub> <sub>a</sub>	19,0±0,0B <sub>b</sub> <sub>a</sub>
Pasterización	0,32±0,00 <sub>b</sub> <sub>b</sub>	0,29±0,00 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	6,0±0,2 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	6,0±0,2 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	180±9 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	185±5 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	12 <sub>b</sub> <sub>b</sub>	8 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	8,1±0,1 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	9,0±0,2 <sub>b</sub> <sub>b</sub>	12,0±0,1 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	14,0±0,5 <sub>a</sub> <sub>b</sub>
Esterilización	0,28±0,00 <sub>a</sub> <sub>b</sub>	0,23±0,00 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	6,0±0,4 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	6,2±0,2 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	179±6 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	180±4 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	12 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	12 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	7,9±0,3 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	8,2±0,5 <sub>a</sub> <sub>a</sub>	12,5±0,7 <sub>b</sub> <sub>a</sub>	14,0±0,4 <sub>a</sub> <sub>a</sub>

Los valores son medias ± DE, n=6. Las medias dentro de una columna y subproducto con diferente superíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de la misma columna y control con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una fila y propiedad con distinto subíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ .

El efecto de los tratamientos térmicos de estabilización en la densidad aparente se encuentra representado en la Figura 56. En ella se observa cómo el tratamiento térmico ocasionó un descenso de la densidad aparente de los concentrados de fibra (RIA), a excepción del Bagazo pasterizado. Por tanto, en general, se puede decir que la densidad aparente de los concentrados de fibra es una propiedad que mejora con el tratamiento térmico.



**Figura 56.** Efecto del tratamiento térmico sobre la DA de los concentrados de fibra (g mL<sup>-1</sup>)

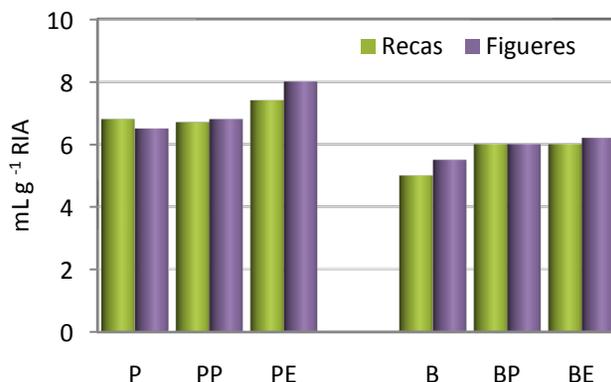
#### *Capacidad de retención de aceite*

Esta propiedad indica la capacidad que tiene la fibra alimentaria aislada para atrapar aceite, lo que le confiere interesantes propiedades tecnológicas y fisiológicas.

El concentrado de fibra de la cebolla entera presentó una alta capacidad de retención de aceite, superior a la encontrada en la celulosa. El procesamiento industrial de las cebollas produjo, en general, un descenso de la CRAc, aunque los concentrados de fibra de todos los subproductos de cebolla mostraban mayor CRAc que la celulosa, y superior también en la mayoría de los casos a los resultados obtenidos por otros autores (1,86-5,09 mL g<sup>-1</sup>) para concentrados de fibra de diversos vegetales, como por ejemplo los procedentes de la elaboración de salsa de soja, del bagazo de zanahoria, de semillas de fruta de la pasión, de

carambola y del subproducto de naranja dulce (Chau y Huang, 2003,2004; Chau y col., 2004ad; Yeh y col., 2005). Los concentrados de Pasta de cebolla presentaban los valores más altos de esta propiedad. Estos buenos resultados pueden estar relacionados con la baja DA, lo que supondría una mayor área superficial, quedando más expuestos los grupos capaces de adsorber o unir componentes de naturaleza grasa (Yeh y col., 2005). La CRAC va a depender de las propiedades de superficie, sobre todo de la densidad de carga y del grosor, así como de la naturaleza hidrofóbica de la partícula de fibra (López y col., 1996; Femenia y col., 1997).

Debido a su alta CRAC estos concentrados podrían usarse para mejorar la estabilidad de alimentos con alto porcentaje de grasas y de emulsiones, como ocurre con los subproductos procedentes de otras industrias como la de cítricos (Grigeldo-Miguel y Martín-Belloso, 1999a).



**Figura 57.** Efecto del tratamiento térmico sobre la CRAC de concentrados de fibra (mL g<sup>-1</sup> RIA)

Los tratamientos térmicos provocaron un ligero aumento de la CRAC en los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla, más destacado en los concentrados esterilizados, como aparece reflejado en la Figura 57. Esto podría ser debido al descenso de la densidad aparente que acompaña al tratamiento térmico. Otros autores encontraron que tras la deshidratación, a distintas

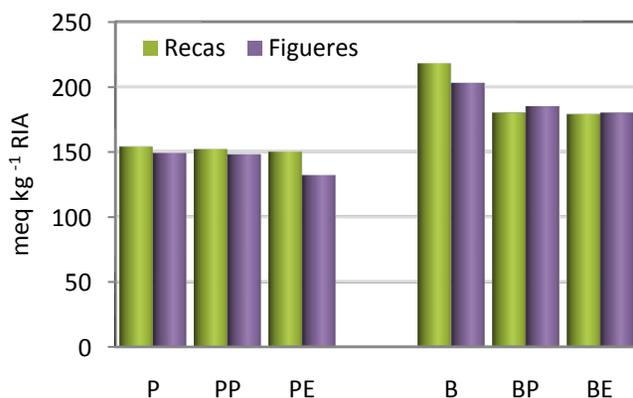
temperaturas, se producían descensos en esta propiedad (Femenia y col., 2003; Garau y col., 2007) pero no es comparable, ya que en el presente estudio no se ha eliminado el agua.

#### *Capacidad de intercambio catiónico*

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) está relacionada con la capacidad de la fibra alimentaria para disminuir la absorción de lípidos en el intestino (Furda, 1990). Los valores encontrados para la CIC del concentrado de cebolla fueron del orden de 188 meq kg<sup>-1</sup> RIA, sin diferencia entre variedades. Estos valores eran considerablemente superiores a los encontrados para la celulosa (11 meq kg<sup>-1</sup>). En los concentrados de fibra de la Pasta se observó una capacidad de intercambio catiónico menor que en los de cebolla entera, mientras que los del Bagazo mostraron resultados superiores.

La capacidad de intercambio catiónico difiere mucho de un material a otro; así, en la bibliografía se encuentran resultados desde 35,3 meq kg<sup>-1</sup> para el RIA de semillas desengrasadas de fruta de la pasión (Chau y Huang, 2004) hasta 771 meq kg<sup>-1</sup> para el RIA de bagazo de zanahoria (Chau y col., 2004d). Las diferencias podrían deberse en parte al método empleado para medir la CIC. Sin embargo, los datos obtenidos para los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla son muy similares o incluso superiores a los referidos por Jiménez y col. (2000) para el RIA de aceitunas, usando el mismo método.

Respecto al efecto del tratamiento térmico (Figura 58) se puede observar cómo el calor produjo un ligero descenso de la capacidad de intercambio catiónico en el concentrado del Bagazo, mientras que en las Pastas estabilizadas no se apreciaron prácticamente diferencias con el control. Esta disminución en la capacidad de intercambio catiónico estaría justificada por la pérdida de ácidos urónicos durante los procesos de estabilización térmica.



**Figura 58.** Efecto del tratamiento térmico sobre la CIC de los concentrados de fibra (meq kg<sup>-1</sup> RIA)

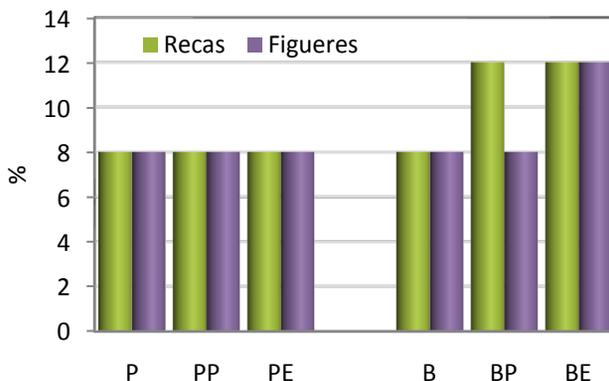
Los concentrados de los Bagazos estabilizados, a pesar de la disminución de la CIC, siguen manteniendo unos niveles altos de esta capacidad, lo que les hace presentar unas propiedades potencialmente aceptables para influir en la reducción de la absorción de colesterol en el intestino (Chau y Huang, 2003).

#### *Capacidad de gelificación*

Los concentrados de fibra de cebolla entera y de sus subproductos mostraron resultados peores que la celulosa (Tabla 30), lo que indica que no serían productos óptimos para la elaboración de preparados que requieran una elevada capacidad de gelificación, aunque presentaron unos niveles aceptables debido a las pectinas que contienen.

Además, hay que destacar que no existen otros estudios previos sobre esta propiedad en hortalizas y frutas, salvo estudios realizados en nuestro laboratorio en frutos y productos concentrados y purés de fresa (4-8%), que muestran un adecuado nivel de gelificación seguramente debido a su alto contenido en pectinas y a las características químicas de las mismas.

La capacidad de gelificación es una propiedad que se ve poco influida por el tratamiento térmico, aunque el calor provocó ligeras modificaciones en los concentrados del Bagazo, disminuyendo su capacidad para gelificar, principalmente tras la esterilización (Figura 59).



**Figura 59.** Efecto del tratamiento térmico sobre la MCG de los concentrados de fibra (%)

#### *Propiedades de hidratación*

Como se ha visto anteriormente, las propiedades de hidratación están relacionadas con la habilidad para retener agua dentro de la matriz (Figuerola y col., 2005) y pueden influir en el éxito de la incorporación de materiales enriquecidos en fibra a los alimentos (Femenia y col., 1997).

Las propiedades estudiadas son la capacidad de retención de agua (CRA) y la capacidad de hinchamiento (CH), porque proporcionan una visión general de las propiedades de hidratación de la fibra y además dan información útil para suplementar alimentos (Guillon y Champ, 2000).

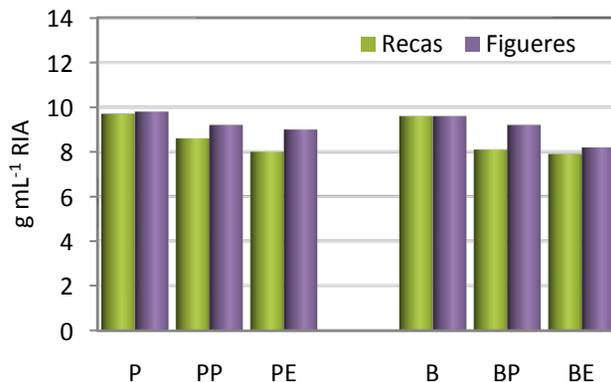
Capacidad de retención de agua: Los valores de CRA (Tabla 30) fueron próximos a 10 g de agua por gramo de RIA, no observándose diferencias significativas ni entre las variedades ni entre los distintos concentrados, de lo

que se deduce que el procesamiento de la cebolla no afecta a esta propiedad. En todos los casos el valor fue superior al determinado para la celulosa, al contrario de lo que se observaba en el estudio con los subproductos de cebolla.

El hecho de que los resultados de CRA sean mayores en las muestras que en la celulosa puede ser atribuido a las bajas densidades que presentan los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla, ya que la CRA está correlacionada con la densidad aparente de forma inversa. No obstante, hay que recordar que además de la densidad también influye la composición de la fibra y su estructura (Chau y col., 2004a), ya que hay componentes que tienen facilidad para unirse a las moléculas de agua, principalmente los polisacáridos de la fracción insoluble de fibra (Chau y Huang, 2004; Yeh y col., 2005).

Los valores encontrados en la bibliografía para distintos concentrados de frutas y hortalizas son muy heterogéneos; por lo general, los resultados obtenidos para los concentrados de cebolla son similares o superiores a los indicados para otras frutas y hortalizas (Chau y col., 2004ad; Chau y Huang, 2004; Yeh y col., 2005).

La capacidad de retención de agua mostró una ligera tendencia a disminuir con el tratamiento térmico (Figura 60), siendo este descenso, en general, más acusado cuanto mayor era la intensidad del tratamiento. No obstante, los concentrados de los productos estabilizados siguen manteniendo una CRA alta, con valores que oscilan entre 7,9 y 9,2 mL g<sup>-1</sup> RIA. Estos resultados son similares a los encontrados para el RIA de aceitunas tratadas térmicamente (Jiménez y col., 2000). Además, en estudios realizados con cubierta de guisante también se observó que la extrusión con calor (100 °C) en condiciones extremas disminuía ligeramente la capacidad de retención de agua (Ralet y col., 1993).

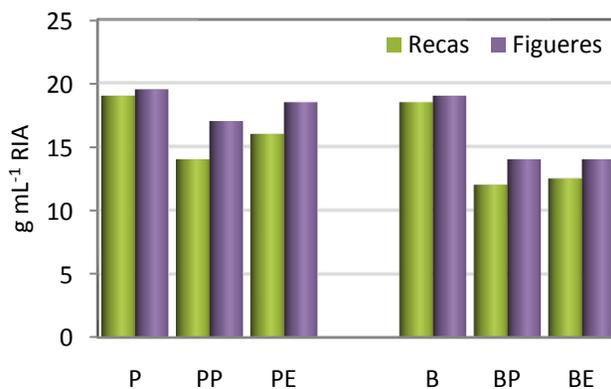


**Figura 60.** Efecto del tratamiento térmico sobre CRA de los concentrados de fibra (mL g<sup>-1</sup> RIA)

Capacidad de hinchamiento: La capacidad de hinchamiento de los concentrados de fibra de cebolla entera de ambas variedades es elevada (22,5-23,5 mL g<sup>-1</sup> RIA), pero se ve reducida ligeramente en los concentrados de los subproductos. La Pasta y el Bagazo poseen una capacidad comparable, en torno a 19 mL g<sup>-1</sup> RIA. En todos los casos, los valores son superiores a los obtenidos para la celulosa, lo que indica que los polisacáridos de la fibra forman una matriz hidrofílica en la cual queda el agua atrapada, rellenando los intersticios de los polisacáridos. La capacidad de hinchamiento encontrada por otros autores, para el residuo rico en fibra alimentaria (RIA) de subproductos de diversas hortalizas y frutas, es inferior (8-14 mL g<sup>-1</sup> RIA) a la encontrada en los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla (Chau y Huang, 2003, 2004; Chau y col., 2004ad; Yeh y col., 2005).

El tratamiento térmico produjo un descenso de la CH en todos los casos (Figura 61). Este descenso en la CH también fue observado por otros autores, cuando sometían las muestras a secado a distintas temperaturas (Femenia y col., 1999) o a un proceso de extrusión con calor (Ralet y col., 1993). Este comportamiento podría explicarse por la fragilidad de las paredes celulares primarias,

mayoritarias en subproductos vegetales, que se desintegran por la solubilización de sus polímeros como consecuencia de tratamientos drásticos como la extrusión o el autoclave y, en el presente estudio, por los tratamientos de esterilización y pasterización.



**Figura 61.** Efecto del tratamiento térmico sobre la CH de los concentrados de fibra (mL g<sup>-1</sup> RIA)

En general, se puede decir que los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla analizados en este estudio, incluidos los tratados térmicamente, tienen unas propiedades de hidratación óptimas, por lo que presentarían una serie de efectos fisiológicos beneficiosos como son el aumento del volumen fecal o la reducción de la absorción de nutrientes, así como ciertas características tecnológicas, entre las que se encuentran la reducción de calorías, evitar la sinéresis, además de modificar la viscosidad y la textura del producto final (Grigelmo-Miguel y Martín-Belloso, 1999a).

## Composición de los concentrados de fibra

Como se ha observado en el apartado anterior existen ciertas diferencias en las propiedades físico-químicas de los distintos concentrados. La explicación a este hecho se podría encontrar en su composición, por lo que su conocimiento, principalmente en polisacáridos y lignina, es un paso necesario para interpretar las diversas propiedades físico-químicas y funcionales. En este sentido se ha realizado, sólo en la variedad Recas, el estudio del nitrógeno total, azufre total, así como los polisacáridos y los compuestos fenólicos de los concentrados de fibra, observándose también el efecto de los tratamientos térmicos de estabilización.

### *Nitrógeno total*

Los resultados de nitrógeno total de los concentrados de fibra aparecen reflejados en la Tabla 31 y representa el nitrógeno asociado a la pared celular. Los contenidos más altos de este elemento se encontraron en la Pasta y en la cebolla entera, mientras que los resultados del Bagazo parecen indicar una menor presencia de compuestos nitrogenados asociados a sus paredes celulares. Se pudo apreciar que tras el tratamiento térmico se produjo una pérdida de la cantidad de nitrógeno asociado a la pared celular, lo que indicaría que el tratamiento térmico podría haber escindido algunas uniones del nitrógeno con la pared y, por tanto, se perdería una pequeña proporción de compuestos nitrogenados durante la extracción etanólica. Esto queda reflejado al expresar los resultados como porcentaje de N total del subproducto, donde se pudo apreciar que el N asociado a la pared, que representa entre un 40-56% del N total del subproducto, disminuía a medida que se intensificaba el calor aplicado.

**Tabla 31.** Nitrógeno y azufre total en los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla

mg g <sup>-1</sup> RIA	N <sub>T</sub>	% <sup>1</sup>	S <sub>T</sub>	% <sup>1</sup>
<b>Cebolla entera</b>	19± 2 <sup>a</sup>	27	1,0± 0,1 <sup>b</sup>	7
<b>Pasta</b>				
Control	22± 1 <sup>b</sup>	40	0,9± 0,0 <sup>a</sup>	6
Pasterización	19± 1 <sup>a</sup>	32	0,7± 0,0 <sup>a</sup>	4
Esterilización	19± 1 <sup>a</sup>	22	1,0± 0,1 <sup>a</sup>	5
<b>Bagazo</b>				
Control	16± 2 <sup>b</sup>	56	0,2± 0,0 <sup>a</sup>	3
Pasterización	13± 1 <sup>a</sup>	54	0,4± 0,1 <sup>a</sup>	11
Esterilización	13± 1 <sup>a</sup>	43	0,2± 0,1 <sup>a</sup>	3

<sup>1</sup> % con respecto al total del subproducto

### *Compuestos azufrados*

Los resultados de azufre total en los concentrados de fibra de cebolla se muestran en la Tabla 31. Los niveles de azufre total de los concentrados de fibra fueron inferiores a los encontrados en los subproductos (Capítulo 3), representando del orden del 3-11%, lo que parece indicar que durante la extracción etanólica se produjo una pérdida importante de compuestos azufrados. Los contenidos más altos de azufre se encontraron en los concentrados de Pasta y los menores en los de Bagazo, tanto en los controles como en los estabilizados. El tratamiento térmico no dio lugar a cambios en el contenido de azufre de los concentrados de fibra. No se realizó el estudio de los compuestos del “flavor”, ya que los bajos niveles de S encontrados en los concentrados de fibra, sugieren que la presencia de estos compuestos va a ser insignificante.

### *Polisacáridos y lignina*

Las diferentes propiedades físico-químicas encontradas en los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla podrían ser una expresión de los cambios

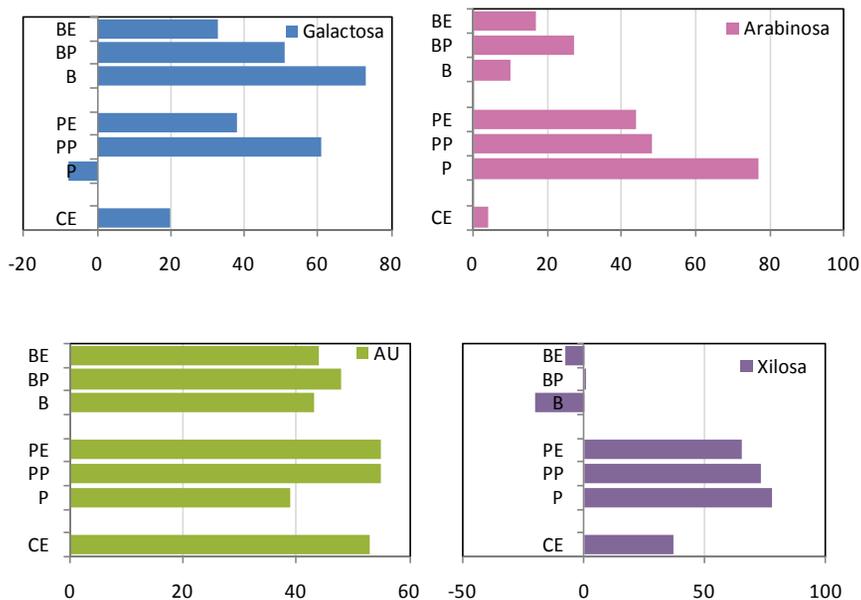
**Tabla 32.** Composición en polisacáridos y lignina de los concentrados de fibra (mg g<sup>-1</sup> RIA)

	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Hidrólisis	Azúcares							Azúcares totales	Lignina		AU:AN <sup>1</sup>
		Cel	Glu	Xil	Gal/Ram	Ara	Man	AU		Klason	Celulosa	
<b>CE</b>												
	<b>12+0,6M</b>	33,0 ± 2,1	152,6 ± 4,2	28 ± 0,5	61,8 ± 2,2	18,9 ± 0,3	81,9 ± 1,6	206,1 ± 0,5	582,3 ± 14,0 <sup>B</sup>	112 ± 3 <sup>C</sup>	161 ± 1 <sup>A</sup>	2,6
	<b>0,6M</b>	11,4 ± 0,3	13,8 ± 0,4	17,5 ± 1,5	49,5 ± 1,2	18,1 ± 0,4	4,4 ± 1,2	96,8 ± 2,4				
	% <sup>2</sup>	6	26	5	11	3	14	35				
<b>Pasta</b>												
Control	<b>12+0,6M</b>	21,8 ± 1,3	204,6 ± 1,7	30,3 ± 2,1	29,0 ± 0,5	16,8 ± 0,1	26,9 ± 0,2	173,0 ± 2,5	480,6 ± 4,1 <sup>A</sup>	128 ± 2 <sup>Bc</sup>	212 ± 3 <sup>Bb</sup>	3,8
	<b>0,6M</b>	nd	4,5 ± 0,4	6,7 ± 2,0	31,4 ± 2,1	3,8 ± 0,2	17,3 ± 0,3	105,1 ± 1,1				
	% <sup>2</sup>	4	41	6	6	3	5	34				
Pasterización	<b>12+0,6M</b>	31,5 ± 1,1	259,5 ± 4,1	30,8 ± 2,7	57,1 ± 2,0	17,9 ± 1,2	99,9 ± 1,8	198,8 ± 4,1	695,5 ± 8,0 <sup>c</sup>	114 ± 1 <sup>b</sup>	279 ± 3 <sup>c</sup>	2,6
	<b>0,6M</b>	nd	4,6 ± 0,3	8,2 ± 0,6	22,0 ± 0,5	9,3 ± 0,4	55,6 ± 1,5	88,4 ± 2,3				
	% <sup>2</sup>	5	37	4	8	3	12	31				
Esterilización	<b>12+0,6M</b>	25,2 ± 1,5	153 ± 2,4	20,8 ± 1,3	29,0 ± 0,9	15,7 ± 0,8	88,1 ± 1,4	205,6 ± 8,9	537,4 ± 7,2 <sup>b</sup>	103 ± 3 <sup>a</sup>	162 ± 3 <sup>a</sup>	4,6
	<b>0,6M</b>	nd	2,3 ± 0,1	7,3 ± 0,3	18,0 ± 0,4	8,8 ± 0,7	45,2 ± 0,2	92,57 ± 1,5				
	% <sup>2</sup>	5	29	4	5	3	16	38				
<b>Bagazo</b>												
Control	<b>12+0,6M</b>	33,1 ± 2,0	222,6 ± 13,4	14,8 ± 0,7	90,2 ± 2,1	20,9 ± 1,7	32,3 ± 2,3	214,3 ± 5,5	628,2 ± 9,4 <sup>C</sup>	93 ± 2 <sup>A</sup>	224 ± 9 <sup>B</sup>	1,9
	<b>0,6M</b>	12,0 ± 1,1	19,3 ± 1,5	17,9 ± 1,6	24,2 ± 1,4	18,7 ± 1,2	29,5 ± 1,3	121,7 ± 1,4				
	% <sup>2</sup>	5	35	2	14	3	5	34				
Pasterización	<b>12+0,6M</b>	38,8 ± 1,1	212,8 ± 12,2	16,4 ± 0,2	80,2 ± 1,4	19,5 ± 1,5	94,0 ± 3,1	215,4 ± 3,2	677,1 ± 12,0 <sup>c</sup>	85 ± 8 <sup>b</sup>	236 ± 4 <sup>b</sup>	2,1
	<b>0,6M</b>	n,d	15,5 ± 0,6	16,2 ± 0,9	39,0 ± 1,5	14,3 ± 0,6	93,2 ± 1,9	111,9 ± 5,6				
	% <sup>2</sup>	6	31	2	12	3	14	32				
Esterilización	<b>12+0,6M</b>	44,0 ± 1,8	178,6 ± 10,1	17,9 ± 0,5	73,0 ± 4,2	19,2 ± 0,8	48,1 ± 2,3	197,0 ± 6,1	577,8 ± 5,7 <sup>a</sup>	74 ± 1 <sup>a</sup>	201 ± 3 <sup>a</sup>	2,1
	<b>0,6M</b>	9,1 ± 0,5	12,2 ± 1,3	19,3 ± 0,8	48,8 ± 1,5	15,9 ± 0,5	46,8 ± 2,1	109,4 ± 3,4				
	% <sup>2</sup>	8	31	3	13	3	8	34				

Los valores son medias ± DE, n=6. Las medias dentro de una columna y subproducto con diferente superíndice son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . Las medias dentro de la misma columna y control con diferente letra mayúscula son significativamente diferentes para  $P < 0,05$ . <sup>1</sup> AN= Gal + Ara. <sup>2</sup> porcentaje de cada azúcar con respecto a los azúcares totales en la hidrólisis 12+0,6M.

que han tenido lugar en su composición. La Tabla 32 muestra la composición de monosacáridos de los distintos concentrados de fibra, tanto congelados (control) como estabilizados por calor. En general, los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla, así como los de cebolla entera, están compuestos principalmente por glucosa y ácidos urónicos, junto a contenidos importantes de galactosa, mientras que la xilosa, manosa y arabinosa están presentes en menores cantidades, como ocurría en los subproductos de cebolla. A la vista de los resultados, los principales polisacáridos de los concentrados de fibra son la celulosa y los poliurónidos. En general, salvo excepciones, los azúcares neutros y los ácidos urónicos de los concentrados de fibra se liberaron en mayor concentración con la hidrólisis secuencial, que con sólo la 0,6 M (Figura 62). Esto indicaría que la matriz de celulosa se halla estrechamente relacionada tanto con hemicelulosas, en algunos casos, como con polisacáridos pécticos del tipo homogalacturonanos, y que las cadenas de arabinanos y galactanos se encontrarían poco accesibles a la acción del ácido sulfúrico dentro de la matriz del RIA. Hay que señalar que esto último es diferente a lo observado en el residuo de fibra, donde estaban presentes arabinanos y galactanos más accesibles, lo que en principio sugeriría la posible pérdida de los mismos por solubilización en etanol durante la obtención del RIA.

Aunque en esencia la composición de los concentrados de fibra de los subproductos y la cebolla entera resultó bastante similar, existen diferencias tanto cualitativas como cuantitativas debidas principalmente al diferente origen de los concentrados. Así, existen diferencias significativas en cuanto al contenido de azúcares totales y lignina. El concentrado de Bagazo es el más rico en azúcares y con menor contenido en lignina, mientras que el concentrado de la Pasta es el que menos azúcares presenta y más lignina tiene. La lignina Klason incluye probablemente residuos de proteínas intracelulares coprecipitadas (Guijarro, 1999).

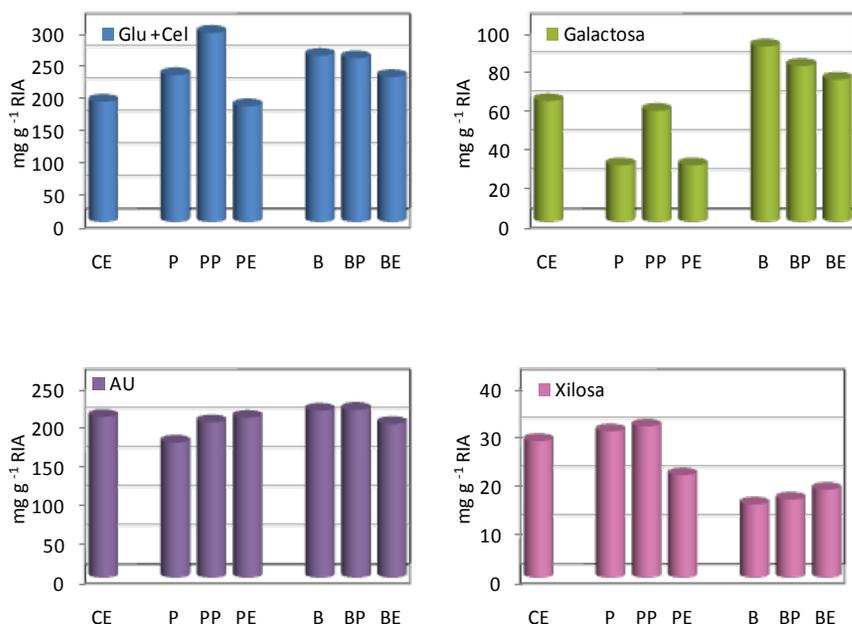


**Figura 62.** Diferencias entre hidrólisis fuerte y suave  $[(12+0,6M)-(0,6M)/(12+0,6M)] \times 100$

Además, la xilosa en el concentrado de fibra del Bagazo (Figura 62) se encontró en mayor concentración en la hidrólisis 0,6 M, lo que indicaría que en este caso algunas hemicelulosas (xiloglucanos) estarían más accesibles.

En cuanto al perfil de azúcares que presentan los concentrados de los subproductos, comparado con el de cebolla entera, se observó que la principal diferencia fue el mayor contenido neto de glucosa. En la galactosa también se apreciaron cambios, existiendo mayor porcentaje en el Bagazo y, sin embargo, menor contribución en la Pasta. En consecuencia, la relación AU:AN disminuye en el concentrado de fibra del Bagazo, lo que indicaría la presencia de sustancias pécticas más ramificadas, mientras que aumenta en la Pasta sugiriendo una mayor participación de los homogalacturonanos en comparación con el concentrado de fibra de cebolla entera. En el caso de los ácidos urónicos no hay apenas variación en su contribución al comparar con el

concentrado de la cebolla entera, mientras que la xilosa disminuye en el Bagazo (Figura 63).



**Figura 63.** Efecto del tratamiento térmico sobre los azúcares del RIA (mg g<sup>-1</sup> RIA)

El tratamiento térmico produjo un aumento de los azúcares totales presentes en los concentrados de fibra, excepto en Bagazo esterilizado. Asimismo, se encontró un descenso de lignina, que fue más acusado cuanto mayor era la intensidad del tratamiento (Tabla 32). Además, se observaron cambios en el perfil de azúcares, distintos en función del subproducto (Figura 63). Así, en la Pasta los ácidos urónicos y la galactosa no variaron o aumentaron como consecuencia del tratamiento térmico. Sin embargo, en el Bagazo se produjo un descenso de ácidos urónicos y de galactosa después del tratamiento térmico. Este distinto efecto podría explicar porqué las propiedades físico-químicas de los Bagazos tratados se ven afectadas en mayor grado que las de las Pastas

tratadas, como por ejemplo la capacidad de gelificación, que disminuía en el Bagazo tras el tratamiento térmico, o la capacidad de hinchamiento.

### *Compuestos fenólicos*

En la Tabla 33 aparece reflejado el contenido en compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de los concentrados de fibra (RIA) procedentes de la Pasta con y sin tratamiento térmico. Se eligió la Pasta por ser el subproducto con un mayor contenido de estos compuestos (Roldán y col., 2008), y se realizó una comparación con el subproducto de origen (Pasta) y con la cebolla entera.

Los resultados indicaron que el contenido en compuestos fenólicos de los concentrados de fibra era muy bajo, eliminándose prácticamente todos durante la extracción etanólica. Los compuestos fenólicos que permanecen se encontrarían asociados a la pared celular. En este sentido se puede indicar que sólo estarían unidos a la pared celular entre el 1-2% de los polifenoles totales encontrados en los subproductos de origen. Aproximadamente la mitad de los compuestos fenólicos unidos a la pared serían flavonoides, los cuales representan sólo el 1% de los flavonoides totales encontrados en los subproductos. Por otro lado, de los flavonoides que están asociados a la pared celular sólo un porcentaje mínimo serían flavonoles, ya que más del 99% de estos compuestos se pierden durante la extracción etanólica. Si se observa el efecto del tratamiento térmico se ve que cuanto más intenso era éste más bajo fue el contenido de compuestos fenólicos, de lo que se deduce que el calor habría escindido la unión entre estos compuestos y la pared celular.

**Tabla 33.** Contenido de polifenoles (mg EAG g<sup>-1</sup> ms), flavonoides (mg EQ g<sup>-1</sup> ms) y flavonoles (mg g<sup>-1</sup> ms) totales y capacidad antioxidante (μmol Fe<sup>2+</sup> g<sup>-1</sup> ms) en los concentrados de fibra

	Cebolla entera	Pasta	RIA CE	RIA Pasta	RIA PP	RIA PE
Polifenoles Totales	17,3 ± 1,3 <sup>d</sup>	18,6 ± 0,4 <sup>d</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,4 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,1 ± 0,0 <sup>a</sup>
Flavonoides totales	10,3 ± 0,3 <sup>d</sup>	17,6 ± 0,2 <sup>e</sup>	0,11 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,2 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,1 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,04 ± 0,00 <sup>a</sup>
Flavonoles totales	8,84 ± 1,41 <sup>c</sup>	11,69 ± 0,18 <sup>d</sup>	0,02 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,04 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,01 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,01 ± 0,00 <sup>a</sup>
Quercetina 4'-glucosido	4,02 ± 0,53 <sup>c</sup>	6,06 ± 0,09 <sup>d</sup>	0,01 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,02 ± 0,00 <sup>b</sup>	trazas	trazas
Quercetina 3,4'-diglucosido	3,10 ± 0,68 <sup>a</sup>	4,09 ± 0,23 <sup>a</sup>	trazas	trazas	trazas	trazas
Quercetina	0,91 ± 0,04 <sup>d</sup>	0,48 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,01 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,02 ± 0,00 <sup>b</sup>	trazas	trazas
Quercetina 3-glucosido	0,16 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,01 <sup>b</sup>	nd	nd	nd	nd
Isorhamnetina 3,4'-diglucosido	0,12 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,27 ± 0,01 <sup>b</sup>	nd	nd	trazas	trazas
Isorhamnetina 4'-glucosido	0,53 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,54 ± 0,01 <sup>a</sup>	trazas	trazas	nd	nd
Capacidad antioxidante (FRAP)	83,5 ± 1,8 <sup>c</sup>	106,8 ± 2,4 <sup>d</sup>	1,4 ± 0,1 <sup>a</sup>	3,1 ± 0,0 <sup>b</sup>	1,3 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,1 ± 0,0 <sup>a</sup>

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una fila con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$   
 EAG: equivalentes de ácido gálico; EQ: equivalentes de quercetina.

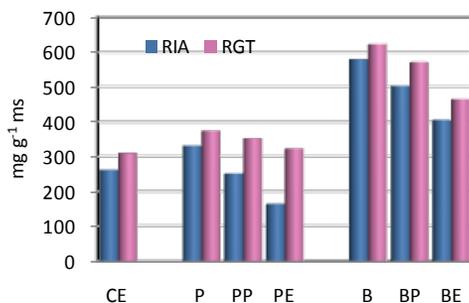
## Evaluación comparativa de los concentrados de fibra

El objetivo de esta comparación es evaluar la composición y las propiedades físico-químicas del concentrado de fibra obtenido mediante extracción etanólica en relación con las de los subproductos de cebolla, y así poder disponer de un método que permita la obtención de ingredientes enriquecidos en fibra.

Con este fin se llevó a cabo en primer lugar el estudio comparativo de los rendimientos y de la composición del material de la pared celular, y en segundo lugar se evaluaron las propiedades físico-químicas.

### *Rendimiento*

Se ha llevado a cabo la comparación entre la cantidad de RIA y la cantidad de residuo gravimétrico de fibra total (RGT) obtenido por cada gramo de materia seca (Figura 64). El RGT corresponde a la suma de los residuos gravimétricos insoluble (RGI) y soluble (RGS) obtenidos en la determinación de fibra alimentaria por el método enzimático-gravimétrico (AOAC, 1995).



**Figura 64.** Rendimiento del RIA y RGT (mg g<sup>-1</sup> ms)

Los rendimientos del concentrado de fibra (RIA) fueron inferiores a los del RGT, aunque la diferencia entre ambos residuos era de distinta magnitud dependiendo de la muestra. Así, en la cebolla entera el RIA representaba del orden de un 77-84% del RGT, en Pasta un 87-88%, mientras que en el Bagazo los

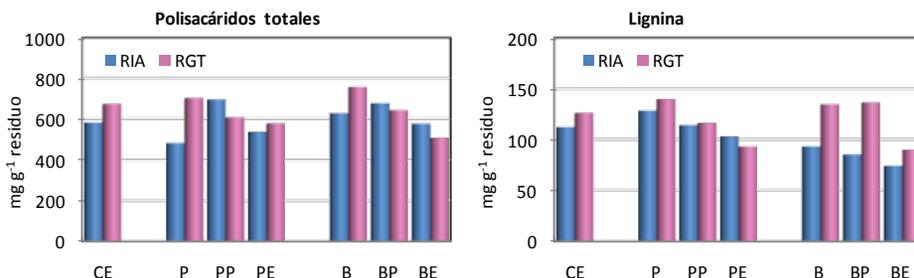
valores ya se aproximaban al 93-95%. Otro hecho evidente es que la diferencia entre las cantidades de RIA y RGT se hizo más acusada en los productos tratados con calor, sobre todo en la Pasta, incrementándose esta diferencia cuando el tratamiento térmico fue más intenso. Todo esto conduce a señalar la influencia de las características y la composición de cada muestra en los valores obtenidos por ambos métodos. Estas diferencias se podrían explicar por la pérdida de compuestos que se produce durante la extracción etanólica, entre los que se podrían encontrar proteínas, compuestos fenólicos, e incluso pectinas (Guijarro, 1996). En este sentido se compara a continuación el contenido polisacáridos y lignina, de los concentrados de fibra (RIA) y del RGT.

#### *Polisacáridos y lignina*

Los contenidos globales de polisacáridos totales y lignina de los concentrados de fibra (RIA) y de los residuos gravimétricos de fibra (RGT) obtenidos de los subproductos de cebolla se exponen en la Figura 65. Se pudo observar que en los concentrados de fibra (RIA) obtenidos a partir de subproductos congelados (control), los contenidos de polisacáridos eran inferiores a los determinados en los residuos gravimétricos (RGT), mientras que en los subproductos tratados con calor ocurría lo contrario o no existían diferencias significativas. Esto podría poner de manifiesto la mayor susceptibilidad a la extracción etanólica de los componentes de las paredes celulares en aquellos subproductos que no han sido sometidos a tratamientos térmicos.

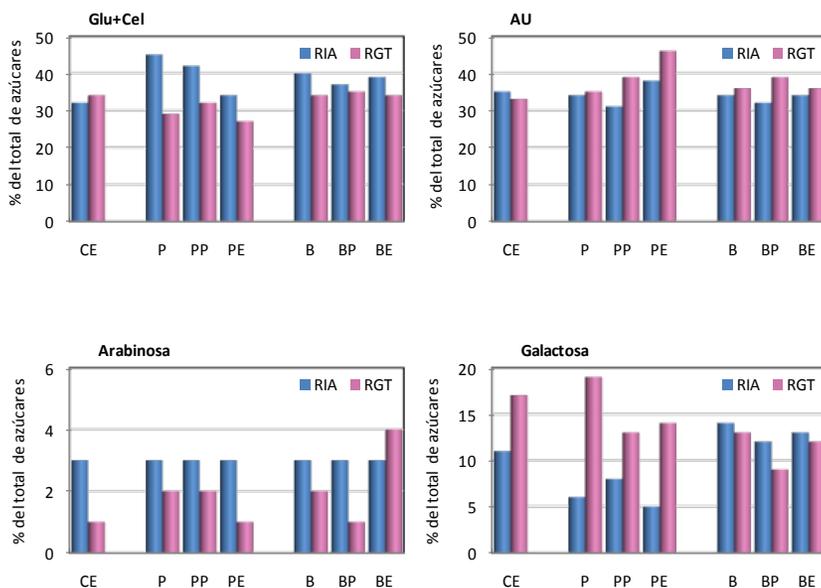
Asimismo, habría que indicar que la extracción etanólica también elimina una cierta cantidad de compuestos de naturaleza fenólica, que por el contrario quedarían incluidos en el residuo de lignina Klason cuantificado gravimétricamente en RGT. No obstante, y por lo que respecta a las proporciones relativas de polisacáridos y lignina, hay que destacar que se mantuvieron constantes, con unos valores medios de 85% de polisacáridos y

15% de lignina, en todos los concentrados (RIA) y en los residuos gravimétricos de fibra (RGT).



**Figura 65.** Evaluación comparativa de polisacáridos totales y lignina del RIA y el RGT ( $\text{mg g}^{-1}$  residuo)

El estudio comparativo del perfil de azúcares de los concentrados (RIA) y de los residuos gravimétricos (RGT) de fibra se muestra en la Figura 66. Aunque básicamente existe una gran similitud se aprecian ciertas diferencias. Se pudo observar que los concentrados de fibra (RIA) constituyen un residuo con mayor riqueza relativa en glucosa-celobiosa y más pobre en ácidos urónicos que el residuo gravimétrico de fibra (RGT) (Figura 64). Estos resultados sugieren que durante la extracción etanólica se podrían producir pérdidas de homogalacturonanos y, como consecuencia, la celulosa tendría más peso en el total de azúcares. Asimismo, hay que indicar una mayor proporción de arabinosa en el concentrado de fibra, lo que podría reflejar que durante el proceso enzimático de obtención de fibra se producirían pérdidas de este azúcar.



**Figura 66.** Evaluación comparativa del perfil de azúcares de RIA y RGT (%)

Con respecto al resto de azúcares se pudieron apreciar diferencias según el material estudiado. En este sentido, hay que señalar las especiales características del Bagazo. Los polisacáridos de la pared celular del Bagazo aislados por el método de obtención del RIA mostraron una mayor proporción de galactosa que los obtenidos por el método enzimático-gravimétrico. Por el contrario, en cebolla entera y en Pasta se observó el comportamiento inverso. Estos hechos ponen de manifiesto que las cadenas de galactanos de los polisacáridos estructurales de la cebolla entera y de la Pasta son más susceptibles a la extracción etanólica que las existentes en el Bagazo y, en consecuencia, se pierden con mayor facilidad durante el proceso que da lugar al concentrado de fibra.

Los resultados sugieren por tanto que durante la extracción etanólica se producen pérdidas principalmente de polisacáridos pécticos, siendo éstas más acusadas en la Pasta y en la cebolla entera.

En estudios previos realizados con la variedad Sturon (Guijarro, 1999) se encontraron resultados similares a los del presente estudio. Así, se puso de manifiesto el descenso de la contribución de los ácidos urónicos en los polisacáridos aislados en el RIA, en comparación con su proporción en FT. Por el contrario, se observó una mayor contribución de glucosa y arabinosa en RIA, comparado con FT, mientras que la galactosa mostraba un comportamiento dependiente de la naturaleza de la muestra analizada. Además, se observó la acumulación de compuestos fenólicos en la denominada lignina Klason obtenida en el residuo de fibra, así como la presencia de una considerable proporción de dichos compuestos en el extracto etanólico procedente del aislamiento del RIA. Asimismo, se comprobó que la obtención del RIA provocaba la eliminación de proteínas, cenizas y compuestos fenólicos de los residuos de las paredes celulares.

#### *Propiedades físico-químicas*

La evaluación de las propiedades físico químicas de los concentrados de fibra en comparación con las que presentan los subproductos que dan origen a estos concentrados se muestran en la Figura 67, correspondiente a la variedad Recas.

Se pudo observar un descenso generalizado de la densidad aparente y de la capacidad de hinchamiento en todos los concentrados de fibra en comparación con los subproductos de origen. Esta disminución es aún más acusada en los concentrados procedentes de los subproductos tratados térmicamente.

Por el contrario, las capacidades de retención de agua y de aceite , así como la capacidad de intercambio catiónico fueron mucho más elevadas en los concentrados de fibra.

Por lo que respecta a la capacidad de gelificación los resultados dependían del tipo de subproducto. En la Pasta se observó una mejora de esta capacidad más acusada en la Pasta tratada térmicamente, cuya capacidad para gelificarse fue

del orden del doble o más que en el subproducto de origen. En el caso del Bagazo, la capacidad de gelificación era similar en el subproducto y en el concentrado, ambos congelados, mientras que los concentrados pasteurizados y esterilizados, vieron reducida su capacidad de gelificación en comparación con la del subproducto de origen. Este hecho podría deberse a la pérdida en el etanol de compuestos solubles, capaces de gelificar, generados por el tratamiento térmico al que se sometió el Bagazo.

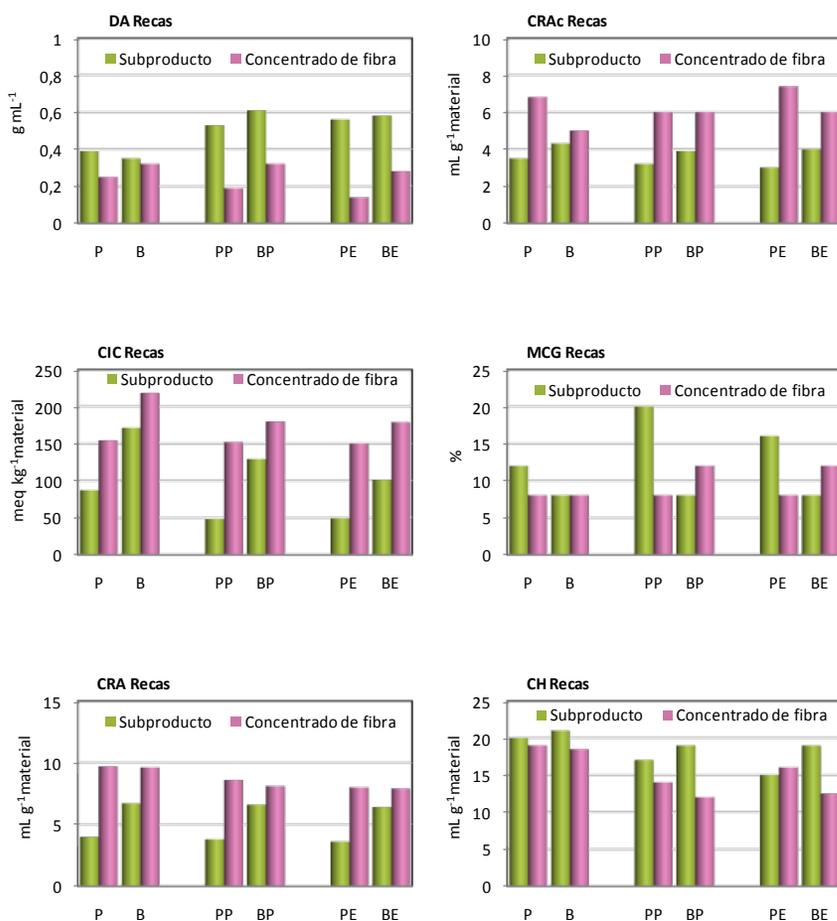


Figura 67. Evaluación comparativa de las propiedades físico-químicas de los subproductos y los concentrados de fibra

## Conclusiones

Los concentrados de fibra obtenidos por extracción etanólica de los subproductos presentan unos contenidos en fibra (polisacáridos no digeribles y lignina) del 61-81%, lo que ha supuesto un enriquecimiento medio en fibra de 2,5 veces con respecto al subproducto de origen. La naturaleza de la fibra de los concentrados es muy similar a la del subproducto de partida, aunque presenta una proporción ligeramente inferior de polisacáridos pécticos.

Estos concentrados podrían ser utilizadas como ingredientes alimentarios ricos en fibra con unas interesantes propiedades físico-químicas. Gracias a su alta capacidad de retención de aceite podrían usarse para mejorar la estabilidad de emulsiones y de alimentos con alto porcentaje de grasas. Además, esta propiedad junto con la alta capacidad de intercambio catiónico mostrada confiere a estos concentrados la habilidad potencial para reducir la absorción de colesterol y triglicéridos en el intestino. Asimismo, las buenas propiedades de hidratación que presentan los concentrados de fibra proporcionarían una serie de efectos fisiológicos beneficiosos, como son el aumento del volumen fecal o la reducción de absorción de nutrientes, al mismo tiempo que les dotarían de interesantes características tecnológicas, como son la reducción de calorías, evitar la sinéresis y modificar la viscosidad y la textura del producto final.

En contraposición, los subproductos de cebolla, aunque no presentan tan buenas propiedades físico-químicas como las encontradas en los concentrados de fibra, muestran una riqueza en compuestos bioactivos diversos, como son fructooligosacáridos, compuestos azufrados y compuestos fenólicos, además de su elevado contenido en fibra, lo que les confiere una gran utilidad como ingredientes funcionales con características múltiples.

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN *IN VITRO* E *IN VIVO* DE LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LOS SUBPRODUCTOS DE CEBOLLA. UTILIZACIÓN COMO INGREDIENTE ALIMENTARIO FUNCIONAL

**Evaluación *in vitro* del efecto hipoglucémico de la fibra de los subproductos de cebolla**

*Interés del estudio*

La relación entre el incremento del consumo de fibra y el descenso en la respuesta glucémica en diabéticos ha sido ampliamente documentada (Nishimune y col., 1991; Berger y Venhaus, 1992). Se han propuesto varios mecanismos mediante los cuales la fibra ejercería su efecto hipoglucémico, como son el retardo en la velocidad de digestión de los carbohidratos en el estómago, que puede retrasar el paso del contenido del estómago al duodeno (vaciado gástrico), la disminución de la velocidad de difusión de varios azúcares en el intestino delgado y de la hidrólisis de los polisacáridos en la parte superior del intestino delgado, así como la absorción más lenta de los monosacáridos a través de las microvellosidades del epitelio en el yeyuno y en el íleon superior (Nishimune y col., 1991). Además, el efecto beneficioso de la fibra sobre la disminución de los niveles de glucosa en sangre también se podría deber a la disminución de la respuesta a la insulina (Jarvi y col., 1999).

Sin embargo, la eficacia de la fibra para controlar la hiperglucemia depende de su composición, origen y del procesamiento al que haya sido sometida (Bornet y col., 1997). Wolever (1990) publicó que los alimentos ricos en fibra soluble no producían necesariamente un descenso de la glucosa sanguínea, estando los ácidos urónicos de la fibra insoluble más relacionados con este índice. En este sentido, Flourie (1992) demostró que las fibras insolubles podrían retardar la utilización y la absorción de carbohidratos y ayudar al control del nivel de glucosa sérica postprandial. Esta perspectiva es ligeramente diferente al

pensamiento tradicional que indica que es la fibra soluble la que dificulta la difusión de glucosa y pospone la digestión y absorción de carbohidratos, lo que provocaría una reducción de la glucosa postprandial en la sangre (Yokohama y col., 1997).

Aunque el contenido en fibra se usa para la predicción del índice glucémico, que indica el aumento relativo en sangre de los azúcares después de comer, también hay que considerar otros factores de los alimentos para predecirlo como son el procesamiento (comidas preparadas, refinamiento), el cocinado, otros componentes presentes en el alimento (antinutrientes) y la naturaleza química de los carbohidratos (Nishimune y col., 1991; Bornet y col., 1997).

En el presente estudio se ha evaluado *in vitro* la capacidad de la fibra de los subproductos de cebolla para reducir la absorción de glucosa en el intestino. Con el fin de eliminar la glucosa libre que interfería en las determinaciones analíticas se ha realizado una extracción etanólica previa obteniéndose los correspondientes concentrados de fibra, en los que se ha evaluado la capacidad de adsorción de glucosa y el efecto sobre la difusión de la misma, así como sobre la actividad  $\alpha$ -amilasa y la digestibilidad del almidón. Además, se evaluó el efecto de los tratamientos térmicos sobre estas propiedades.

#### *Capacidad de adsorción de glucosa*

Los resultados obtenidos aparecen reflejados en la Tabla 34 y revelan que todos los concentrados de fibra procedentes de cebolla son capaces de unir glucosa y que la cantidad de glucosa unida va a depender de la concentración de glucosa presente en el medio, siendo mayor cuanto más glucosa haya. Además, la capacidad de adsorción de glucosa de todos los concentrados de fibra fue superior a la capacidad mostrada por la celulosa. Esta propiedad de los concentrados de fibra de cebolla es de gran interés porque su utilización reduciría la concentración de glucosa disponible en el intestino delgado (Ou y col., 2001). Como indican los resultados obtenidos, los concentrados de fibra

ayudarían a retener la glucosa en el intestino, incluso a bajas concentraciones, ya que tienen la capacidad de adsorber glucosa a concentraciones inferiores a 10 mM (Chau y col., 2004b). Esta característica también se ha encontrado en residuos ricos en fibra procedentes de otras hortalizas y frutas (López y col., 1996; Ou y col., 2001; Chau y col., 2003).

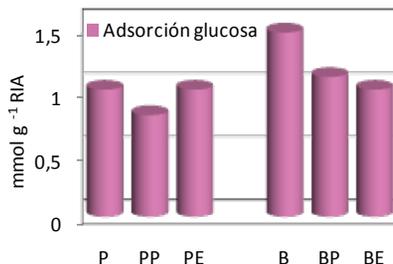
**Tabla 34.** Efecto de los concentrados de fibra sobre la adsorción de glucosa

mmol g <sup>-1</sup> RIA	10 mM	50 mM	100 mM	200 mM
<b>Celulosa</b>	0,01±0,00A	0,40±0,00A	0,60±0,00A	3,40±0,23A
<b>Cebolla entera</b>	0,07±0,00B	1,70±0,00D	2,00±0,00C	5,20±0,17D
<b>Pasta</b>				
Control	0,06±0,00Ba	1,00±0,03Ba	1,70±0,09Bb	3,90±0,15Ba
Pasterización	0,05±0,00a	0,80±0,01a	1,45±0,06a	3,80±0,12a
Esterilización	0,06±0,00a	1,00±0,02a	1,47±0,05a	3,70±0,45a
<b>Bagazo</b>				
Control	0,10±0,01Ca	1,45±0,05Cb	1,59±0,07Bb	4,80±0,27Cb
Pasterización	0,09±0,00a	1,10±0,04a	1,37±0,03a	4,13±0,16a
Esterilización	0,10±0,00a	1,00±0,06a	1,34±0,02a	3,90±0,21a

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una columna y subproducto control con diferentes letras mayúsculas son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

El efecto del tratamiento térmico sobre la capacidad de adsorción de glucosa mostró una ligera tendencia a la disminución de dicha capacidad en los concentrados de fibra de los subproductos estabilizados térmicamente, existiendo en algunos casos diferencias significativas (Tabla 34, Figura 68). Sin embargo, mantienen una capacidad de unión de glucosa mayor que la celulosa. La intensidad del tratamiento térmico no pareció afectar a la cantidad de glucosa unida, ya que no existían diferencias significativas entre ambos tratamientos. Al igual que se observaba para los residuos sin tratamiento térmico, esta propiedad es dependiente de la concentración de glucosa presente

en el medio, de manera que cuanto mayor es la concentración mayor en la cantidad de glucosa que se une.



**Figura 68.** Efecto del tratamiento térmico sobre la adsorción de glucosa (50 mM)

#### *Efecto sobre la difusión de la glucosa*

La Tabla 35 presenta la variación en la difusión de la glucosa con la adición de los concentrados de fibra con respecto al blanco (sin muestra) y a la celulosa. En ella se observa que según aumentaba el tiempo de diálisis, se incrementaba también la cantidad de glucosa en el dializado; así, a los 10 min la concentración de glucosa variaba entre 683-733  $\mu\text{M}$  y a los 120 min entre 3.720-4.656  $\mu\text{M}$ . Comparando con el blanco, a los 10 min, sólo el concentrado de fibra del Bagazo disminuyó significativamente la cantidad de glucosa en el dializado. Sin embargo, a partir de los 30 min todos los concentrados de fibra procedentes de los subproductos de cebolla disminuyeron significativamente la cantidad de glucosa difundida con respecto al blanco y a la celulosa, no existiendo diferencias entre estas dos últimas. Este mismo comportamiento lo encontraron Chau y col. (2004b) en un estudio sobre el efecto hipoglucémico de fracciones de fibra insoluble derivadas de la fruta estrella o carambola. El concentrado de Bagazo fue el que evitó en mayor medida la difusión de la glucosa.

**Tabla 35.** Efecto de los concentrados de fibra sobre la difusión de la glucosa

		10 min	30 min	60 min	120 min
<b>Blanco</b>		733±23B	1.876±34B	3.086±58C	4.656±64D
<b>Celulosa</b>					
	μM	713±12B	1.836±19B	3.027±43C	4.611±33D
	IRDG	2,7 X	2,2 X	1,9 X	1,0 W
<b>Cebolla entera</b>					
	μM	722 ±14B	1.765±21A	2.747±27B	3.896±51B
	IRDG	1,5 X	5,9 Z	11,0 Y	16,3 Y
<b>Pasta</b>					
	Control				
	μM	716±11Bb	1.793±11Ab	2.758±35Ba	4.107±47Cb
	IRDG	2,2 Xx	4,4 Yx	10,6 Yy	11,8 Xx
	Pasterización				
	μM	594±22a	1.674±31a	2.836±27b	4.096±23b
	IRDG	18,9 z	10,7 z	8,1x	12,0x
	Esterilización				
	μM	654±17b	1.715±18a	2.703±26a	3.774±44a
	IRDG	10,8 y	8,6 y	12,4 z	18,9y
<b>Bagazo</b>					
	Control				
	μM	683±15Aa	1.773±21Ac	2.672±28Ab	3.720±42Aa
	IRDG	6,8 Yz	5,5 Zx	13,4 Zx	20,1 Zz
	Pasterización				
	μM	710±25a	1.713±28b	2.632±23ab	4.121±61b
	IRDG	2,8x	8,3y	14,7y	11,5y
	Esterilización				
	μM	693±14a	1.580±34a	2.604±15a	4.419±48c
	IRDG	5,4 y	15,8z	15,6z	5,1x

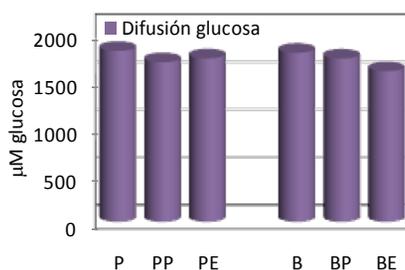
Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una columna y subproducto control con diferentes letras mayúsculas son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras minúsculas son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . IRDG Índice de retardo en la diálisis de la glucosa

El retardo en la difusión de la glucosa de los distintos concentrados de fibra se expresa mediante el índice de retardo en la diálisis de glucosa (IRDG) que aparece en la Tabla 35. El IRDG es un índice muy útil para predecir el efecto que tendrá una fibra sobre el retraso en la absorción de la glucosa en el tracto gastrointestinal (López y col., 1996). Al observar los resultados, se ve que a los 10 min, sólo existían diferencias entre el IRDG del concentrado de fibra del Bagazo (6,8) con el de la celulosa (2,7). Sin embargo, a partir de los 30 min todos los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla mostraron unos IRDG significativamente mayores que la celulosa. En general, el concentrado de la

Pasta presentó menor IRDG que el de la cebolla entera en los distintos tiempos, mientras que el concentrado del Bagazo impedía en mayor medida la difusión de la glucosa que el concentrado de cebolla entera. Según pasa el tiempo se va produciendo un aumento del IRDG, siendo en todos los concentrados de fibra de los subproductos y de la cebolla entera más alto a los 120 min que a los 10 min.

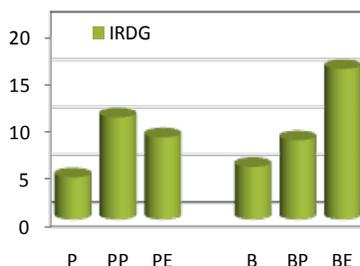
A pesar de las diferencias que existen entre los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla y de la cebolla entera, los tres concentrados, especialmente el Bagazo, podrían dificultar con éxito la difusión de la glucosa a través de la membrana de difusión y serían más eficientes que la celulosa retardando la absorción de la glucosa.

El efecto que tiene el tratamiento térmico de los concentrados de fibra sobre la difusión de la glucosa aparece reflejado en la Tabla 35 y Figura 69. En general, la cantidad de glucosa dializada disminuyó con la presencia de los concentrados de fibra de los subproductos estabilizados con respecto a los controles sin tratamiento térmico en los distintos tiempos, salvo en el Bagazo en los 10 primeros minutos y a los 120 min del ensayo y en la Pasta pasterizada a los 60 min. Sin embargo, lo que no sigue una pauta definida es el efecto de la intensidad del tratamiento, aunque en la mayoría de los casos con los productos esterilizados el contenido de glucosa en el dializado fue menor que en los pasterizados.



**Figura 69.** Efecto del tratamiento térmico sobre la glucosa dializada (30 min)

El índice de retardo en la difusión de la glucosa aumentó con respecto al control y a la celulosa con el tratamiento térmico de los productos, con las mismas excepciones descritas anteriormente. Por tanto, en general, se puede afirmar que los tratamientos de estabilización de los productos intermedios de cebolla generan unos residuos que retardan más la difusión de la glucosa que los residuos no tratados con calor (Tabla 35, Figura 70).



**Figura 70.** Efecto del tratamiento térmico sobre el IRDG (30 min)

La velocidad máxima (Tabla 36) de difusión de la glucosa en presencia de los concentrados de fibra fue significativamente menor que la del blanco y la celulosa, no existiendo diferencias significativas entre estos últimos. Tampoco se registraron diferencias entre los distintos concentrados congelados (Control).

**Tabla 36.** Efecto de los concentrados de fibra sobre la velocidad máxima de difusión de glucosa ( $\mu\text{M min}^{-1}$ )

	<b>Blanco</b>	<b>Celulosa</b>	<b>CE</b>	<b>P</b>	<b>PP</b>	<b>PE</b>	<b>B</b>	<b>BP</b>	<b>BE</b>
$V_{\text{max}}$	60,25	59,53	54,88	53,60	60,37	56,47	55,14	48,19	43,82

Si se observa la velocidad máxima de difusión de los concentrados de los subproductos estabilizados se aprecia cómo los del Bagazo (BP y BE) son los que presentan una menor velocidad máxima de difusión, lo que indica que estos residuos disminuirían notablemente la difusión de glucosa en el intestino delgado. Sin embargo, los procedentes de la Pasta tratada térmicamente poseen una velocidad de difusión mayor que la de su correspondiente control, aunque la cantidad de glucosa dializada era menor.

En los alimentos con fibra soluble e insoluble, ambas fracciones actúan simultáneamente en el retraso o bloqueo de las moléculas de glucosa (Nishimune y col., 1991). Por un lado, la viscosidad de los polisacáridos solubles producen un retardo en la difusión y absorción de la glucosa (Jenkins y col., 1986; Adiotomre y col., 1990), por otro lado la fibra insoluble supone un obstáculo físico para la difusión de la glucosa, quedando la glucosa atrapada dentro de la matriz de la fibra (Nishimune y col., 1991; López y col., 1996). En algunos estudios comparando ambas fracciones se ha observado que las fibras insolubles poseen mayores IRDG que las solubles (López y col., 1996).

Además, otro factor que influye sobre la capacidad para reducir la difusión de la glucosa sería la capacidad de la fibra para adsorber glucosa (Ou y col., 2001), lo que explicaría que el Bagazo impida en mayor medida la difusión de la glucosa, ya que posee mayor capacidad para adsorber glucosa que la Pasta. Por otro lado, como la fibra no se prehidrata, la variabilidad en las propiedades de

hidratación podrían contribuir a las diferencias registradas para la IRDG (Chau y Huang, 2003).

En base a los resultados, se podría pensar que estos concentrados de fibra, sobre todo los procedentes del Bagazo, podrían adsorber glucosa, retrasar su difusión y, por tanto, posponer la absorción de glucosa en el tracto gastrointestinal.

#### *Efecto sobre la actividad $\alpha$ -amilasa*

El efecto de los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla sobre la actividad  $\alpha$ -amilasa se presenta en términos de velocidad de producción de glucosa, actividad residual de  $\alpha$ -amilasa (%) y porcentaje de inhibición enzimática en la Tabla 37. Asimismo se realiza una comparación con la celulosa.

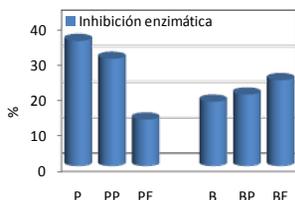
Las velocidades de producción de glucosa cuando están presentes los concentrados de fibra fueron significativamente menores que en presencia de celulosa y menor también a la del blanco. Lo mismo ocurrió con la actividad residual de la enzima, siendo ésta menor en presencia de los concentrados de fibra que de celulosa. Estos resultados indican que estos concentrados de fibra producirían un descenso más fuerte en la actividad enzimática que el provocado por la celulosa, siendo el concentrado de la Pasta el que presenta la mayor inhibición (35%). Estos resultados son similares, y superiores en el caso de la Pasta, a las del concentrado de fibra del bagazo de zanahoria cuya capacidad de inhibición de  $\alpha$ -amilasa es del 20% (Chau y col., 2004d). Además, el % de inhibición encontrado en este estudio también es superior al de los concentrados de piel de naranja (Chau y Huang, 2003). Sin embargo, el porcentaje de inhibición de los concentrados de fibra de cebolla resultó menor al observado en el RIA de la fruta estrella o carambola (53,8%), aunque para la celulosa encontraron el doble de inhibición (16,9%) que la encontrada en este estudio (8%) (Chau y col., 2004b), debido posiblemente a diferencias en el método analítico.

**Tabla 37.** Efecto de los concentrados de fibra sobre la actividad  $\alpha$ -amilasa

$\alpha$ -amilasa	Producción de glucosa $\mu\text{mol/g h}$	Actividad residual %	Inhibición %
<b>Blanco</b>	419 $\pm$ 12 D		
<b>Celulosa</b>	386 $\pm$ 9 C	92	8
<b>Cebolla entera</b>	334 $\pm$ 15 B	80	20
<b>Pasta</b>			
Control	272 $\pm$ 7 A <sup>a</sup>	65	35
Pasterización	294 $\pm$ 16 <sup>b</sup>	70	30
Esterilización	365 $\pm$ 8 <sup>c</sup>	87	13
<b>Bagazo</b>			
Control	345 $\pm$ 18B <sup>a</sup>	82	18
Pasterización	335 $\pm$ 15 <sup>a</sup>	80	20
Esterilización	318 $\pm$ 23 <sup>a</sup>	76	24

Los valores son la media  $\pm$  DE, n = 6. Las medias dentro de una columna y subproducto control con diferentes letras mayúsculas son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

Por lo que respecta al efecto de los tratamientos térmicos (Tabla 37 y Figura 71), se observó que los concentrados obtenidos de Pasta estabilizada poseían menor capacidad de inhibición de la actividad de la enzima, disminuyendo la inhibición a medida que aumentaba la intensidad del tratamiento. Sin embargo, en los concentrados del Bagazo, los tratamientos de estabilización tendieron a aumentar la inhibición de la actividad enzimática, aunque los cambios no fueron significativos.



**Figura 71.** Efecto de los tratamientos térmicos sobre la inhibición de la  $\alpha$ -amilasa

Como se puede observar cada concentrado de fibra posee una capacidad de inhibición de la actividad  $\alpha$ -amilasa diferente, lo que sugiere que esta inhibición va a depender del tipo de fibra. La inhibición de la enzima, así como el efecto sobre la digestibilidad del almidón, de los concentrados de fibra podrían ser atribuidos a varios factores entre los que se encuentran la concentración de fibra, la presencia de inhibidores en su matriz, la encapsulación del almidón y la enzima por parte de la fibra, la reducción de la accesibilidad de la enzima al almidón, y la adsorción directa de la  $\alpha$ -amilasa en la fibra, lo que conduciría a un descenso de su actividad (Moron y col., 1989; Gourge y col., 1992; Ou y col., 2001).

Estos resultados implican que los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla, debido a su capacidad de adsorción de glucosa y de inhibición de la actividad  $\alpha$ -amilasa, podrían crear un efecto coordinado en el descenso de la velocidad de absorción de la glucosa y su concentración sérica postprandial (Chau y Huang, 2004).

#### *Efecto sobre la digestibilidad de almidón*

El efecto de los concentrados de fibra, procedentes de los subproductos de cebolla, sobre la digestibilidad del almidón se mide por los cambios en los contenidos de glucosa en los dializados como función del tiempo, y aparecen reflejados en la Tabla 38.

En los 30 primeros minutos se obtuvieron resultados comparables de glucosa dializada en el blanco, la celulosa y los concentrados de fibra, lo que indica que durante este periodo no existían diferencias significativas en cuanto a la hidrólisis del almidón, ni la posterior difusión de la glucosa generada. Sin embargo, cuando aumentaba el tiempo de incubación se pudo observar cómo el concentrado del Bagazo disminuyó la cantidad de glucosa en el dializado, es decir, disminuyó la digestibilidad del almidón con respecto al blanco, existiendo diferencias significativas entre ambos a partir de los 60 min, mientras

que ni la celulosa ni los concentrados de Pasta y de cebolla entera afectaron a esta digestibilidad. En general, la inhibición de la digestibilidad del almidón que presentan los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla se observó a tiempos más prolongados que en otros concentrados de frutas y hortalizas, donde se aprecia a partir de los primeros 20 min (Ou y col., 2001; Chau y Huang, 2003), aunque otros autores encontraron resultados similares a los del presente estudio (Chau y col., 2004b). El efecto del concentrado de fibra del Bagazo podría deberse principalmente a su capacidad para retrasar la difusión de la glucosa (Tabla 35).

**Tabla 38.** Efecto de los concentrados de fibra sobre la digestibilidad del almidón

Digestibilidad almidón mM	10 min	30 min	60 min	120 min
<b>Blanco</b>	0,26±0,02A	0,42±0,03A	0,63±0,05B	0,98±0,06 B
<b>Celulosa</b>	0,25±0,01A	0,38±0,02A	0,60±0,03B	1,00±0,09 B
<b>Cebolla entera</b>	0,27±0,02 A	0,45±0,01 A	0,64±0,04 B	1,02±0,02 B
<b>Pasta</b>				
Control	0,26±0,02A <sup>b</sup>	0,44±0,01 A <sup>b</sup>	0,66±0,03B <sup>b</sup>	0,96±0,07 B <sup>b</sup>
Pasterización	0,18±0,02 <sup>a</sup>	0,30±0,03 <sup>a</sup>	0,48±0,03 <sup>a</sup>	0,71±0,05 <sup>a</sup>
Esterilización	0,17±0,01 <sup>a</sup>	0,28±0,02 <sup>a</sup>	0,50±0,02 <sup>a</sup>	0,68±0,03 <sup>a</sup>
<b>Bagazo</b>				
Control	0,27±0,01A <sup>b</sup>	0,44±0,01 A <sup>b</sup>	0,54±0,01A <sup>b</sup>	0,88±0,04A <sup>b</sup>
Pasterización	0,24±0,01 <sup>a</sup>	0,33±0,02 <sup>a</sup>	0,50±0,02 <sup>a</sup>	0,70±0,06 <sup>a</sup>
Esterilización	0,23±0,02 <sup>a</sup>	0,30±0,02 <sup>a</sup>	0,47±0,02 <sup>a</sup>	0,71±0,04 <sup>a</sup>

Los valores son la media ± DE, n = 6. Las medias dentro de una columna y subproducto control con diferentes letras mayúsculas son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ . Las medias dentro de una columna y subproducto con diferentes letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

El tratamiento térmico (Tabla 38 y Figura 72) generó unos concentrados de fibra con una mayor capacidad para interferir en la hidrólisis del almidón, y su posterior difusión, que los obtenidos a partir de los subproductos sin tratar, aunque la intensidad del tratamiento no influyó, al no existir diferencias significativas entre la digestibilidad de los productos pasterizados y

esterilizados. Sin embargo, sí existían diferencias entre éstos y el blanco, la celulosa y el concentrado sin tratar térmicamente.



**Figura 72.** Efecto del tratamiento térmico sobre la digestibilidad del almidón (60 min)

El descenso en la velocidad amilolítica podría ser atribuido a un efecto directo de la fibra sobre la actividad  $\alpha$ -amilasa, por adsorción de la enzima en la matriz de la fibra o por un descenso en la actividad debido a la viscosidad. La concentración de la fibra o la presencia de inhibidores solubles relacionados con impurezas de la fibra podrían influir también en la accesibilidad de la enzima hacia su sustrato (Gourgue y col., 1992).

## **Evaluación *in vivo* de los efectos de una dieta, rica en grasa, suplementada con subproducto de cebolla**

### *Interés del estudio*

Una vez conocidas la composición y las propiedades físico-químicas de los subproductos de cebolla, que potencialmente les conferirían unos efectos fisiológicos determinados, hay que confirmar que efectos se producen realmente en un organismo vivo. Por tanto, un estudio con animales sería una primera aproximación para conocer los efectos fisiológicos que produce un ingrediente.

El objetivo del estudio *in vivo* fue una evaluación preliminar de los posibles efectos sobre el organismo de la presencia en una dieta hiperlipídica de subproductos de cebolla. Para realizarlo se seleccionó el Bagazo pasterizado Recas por tratarse de un subproducto de características físico-químicas adecuadas, con un elevado contenido en fibra y en otros compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes. El estudio se llevó a cabo con ratas Wistar Han de seis semanas de vida, alimentadas durante cuatro semanas con una dieta rica en grasa y colesterol y suplementada con Bagazo.

### *Estudio *in vivo**

La composición de las dietas y su valor calórico se muestra en la Tabla 7 (Materiales y métodos). Tanto la dieta control como la dieta BPR son dietas ricas en grasas y colesterol, la única diferencia es que BPR fue suplementada con un 10% de Bagazo pasterizado de Recas (7,4% proteínas; 1,7% lípidos; 45% fibra alimentaria; 5,8% cenizas; 329 Kcal/ 100 g ms), lo que enriquecía la dieta con un 4,5% de fibra alimentaria. El valor calórico de ambas dietas fue similar, con una diferencia de un 3% de calorías, siendo menor el correspondiente a la dieta suplementada con el Bagazo.

La Tabla 39 resume el consumo de alimento, la tasa de crecimiento, la eficiencia de la alimentación y el peso de los órganos de las ratas alimentadas con ambas dietas. Los resultados mostraron que el consumo de alimento de las ratas alimentadas con BPR fue significativamente superior al de las ratas alimentadas con la dieta control. A pesar de esto, los animales alimentados con BPR mostraron una ganancia de peso y una eficiencia de la alimentación menor que aquellas ratas alimentadas con la dieta control. Esto tiene como consecuencia que el peso de los animales alimentados con BPR, hacia el final de la segunda semana, fue menor (tendencia) que el de los controles (Figura 73). Esta tendencia de reducción es mayor hacia el final del experimento, aunque no se encontraron diferencias significativas. Estos resultados indican que las ratas alimentadas con la dieta suplementada ganan menos peso, lo que es interesante con vista a utilizar el Bagazo de cebolla como ingrediente en la elaboración de alimentos orientados a la reducción de peso.

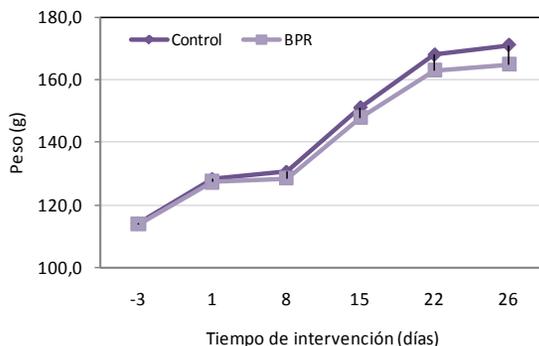
**Tabla 39.** Efecto de la dieta BPR sobre el consumo de alimento, ganancia de peso, eficacia de la alimentación y peso de los órganos.

	Control	BPR
Consumo de alimento (g/día)	10,3±1,2 <sup>a</sup>	13,7±1,1 <sup>b</sup>
Tasa de crecimiento (g/día)	1,6±0,0 <sup>b</sup>	1,4±0,1 <sup>a</sup>
Eficiencia de la alimentación*	0,155±0,002 <sup>b</sup>	0,102±0,001 <sup>a</sup>
Peso de los órganos (g mf)		
Hígado	13,2±0,5 <sup>a</sup>	14,6±0,7 <sup>a</sup>
Corazón	0,66±0,05 <sup>a</sup>	0,76±0,08 <sup>a</sup>
Riñón	1,54±0,07 <sup>a</sup>	1,60±0,03 <sup>a</sup>
Intestino delgado	8,47±0,42 <sup>a</sup>	9,29±0,38 <sup>a</sup>
Bazo	0,69±0,02 <sup>a</sup>	0,79±0,08 <sup>a</sup>

Los valores son medias ± DE, n = 5. Las medias dentro de una fila con distintas letras son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

\*Eficiencia de la alimentación = ganancia de peso por día / consumo de alimento

Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas en los pesos de los órganos de las ratas alimentadas con la dieta control y las alimentadas con la dieta enriquecida en fibra durante el periodo experimental. Esto sugiere que el consumo de la dieta BPR no afectó al peso de los órganos. Sin embargo, todos los animales tenían un hígado pálido y más grande que el de las ratas sanas. Este hecho podría ser debido a la dieta rica en grasa y colesterol, ya que las variaciones en el aspecto y en el peso del hígado están normalmente relacionadas con la cantidad de colesterol y grasas ingeridos en la dieta (Hsu y col., 2006).



**Figura 73.** Evolución del peso corporal de las ratas a lo largo del experimento

En relación a los efectos colónicos de la ingesta de la dieta rica en fibra, se encontró que al final del experimento el peso y la humedad de las heces fueron mayores en el grupo tratado con una dieta rica en fibra que en el control (Tabla 40). Estos incrementos fueron también encontrados en otros animales alimentados con dietas ricas en fibra (Chau y col., 2004c; Hsu y col., 2006; Préstamo y col., 2007) y podría ser atribuido a que al añadir un suplemento rico en fibra, se retiene mayor cantidad de agua en las heces. Esto demuestra la capacidad de la fibra de aumentar el volumen de las heces y evitar ciertos trastornos como el estreñimiento. La variación de la humedad y el peso de la heces generalmente depende del tipo, cantidad y propiedades físico-químicas de la fibra alimentaria que se consume (Hsu y col., 2006). En el presente estudio,

el aumento de la humedad de las heces fue inferior al encontrado en otros estudios (Chau y col., 2004c; Hsu y col., 2006; Préstamo y col., 2007), probablemente porque, aunque la CRA del Bagazo es buena, es inferior a la de otros subproductos, y además la densidad aparente del Bagazo es alta. Todos los animales mostraron heces suaves y mucosas, probablemente debido al alto contenido de grasa de las dietas. Además, los animales alimentados con la dieta BPR mostraron heces oscuras, al contrario que los animales alimentados sólo con la dieta control cuyas heces eran amarillas.

**Tabla 40.** Efecto del la dieta BPR sobre el peso y la humedad de las heces y el pH y peso cecal.

	Peso heces (g mf)	Humedad heces (%)	pH cecal	Peso ciegos (g)
Control	0,51±0,03 <sup>a</sup>	68±5 <sup>a</sup>	7,53±0,01 <sup>b</sup>	1,93±0,02 <sup>a</sup>
BPR	0,65±0,05 <sup>b</sup>	77±3 <sup>b</sup>	7,26±0,03 <sup>a</sup>	2,28±0,05 <sup>b</sup>

Los valores son medias ± DE, n = 5. Las medias dentro de una columna con distintas letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

El peso del ciego de las ratas alimentadas con la dieta BPR fue ligeramente mayor que el correspondiente a las ratas del grupo control. Otros autores encontraron que los carbohidratos fermentables afectaban al peso del ciego, ya que la fibra produce un aumento de la biomasa en el colon (Préstamo y col., 2007). Además, se encontró que el pH del contenido del ciego de las ratas alimentadas con la dieta BPR fue menor que el pH del ciego de las ratas control, probablemente debido a la presencia de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) producidos durante la fermentación de los carbohidratos. La producción de AGCC induce cambios en el ambiente metabólico de la luz intestinal, aparte del descenso del pH, como son incremento de la osmolaridad, crecimiento de los movimientos peristálticos, mayor masa bacteriana fecal y mayor producción de gases. Todos estos cambios en el ambiente intestinal resultan en un mayor peso y volumen, y menor consistencia de las heces, lo cual produce un óptimo tránsito intestinal. Por tanto, estos resultados sugieren que la inclusión del

Bagazo pasterizado en la dieta mejoraría la regularidad intestinal, aliviando el estreñimiento.

En la Tabla 41 aparecen reflejados algunos parámetros bioquímicos de la sangre de las ratas y en ella se observa cómo la adición del Bagazo a la dieta no modificó ninguno de ellos. Así, se puede decir que la adición del Bagazo no afectó ni a las proteínas ni a la glucosa sanguínea.

**Tabla 41.** Efecto del la dieta BPR sobre glucosa, urea y creatinina y proteínas sanguíneas.

	Glucosa (mg dL <sup>-1</sup> )	Urea (mg dL <sup>-1</sup> )	Cratinina (mg dL <sup>-1</sup> )	PT (g dL <sup>-1</sup> )	Albumina (g dL <sup>-1</sup> )	Globulina (g dL <sup>-1</sup> )
Control	98,4±5,7 <sup>a</sup>	30,9±1,3 <sup>a</sup>	0,5±0,0 <sup>a</sup>	8,0±0,3 <sup>a</sup>	4,4±0,1 <sup>a</sup>	3,6±0,2 <sup>a</sup>
BPR	104±6,2 <sup>a</sup>	31,2±2,1 <sup>a</sup>	0,5±0,0 <sup>a</sup>	7,9±0,2 <sup>a</sup>	4,4±0,2 <sup>a</sup>	3,5±0,1 <sup>a</sup>

Los valores son medias ± DE, n = 5. Las medias dentro de una columna con distintas letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .

Con respecto a los lípidos del suero, los animales de ambos grupos sufrían hipercolesterolemia e hiperlipidemia al final del experimento, con un contenido de lípidos en sangre y enzimas hepáticas (datos no mostrados) mucho mayor que el nivel encontrado en ratas sanas, como consecuencia de la dieta rica en grasas y colesterol a la que fueron sometidas. Sin embargo, el nivel de triglicéridos (TG) fue significativamente menor (35%) en las ratas alimentadas con la dieta BPR que en las alimentadas con la dieta control (Tabla 42). Estudios de los últimos años han indicado que el descenso en la concentración de triglicéridos en sangre está relacionado con un descenso del riesgo cardiovascular. La reducción del nivel de triglicéridos debido a la fibra alimentaria podría ser el resultado de la interferencia directa de ésta en la absorción de los triglicéridos, además del incremento de la excreción de triglicéridos por vía fecal (Chau y col., 2004c).

**Tabla 42.** Efecto de la dieta BPR en los lípidos del suero (mg dL<sup>-1</sup>)

	TG	CT	HDL-C	HDL: CT
Control	181±63 <sup>b</sup>	1417±54 <sup>b</sup>	346±51 <sup>b</sup>	0,24 <sup>a</sup>
BPR	117±13 <sup>a</sup>	1216±99 <sup>a</sup>	416±25 <sup>a</sup>	0,34 <sup>b</sup>

Los valores son medias ± DE, n = 5. Las medias dentro de una columna con distintas letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$

Además, las ratas alimentadas con la dieta BPR mostraron un contenido de colesterol total (CT) significativamente menor que el grupo control. Este hecho podría sugerir que la inclusión de Bagazo de cebolla en una dieta rica en grasas y colesterol podría disminuir el incremento de colesterol total en sangre. Hay que destacar que la reducción del colesterol total va acompañada de un nivel significativamente mayor del colesterol HDL (HDL-C) (20%), y en consecuencia los animales alimentados con la dieta BPR mostraron mayor relación HDL-C:CT, lo que está inversamente relacionado con el riesgo de enfermedad coronaria, incluso cuando el colesterol total es elevado (Chau y col., 2004c).

Estos resultados sugieren el potencial antiaterogénico del Bagazo de Recas. La reducción del colesterol también se encontró en animales alimentados con dietas enriquecidas en fibras con subproductos de vegetales como zanahoria, piel de naranja y okara (Chau y col., 2004c; Hsu y col., 2006; Jiménez-Escrig y col., 2008; Villanueva y col., 2011).

## **Evaluación de la utilización de los subproductos de cebolla como ingredientes alimentarios ricos en fibra**

### *Interés del estudio*

El interés de este estudio radica en la necesidad de conocer el efecto que tiene la inclusión de un ingrediente funcional en la formulación de un alimento, ya que éste debería modificar lo menos posible las características del producto original a la vez que proporcionar los efectos beneficiosos deseados. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de un subproducto de cebolla rico en fibra sobre los parámetros de calidad, nutritivos, funcionales y sensoriales de una salsa de tomate.

Para la adición se seleccionó el Bagazo de la variedad Recas por ser el subproducto que ha mostrado las mejores características (mayor contenido de fibra, mejores propiedades físico-químicas e hipoglucémicas, así como capacidad para disminuir los lípidos sanguíneos, además de presentar otros componentes funcionales como compuestos fenólicos y azufrados). El Bagazo se añadió en dos concentraciones al 0,8 (T08) y al 5% (T5). En las salsas obtenidas se realizaron varias determinaciones analíticas y un análisis de sensorial. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

### *Fibra alimentaria*

En la Tabla 43 se observa cómo la adición del ingrediente de cebolla rico en fibra produjo un incremento del contenido de fibra total del tomate de un 74% cuando se añade el ingrediente de cebolla a una concentración de 0,8%, y más de dos veces y media cuando se añade el ingrediente a una concentración del 5%. Este aumento se debió principalmente al incremento de la fracción insoluble, que se duplica cuando se añade un 0,8% de fibra y se triplica al añadir un 5% del Bagazo en polvo. La fibra soluble también aumenta, aunque

en menor medida, observándose un incremento del 40% de esta fracción en ambas salsas de tomate.

**Tabla 43.** Contenido de fibra de las salsas de tomate

mg g <sup>-1</sup> ms	FI	FS	FT	FS:FI
<b>TSF</b>	45±3 <sup>a</sup>	42±2 <sup>a</sup>	87±4 <sup>a</sup>	1:1
<b>T08</b>	93±7 <sup>b</sup>	59±4 <sup>b</sup>	152±6 <sup>b</sup>	1:1.6
<b>T5</b>	160±9 <sup>c</sup>	60±5 <sup>b</sup>	220±7 <sup>c</sup>	1:2.7

Los valores son medias ± DE, n = 6. Las medias dentro de una columna con distintas letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$

### *Propiedades físico-químicas*

Se estudiaron las propiedades de hidratación y la capacidad de retención de aceite de las distintas salsas de tomate. Como se observa en la Tabla 44 no se apreciaron diferencias significativas ni en la capacidad de hinchamiento ni en la capacidad de retención de aceite por la adición del ingrediente de cebolla. Sin embargo, al añadir el ingrediente al 5% se observó un incremento de la capacidad de retención de agua.

**Tabla 44.** Propiedades físico-químicas de las salsas de tomate

	CRA	CH	CRAc
<b>TSF</b>	4,0±0,3 <sup>a</sup>	13±1 <sup>a</sup>	1,4±0,1 <sup>a</sup>
<b>T08</b>	3,8±0,2 <sup>a</sup>	13±2 <sup>a</sup>	1,4±0,2 <sup>a</sup>
<b>T5</b>	5,0±0,1 <sup>b</sup>	13±1 <sup>a</sup>	1,4±0,2 <sup>a</sup>

Los valores son medias ± DE, n = 6. Las medias dentro de una columna con distintas letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$

### *Efecto hipoglucémico*

#### Adsorción de glucosa

Los resultados obtenidos aparecen reflejados en la Tabla 45 y revelan que todas las salsas de tomate eran capaces de unir glucosa en mayor medida que la

celulosa, al igual que ocurría con los concentrados, y que la cantidad de glucosa unida va a depender de la concentración de glucosa presente en el medio, siendo mayor cuanto más glucosa haya. Esta capacidad de las salsas enriquecidas en fibra es interesante porque reduciría la concentración de glucosa disponible en el intestino delgado (Ou y col., 2001). Sin embargo, a concentraciones bajas de glucosa no existían diferencias significativas entre la adsorción de la salsa de tomate sin adición de ingrediente y la de las salsas con Bagazo. Sin embargo, a partir de 100 mM se observa cómo los tomates con ingrediente de cebolla mostraban mayor capacidad de adsorber glucosa que el tomate sin ingrediente, destacando el tomate con un 5% de Bagazo.

**Tabla 45.** Capacidad de adsorción de glucosa de las salsas de tomate

mmol g <sup>-1</sup>	10 mM	50 mM	100 mM	200 mM
<b>Celulosa</b>	0,01±0,00 <sup>a</sup>	0,4±0,0 <sup>a</sup>	0,6±0,0 <sup>a</sup>	3,4±0,3 <sup>a</sup>
<b>TSF</b>	0,65±0,03 <sup>b</sup>	1,0±0,1 <sup>b</sup>	1,5±0,1 <sup>b</sup>	1,7±0,2 <sup>a</sup>
<b>T08</b>	0,68±0,02 <sup>b</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>	1,8±0,1 <sup>c</sup>	2,8±0,3 <sup>b</sup>
<b>T5</b>	0,69±0,02 <sup>b</sup>	1,0±0,0 <sup>b</sup>	1,9±0,1 <sup>c</sup>	4,3±0,2 <sup>c</sup>

Los valores son medias ± DE, n = 6. Las medias dentro de una columna con distintas letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$

### Difusión de glucosa

El retardo en la difusión de la glucosa de las distintas salsas de tomate se expresa mediante el índice de retardo en la diálisis de glucosa (IRDG) que aparecen en la Tabla 46. Al observar los resultados, se ve que todas las salsas de tomate producían un retardo en la difusión de la glucosa, siendo este retardo mayor en las salsas de tomate con Bagazo de cebolla que en la salsa de tomate sola (TSF). A partir de los 30 min el índice de retardo va disminuyendo, excepto en el tomate con un 5% de Bagazo que se mantiene prácticamente constante hasta los 120 min.

**Tabla 46.** Capacidad de retardo en la difusión de la glucosa (IRDG) de las salsas de tomate

	10 min	30 min	60 min	120 min
<b>Celulosa</b>	3 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>
<b>TSF</b>	18 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>
<b>T08</b>	23 <sup>c</sup>	20 <sup>c</sup>	9 <sup>b</sup>	1 <sup>a</sup>
<b>T5</b>	24 <sup>c</sup>	15 <sup>b</sup>	17 <sup>c</sup>	16 <sup>b</sup>

Los valores son medias  $\pm$  DE, n = 6. Las medias dentro de una columna con distintas letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$

#### Efecto sobre la actividad $\alpha$ -amilasa

El efecto de las salsas de tomate sobre la actividad  $\alpha$ -amilasa se presenta en términos de velocidad de producción de glucosa (expresada como  $\mu\text{mol/g h}$ ), actividad residual de  $\alpha$ -amilasa (%) y porcentaje de inhibición enzimática en la Tabla 47.

Las velocidades de producción de glucosa cuando están presentes las salsas de tomate fueron significativamente menores que la correspondiente a la celulosa y menor que la del blanco. Lo mismo ocurrió con la actividad residual de la enzima, existiendo diferencias en la actividad residual entre las salsas de tomate y la celulosa. Además, también se observaron diferencias significativas entre la salsa de tomate con Bagazo de cebolla al 0,8% y al 5%, produciendo esta última una inhibición de más del 70% de la actividad  $\alpha$ -amilasa. El presente estudio *in vitro* indica que las salsas de tomate con ingrediente de cebolla podrían retardar la tasa de producción de glucosa de manera más eficaz que la salsa de tomate sola.

**Tabla 47.** Efecto de las salsas de tomate sobre la actividad  $\alpha$ -amilasa

$\alpha$ -amilasa	Producción	Actividad	Inhibición
	glucosa	residual	
	$\mu\text{mol/g h}$	%	%
<b>Blanco</b>	419 $\pm$ 12 <sup>e</sup>		
<b>Celulosa</b>	386 $\pm$ 9 <sup>d</sup>	92	8
<b>TSF</b>	240 $\pm$ 11 <sup>c</sup>	57,1	42,1
<b>T08</b>	207 $\pm$ 14 <sup>b</sup>	49,3	50,7
<b>T5</b>	111 $\pm$ 9 <sup>a</sup>	26,5	73,5

Los valores son medias  $\pm$  DE, n = 6. Las medias dentro de una columna con distintas letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$

#### Efecto sobre la digestibilidad del almidón

El efecto de las salsas de tomate sobre la digestibilidad del almidón se mide por los cambios en los contenidos de glucosa en los dializados en función del tiempo, y aparecen reflejados en la Tabla 48. A partir de los 10 min se obtuvieron diferencias significativas entre la cantidad de glucosa presente en el dializado de las salsas de tomate, de la celulosa y del blanco. Además, también existían diferencias entre las salsas de tomate con y sin ingrediente de cebolla, manteniéndose estas diferencias durante todo el periodo de incubación. La disminución en la digestibilidad del almidón podría deberse a la combinación de la inhibición de la actividad  $\alpha$ -amilasa junto con la capacidad para adsorber glucosa y retrasar su difusión.

**Tabla 48.** Efecto de las salsas de tomate sobre la digestibilidad del almidón

mM	10min	30min	60min	120min
<b>Blanco</b>	0,26±0,02 <sup>c</sup>	0,42±0,03 <sup>c</sup>	0,63±0,05 <sup>d</sup>	0,98±0,06 <sup>c</sup>
<b>Celulosa</b>	0,25±0,01 <sup>c</sup>	0,38±0,02 <sup>c</sup>	0,60±0,03 <sup>d</sup>	1,00±0,09 <sup>c</sup>
<b>TSF</b>	0,11±0,01 <sup>b</sup>	0,25 ±0,02 <sup>b</sup>	0,38±0,01 <sup>c</sup>	0,57±0,03 <sup>b</sup>
<b>T08</b>	0,03±0,00 <sup>a</sup>	0,04±0,00 <sup>a</sup>	0,07±0,00 <sup>a</sup>	0,44±0,03 <sup>a</sup>
<b>T5</b>	0,04 ±0,00 <sup>a</sup>	0,06±0,00 <sup>a</sup>	0,12±0,01 <sup>b</sup>	0,50±0,04 <sup>a</sup>

Los valores son medias ± DE, n = 6. Las medias dentro de una columna con distintas letras en el superíndice son significativamente diferentes a  $P < 0,05$

### *Evaluación de los parámetros de calidad*

#### Color

La coloración de las distintas salsas se determinó a través de los parámetros L, a y b, empleando la fórmula que se indica a continuación y la escala que evalúa los cambios.

$$\Delta E_{ab} = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

L mide la luminosidad (0 = negro 100 = blanco), a mide de rojo a verde: rojo (a > 0) o verde (a < 0) y b de amarillo a azul: amarillo (b > 0) o azul (b < 0).

La escala de incremento de color usada para evaluar el cambio de coloración fue:

<b>Incremento de color (<math>\Delta E</math>)</b>	<b>Diferencia perceptible</b>
0-0,25	Apenas o ninguna
0,25-0,50	Leve
0,5-1,0	Leve a moderada
1,0-2,0	Moderada
2,0-4,0	Substancial
>4,0	Muy diferente

Los resultados obtenidos para la coloración de las tres salsas aparecen en la Tabla 49. La adición del ingrediente de cebolla produjo cambios en la luminosidad; cuando se añade al 0,8% aumentó con respecto al control, mientras que cuando la adición es del 5% se produjo un descenso de la misma. Además, cuando se añade el Bagazo de cebolla al 0,8% la salsa de tomate tenía una tonalidad ligeramente más rojiza con respecto al tomate original y al del 5% de ingrediente. Según el incremento de color ( $\Delta E$ ) la diferencia que se percibe entre la salsa de tomate original y la adicionada con 0,8% de cebolla es de leve a moderada, mientras que la encontrada con la del 5% es moderada.

**Tabla 49.** Efecto de la adición del ingrediente de cebolla sobre el color de la salsa de tomate.

	<b>TSF</b>	<b>T08</b>	<b>T5</b>
<b>L</b>	15,77	16,37	14,21
<b>a</b>	22,08	22,64	21,50
<b>b</b>	22,74	22,3	22,69
<b>a/b</b>	0,97	1,01	0,94
<b><math>\Delta E</math></b>		0,93	1,66

#### Otros parámetros de calidad

En la Tabla 50 aparecen reflejados distintos parámetros de calidad determinados en la salsa de tomate como son viscosidad, consistencia, pH, °Brix, acidez y contenido en grasa. Los resultados mostraron cómo la adición del ingrediente de cebolla no modificó ninguno de ellos.

**Tabla 50.** Parámetros de calidad de las salsas de tomate

	<b>TSF</b>	<b>T08</b>
<b>Viscosidad</b> (kg/ms)	781,09	766,24
<b>Consistencia</b> (cm/30s)	8,5	7,67
<b>pH</b>	4,15	4,11
<b>°Brix</b>	14,24	13,85
<b>Acidez</b> (g/100mL)	0,43	0,45
<b>Grasa</b> (%)	3,69	3,70

Datos obtenidos del CNTA

### *Análisis sensorial*

Mediante pruebas sensoriales afectivas se compararon la salsa de tomate sola (TSF) y la salsa de tomate con el ingrediente de cebolla al 0,8% (T08). En primer lugar se pretendía evaluar cuál de las salsas de tomate era la preferida, para lo que se usó una prueba afectiva de preferencia, y en segundo lugar se evaluó el grado de satisfacción mediante una escala hedónica de nueve puntos. Además, se evaluaron distintos atributos del tomate para encontrar cuáles eran las principales diferencias entre ambas. El panel de catadores estaba integrado por 30 jueces no expertos.

### Prueba de preferencia

En la prueba de preferencia se pretendía conocer cuál de las dos salsas de tomate frito elegían mediante un cuestionario sencillo y de respuesta cerrada: ¿Qué salsa de tomate prefiere? Además, en el cuestionario se incluyó una sección de comentarios para conocer el motivo de tal preferencia (Figura 73). Para la interpretación de los resultados es necesario consultar la Tabla de significación (Figura 26, Materiales y métodos) en la columna “prueba de dos colas”.

**Producto:** Salsa de tomate

**Fecha:** \_\_\_\_\_

Pruebe las dos muestras que se le presentan  
Primero pruebe la marcada con TSF  
y después la muestra T08

**INDIQUE CUAL DE LAS DOS MUESTRAS PREFIERE USTED**

**PREFIERO LA MUESTRA**

Comentarios: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

MUCHAS GRACIAS

\_\_\_\_\_

**Figura 73.** Cuestionario de la prueba afectiva de preferencia

Los resultados obtenidos aparecen reflejados en la Tabla 51. Si se observa la Tabla de significación (Figura 26, Materiales y métodos) para que existiera diferencia significativa entre ambos productos debería haber habido 21 respuestas coincidentes, por tanto no existieron diferencias significativas de preferencia entre ambas muestras.

**Tabla 51.** Resultados de la prueba afectiva de preferencia

	Nº de respuestas	
	TSF	T08
Preferencia	18	12

### Grado de satisfacción

Con el estudio del grado de satisfacción se pretendía obtener más información acerca del producto y saber cuánto les gustaba o disgustaba la salsa de tomate con el ingrediente de cebolla (T08) y la salsa de tomate control (TSF). Para su realización se utilizó el cuestionario de la Figura 74 que se basa en una escala

hedónica verbal de nueve puntos. Para la interpretación de los resultados se realizó un análisis de varianza para determinar si había diferencias significativas, dando valores numéricos a las respuestas, tal como se indica en la Figura 27 del apartado de materiales y métodos.

---

**Producto:** Salsa de tomate **Fecha:** \_\_\_\_\_

Marque con una **X** en el lugar que indique su opinión acerca de cada muestra

ESCALA	TSF	T08
Me gusta muchísimo	_____	_____
Me gusta mucho	_____	_____
Me gusta bastante	_____	_____
Me gusta ligeramente	_____	_____
Ni me gusta ni me disgusta	_____	_____
Me disgusta ligeramente	_____	_____
Me disgusta bastante	_____	_____
Me disgusta mucho	_____	_____
Me disgusta muchísimo	_____	_____

Comentarios: \_\_\_\_\_

---

MUCHAS GRACIAS

---

**Figura 74.** Cuestionario para la evaluación del grado de satisfacción

Las medias de los resultados obtenidas en la prueba de grado de satisfacción aparecen reflejadas en la Tabla 52 y en ella se observa que no se encontraron diferencias significativas entre ambas salsas de tomate.

**Tabla 52.** Resultados de la prueba afectiva de grado de satisfacción

	Media de la puntuación	
	TSF	T08
Grado de satisfacción	2,9 ± 0,1 <sup>a</sup>	2,7 ± 0,1 <sup>a</sup>

Los comentarios obtenidos en ambos estudios indican que la salsa de tomate con el Bagazo de cebolla presentaba una textura menos homogénea y una sensación más picante, aunque no se apreciaron diferencias en cuanto al sabor y al olor en la mayor parte de los casos.

## Conclusiones

La capacidad de los concentrados de fibra de los subproductos de cebolla para adsorber glucosa, disminuir su difusión y reducir la actividad  $\alpha$ -amilasa es indicativo de su facultad para crear un efecto hipoglucémico coordinado, retrasando la liberación de glucosa a partir del almidón, reduciendo la velocidad de absorción del azúcar y, por tanto, su concentración sérica postprandial. Esto sugiere que se podrían incorporar como ingredientes para crear alimentos funcionales ricos en fibra que disminuyeran los niveles de glucosa sérica postprandial y reducir las calorías. De cualquier modo hay que llevar a cabo más estudios para saber si estos residuos actúan como inhibidores o simplemente como una barrera.

La incorporación del Bagazo pasterizado de cebolla, subproducto rico en fibra, en la dieta hiperlipídica de ratas Wistar Han produjo un aumento del peso y humedad de las heces, junto con un descenso del pH del colon, lo que confirma la capacidad de la fibra para evitar ciertos trastornos intestinales. Además, su inclusión ralentizó la ganancia de peso de las ratas, lo que podría ser interesante para usar el Bagazo de cebolla en la elaboración de alimentos orientados a la reducción del peso.

Asimismo, la dieta suplementada con Bagazo parece tener un efecto de reducción del incremento en los niveles de colesterol y lípidos sanguíneos inducido por la dieta rica en grasas y colesterol. Este efecto puede ser debido a las altas capacidades de intercambio catiónico e hinchamiento encontradas en el Bagazo, ya que estas propiedades pueden ejercer una actividad coordinada para reducir el número de micelas intactas, el tiempo de tránsito intestinal y, en

consecuencia, el tiempo total disponible para la absorción del colesterol en el intestino delgado.

La utilización del Bagazo de cebolla como ingrediente de una salsa de tomate ha dado lugar a un alimento cuyos parámetros de calidad son equiparables a los de la salsa original pero con un contenido de fibra significativamente superior. Sus efectos hipoglucémicos *in vitro* le conferirían características de alimento funcional por su capacidad para disminuir los niveles de glucosa sérica postprandial y su valor calórico. Además, el análisis sensorial indica que no existen diferencias significativas en cuanto a la preferencia de ambos productos y que producen un grado de satisfacción semejante, por lo que se podría concluir que la adición del Bagazo de cebolla no modifica la calidad de la salsa de tomate.



## **Conclusiones**

---



El análisis de los resultados reflejados en el presente trabajo permite llegar a las siguientes conclusiones:

1. Los residuos industriales de cebolla muestran una gran potencialidad como materia prima para la obtención de ingredientes alimentarios con carácter funcional. Así, la piel marrón y la base-cuello del bulbo podrían ser potencialmente empleadas como fuente de fibra alimentaria (principalmente insoluble) y compuestos fenólicos con elevada capacidad antioxidante; las capas carnosas externas serían especialmente interesantes por su riqueza en flavonoles y con apreciables contenidos de fibra alimentaria equilibrada. Por otro lado, los excedentes de cebolla, adecuadamente procesados, constituyen una base idónea para el desarrollo de ingredientes alimentarios funcionales.
2. El procesamiento de los excedentes de cebolla que da lugar a Bagazo y Zumos, por un lado, y a Pasta, por otro, demostró ser de gran interés por el potencial aprovechamiento de estos subproductos, especialmente de la variedad Recas. El Bagazo podría considerarse como el prototipo de subproducto enriquecido en fibra alimentaria, manteniendo una adecuada proporción de las cualidades de la cebolla, como son el carácter prebiótico y la presencia de compuestos azufrados. El Zumo constituye básicamente un subproducto enriquecido en carbohidratos no estructurales, con una proporción de fructooligosacáridos y fructanos superior a la encontrada en cebolla entera. La Pasta podría considerarse de interés como concentrado de precursores del aroma de cebolla y por reunir todas las cualidades específicas de la cebolla.
3. Los tratamientos térmicos de estabilización de los subproductos producen un ligero descenso del contenido de fibra alimentaria total, acompañado de la solubilización de parte de la fracción insoluble, con la consiguiente mejora de la relación entre las dos fracciones de fibra. Por el contrario, estos

tratamientos provocan importantes pérdidas de compuestos prebióticos (fructooligosacáridos), por lo que no resultan adecuados para la estabilización de subproductos enriquecidos en estos compuestos. Todos estos cambios son más acusados en el caso de la esterilización.

4. El Bagazo es el subproducto que muestra mejores propiedades físico-químicas, al tratarse del producto menos denso, con una mayor capacidad de retención de aceite, de intercambio catiónico y de gelificación, junto con unas óptimas propiedades de hidratación, que se deben principalmente a su elevado contenido de fibra y a la composición de la misma. Aunque los tratamientos térmicos aplicados para la estabilización del subproducto provocan, por lo general, un relativo empeoramiento de sus propiedades físico-químicas, el Bagazo pasterizado mantiene unas propiedades adecuadas para el potencial desarrollo de ingredientes alimentarios funcionales con características múltiples.
5. Los concentrados de fibra obtenidos por extracción etanólica de los subproductos suponen un enriquecimiento medio en esta fracción de 2,5 veces con respecto al subproducto de origen y muestran unas propiedades físico-químicas excelentes, por lo que resultan idóneos para su utilización como ingredientes alimentarios ricos en fibra.
6. La capacidad *in vitro* de los concentrados de fibra de cebolla para adsorber glucosa, disminuir su difusión y reducir la actividad  $\alpha$ -amilasa sugiere que éstos podrían crear un efecto hipoglucémico coordinado, por lo que resultaría de gran interés su incorporación como ingredientes para el desarrollo de alimentos funcionales ricos en fibra con capacidad potencial para disminuir los niveles de glucosa sérica postprandial y reducir las calorías.

7. La incorporación del Bagazo pasterizado de cebolla en la dieta hiperlipídica de ratas Wistar Han produjo un aumento del peso y humedad de las heces, junto con un descenso del pH del colon, además de ralentizar la ganancia de peso de las ratas y reducir el incremento en los niveles de colesterol y lípidos sanguíneos inducidos por una dieta rica en grasa y colesterol. Estos resultados sugieren que el Bagazo de cebolla es un producto que podría presentar propiedades interesantes en relación con la mejora de ciertos trastornos intestinales, la reducción del peso y los posibles efectos de protección cardiovascular.
  
8. Los ensayos realizados sobre la utilización del Bagazo de cebolla como ingrediente de una salsa de tomate han puesto de manifiesto la mejora de sus propiedades nutricionales, a la vez que mantienen las características sensoriales y los parámetros de calidad equiparables a los de la salsa original.

Los resultados obtenidos a lo largo del presente estudio ponen en evidencia que los subproductos de cebolla muestran un importante campo de aplicación tecnológica potencial y, unido a futuras investigaciones sobre sus efectos fisiológicos en humanos, podrían emplearse en el desarrollo de nuevos alimentos funcionales.



## **Bibliografía**

---



- Abayomi LA, Terry LA (2009) Implications of spatial and temporal changes in concentration of pyruvate and glucose in onion (*Allium cepa* L.) bulbs during controlled atmosphere storage. *J Sci Food Agric* 89: 683-687
- Abdulah R, Miyazaki K, Nakazawa M, Koyama H (2005) Chemical forms of selenium for cancer prevention. *J Trace Elem Med Biol* 19: 141-150
- Adiotomre J, Eastwood MA, Edwards CA, Brydon WG (1990) Dietary fiber: in vitro methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. *Am J Clin Nutr* 52: 128-134
- Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (2001) Report apports nutritionnels conseillés pour la population française, France.
- Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (2002) Les fibres alimentaire: définitions, méthodes de dosage, allégations nutritionnelles. Rapport du comité d'experts spécialisé nutrition humaine. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, France.
- Aherne SA, O'Brien NM (2002) Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. *Nutr* 18:75-81
- Ali M, Bordia T, Mustafa T (1999) Effect of raw *versus* boiled aqueous extract of garlic and onion on platelet aggregation. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 60:43-47
- Ali M, Thomson M, Afzal M (2000) Garlic and onions: their effect on eicosanoid metabolism and its clinical relevance. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 62:55-73
- American Association of Cereal Chemists, AACC (2001) The definition of dietary fiber. Dietary Fiber Technical Committee. *Cereal Foods World*, 46:112-126.
- AOAC (1995) Official Methods of analysis, 16<sup>th</sup> edn. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Ariyama K, Aoyama Y, Mochizuki A, Homura Y, Kadokura M, Yasui A (2007) Determination of the geographic origin of onions between three main production areas in Japan and other countries by mineral composition. *J Agric Food Chem* 55(2): 347-354
- Ariyama K, Horita H, Yasui A (2004) Application of inorganic element ratios to chemometrics for determination of the geographic origin of Welsh onions. *J Agric Food Chem* 19: 5803-5809
- Ashwell M (2001) Functional foods: a simple scheme for establishing the scientific basis for all claims. *Public Health Nutr* CABI Publishing: Oxford, UK, Vol. 4, pp 859-862

- Babu PS, Srinivasan K (1999) Renal lesions in streptozotocin-induced diabetic rats maintained on onion and capsaicin containing diets. *J Nutr Biochem* 10: 477-483
- Bach Knudsen KE (2001). The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. *Animal Feed Sci Technol* 90: 3-20
- Bacon JR, Moates GK, Ng A, Rhodes MJC, Smith AC, Waldron KW (1999) Quantitative analysis of flavour precursors and pyruvate levels in different tissues and cultivars of onion (*Allium cepa*). *Food Chem* 64: 257-261
- Beesk N, Perner H, Schwarz D, George E, Kroh LW, Rohn S (2010) Distribution of quercetin-3,4'-O-diglucoside, quercetin-4'-O-monoglucoside, and quercetin in different parts of the onion bulb (*Allium cepa* L.) influenced by genotype. *Food Chem* 122: 566-571
- Bender FE, Douglass LW, Kramer A (1989) Statistical methods for food and agriculture. Bender FE, Douglass LW, Kramer A (eds). New York-London: Food Products Press
- Bennett WG, Cerda JJ (1996) Benefits of dietary fiber. *Dietary Fiber* 99: 153-172
- Benzie FF, Strain JJ (1999) Ferric Reducing/Antioxidant Power Assay: Direct Measure of Total antioxidant Activity of Biological Fluids and Modified Version for Simultaneous Measurement of Total Antioxidant Power and Ascorbic Acid Concentration. *Methods Enzymol* 299: 15-23
- Berger M, Venhaus A (1992) Dietary fibre in the prevention and treatment of Diabetes Mellitu. En: Schweizer TF, Edwards CA (eds), *Dietary fiber- A component of food nutritional function in health and disease*. London : Springer-Verlag, pp 181-196
- Bibak A, Behrens A, Strup S, Knudsen L, Gundersen V (1998) Concentrations of 63 major and trace elements in Danish agricultural crops measured by inductively coupled plasma mass spectrometry. 1. Onion (*Allium cepa* Hysam). *J Agric Food Chem* 46(8): 3139-3145
- Bingham SA, Day NE, Luben R, Ferrari P, Slimani N, Norat T, Clavel-Chapelon F, Kesse E, Nieters A, Boeing H, Tjønneland A, Overvad K, Martinez C, Dorransora M, González CA, Key TJ, Trichopoulou A, Naska A, Vineis P, Tumino R, Krogh V, Bueno-de-Mesquita HB, Peeters PHM, Berglund G, Hallmans G, Lund E, Skeie G, Kaaks R, Riboli E (2003) Dietary fiber in food and protection against colorectal cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC): an observational study. *Lancet* 361: 1496-1501
- Bischoff SC (2008) Quercetin: potentials in the prevention and therapy disease. *Curr Opin Nutr Metab Care* 11:733-740

- Blecker C, Fougnyes C, Van Herck JC, Chevalier JP, Paquot M (2002) Kinetic study of the acid hydrolysis of various oligofructose samples. *J Agric Food Chem* 50: 1602-1607
- Block E, Gulati H, Putman D, Sha DY, You NN, Zhao SH (1997) *Allium* chemistry: Synthesis of 1-[alk(en)ylsulfinyl]propyl alk(en)yl disulfides (cepaenes), antithrombotic flavorants from homogenates of onion (*Allium cepa*). *J Agric Food Chem* 45: 4414-4422
- Bohm A, Kaiser I, Trebstein A, Henle T (2005) Heat-induced degradation of inulin. *Eur Food Res Technol* 220: 466-471
- Bohm A, Kleessen B, Henle T (2006) Effect of dry heated inulin on selected intestinal bacteria. *Eur Food Res Technol* 222: 737-740
- Bohmig GA, Krieger PM, Saemann MD, Wenhardt C, Pohanka E, Zlabinger GJ (1997) n-Butyrate downregulates the stimulatory function of peripheral blood-derived antigen-presenting cells: a potential mechanism for modulating T-cell responses by short-chain fatty acids. *Immunology* 92: 234-243
- Bonaccorsi P, Caristi C, Gargiulli C, Leuzzi U (2008) Flavonol glucosides in *Allium* species: A comparative study by means of HPLC-DAD-ESI-MS-MS. *Food Chem* 107: 1668-1673
- Bornet FR, Jardy-Gennetier AE, Jacquet N, Stowell J (2007) Glycaemic response to foods: impact on satiety and long-term weight regulation. *Appetite* 49: 535-553
- Bornet FRJ, Billaux MS, Messing B (1997) Glycaemic index concept and metabolic diseases. *Int J Biol Macromol* 21: 207-219
- Bornet FRJ, Bronds F, Tashiro Y, Duvillier V (2002) Nutritional aspects of short-chain fructooligosaccharides: natural occurrence, chemistry, physiology and health implications. *Digest liver dis* 34: 111-120
- Bratakos MS, Zafiroopoulos TF, Siskos PA, Ioannou PV (1987) Selenium in foods produced and consumed in Greece. *J Food Sci* 52: 817-822
- Bravo L, Abia R, Goñi I, Saura-Calixto F (1995) Possible common properties of dietary fibre constituents and polyphenols. *Eur J Clin Nutr* 49: 211-214
- Bravo L, Abia R, Saura-Calixto F (1994) Polyphenols as dietary fibre associated compounds. Comparative study on in vivo and in vitro properties. *J Agric Food Chem* 42 (7): 1481-1487
- Buddington KK, Donahoo JB, Buddington RK (2002) Dietary oligofructose and inulin protect mice from enteric and systemic pathogens and tumor inducers. *J Nutr* 132: 472-477

- Caridi D, Trenerry VC, Rochfort S, Duong S, Laughler D, Jones R (2007) Profiling and quantifying quercetin glucosides in onion (*Allium cepa* L.) varieties using capillary zone electrophoresis and high performance liquid chromatography. *Food Chem* 105: 691-699
- Cervera P, Clapes J, Rigolfas R (1999) *Alimentación y Dietoterapia*. McGraw-Hill Interamericana, Madrid.
- Chandalia M, Garg A, Lutjohann D, Von Bergmann K, Grundy SM, Brinkley LJ (2000) Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with type 2 Diabetes Mellitus. *New Engl J Med* 342: 1392-1398
- Chau CF, Chen CH, Lee MH (2004a) Characterization and physicochemical properties of some potential fibres derived from *Averrhoa carambola*. *Narung Food* 48: 43-46
- Chau CF, Chen CH, Lin CY (2004b) Insoluble fiber-rich fractions derived from *Averrhoa carambola*: hypoglycemic effects determined by in vitro methods. *Lebensm-Wiss u-Technol* 37: 331-335
- Chau CF, Cheung PCK (1998) Functional properties of flour prepared from three Chinese indigenous legume seeds. *Food Chem* 61(4): 429-433
- Chau CF, Huang YL (2003) Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibres prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. cv. Liucheng. *J Agric Food Chem* 51: 2615-2618
- Chau CF, Huang YL (2004) Characterization of passion fruit seed fibres- a potential fibre source. *Food Chem* 85: 189-194
- Chau CF, Huang YL, Lin CY (2004c) Investigation of the cholesterol-lowering action of insoluble fiber derived from the peel of *Citrus sinensis* L. cv. Liucheng. *Food Chem* 87: 361-366.
- Chau CF, Chen CH, Lee MH (2004d) Comparison of the characteristics, functional properties, and in vitro hypoglycemic effects of various carrot insoluble fiber-rich fractions. *Lebensm-Wiss u-Technol* 37: 155-160
- Chope GA, Terry LA (2009) Use of canonical variate analysis to differentiate onion cultivars by mineral content as measured by ICP-AES. *Food Chem* 115: 108-1113
- Chope GA, Terry LA, White PJ (2006) Effect of controlled atmosphere storage on abscisic acid concentration and other biochemical attributes of onion bulbs. *Postharvest Biol Technol* 39: 233-242

- Chope GA, Terry LA, White PJ (2007) The effect of the transition between controlled atmosphere and regular atmosphere storage on bulbs of onion cultivars SS1, Carlos and Renate. *Postharvest Biol Technol* 44: 228-239
- Choque-Delgado GT, Tamashiro WMSC, Pastore GM (2010) Immunomodulatory effects of fructans. *Food Res Int* 43:1231-1236
- Christian TJ, Manley-Harris M (2000) Kinetics of Formation of Di-D-fructose Dianhydrides during Thermal Treatment of Inulin. *J Agric Food Chem* 48:1823-1837
- Codex Alimentarius Commission (CAC) (2006). Report of the 27th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses, Bonn, Germany 21-25 November 2005. ALINORM 06/29/26, 2006
- Colin-Henrion M, Mehinagic E, Renard CMGC, Richomme P, Jourjon F (2009) From apple to applesauce: Processing effects on dietary fibres and cell wall polysaccharides. *Food Chem* 117: 254-260
- Corzo-Martínez M, Corzo N, Villamiel M (2007) Biological properties of onions and garlic. *Trends Food Sci Technol* 18: 609-625
- Cummings JH (1981) Dietary fibre. *Br Med Bull* 37:65-70
- Darbyshire B, Henry RJ (1981) Differences in fructan content and synthesis in some *Allium* species. *New Phytol* 87: 249-256
- Davis F, Terry LA, Chope GA, Faul CFJ (2007) Effect of Extraction Procedure on Measured Sugar Concentrations in Onion (*Allium cepa* L.) Bulbs. *J Agric Food Chem* 55: 4299-4306
- Davis JM, Murphy EA, Carmichael MD, Davis B (2009) Quercetin increases brain and muscle mitochondrial biogenesis and exercise tolerance. *Am J Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 296: R1071-R1077
- Department of Health (1991) Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients in the United Kingdom. HMSO, London
- Díaz-Rubio ME (2008) Fibra dietética en bebidas de la dieta. Determinación composición y contribución a la ingesta de fibra. Tesis doctoral. Departamento de Físico-Química Aplicada, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España
- Dini I, Tenore GC, Dini A (2008) Chemical composition, nutritional value and antioxidant properties of *Allium cepa* L. Var. tropeana (red onion) seeds. *Food Chem* 107: 613-621

- Diplock AT, Aggett PJ, Ashwell M, Bornet F, Fern EB, Roberfroid MB (1999). Scientific concepts of functional foods in Europe: consensus document. *Br J Nutr* 81 (Suppl): 1-27
- Dorant E, Van Den Brandt PA, Goldbohm RA, Sturmans F (1996) Consumption of onions and a reduced risk of stomach carcinoma. *Gastroent* 110:12-20
- Downes K, Chope GA, Terry LA (2009) Effect of curing at different temperatures on biochemical composition of onion (*Allium cepa* L.) skin from three freshly cured and cold stored UK-grown onion cultivars. *Postharvest Biol Technol* 54: 80-86
- Downes K, Chope GA, Terry LA (2010) Postharvest application of ethylene and 1-methylcyclopropene either before or after curing affects onion (*Allium cepa* L.) bulb quality during long term cold storage. *Postharvest Biol Technol* 55: 36-44
- Dust JM, Gajda AM, Flickinger EA, Brukhalter TM, Merchen NR, Fahey GC (2004) Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of select food ingredients. *J Agric Food Chem* 52: 2989-2996
- Eastwood MA (1992) The physiological effects of dietary fibre: An updated. *Ann Rev Nutr* 55:436-442
- Effendy JL, Simmons DL, Campbell GR, Campbell JH (1997) The effect of aged garlic extract "Kyolic", on the development of experimental atherosclerosis. *Atherosclerosis* 132: 37-42
- El-Demerdash FM, Yousef MI, Abou El-Naga NI (2005) Biochemical study on the hypoglycemic effects of onion and garlic in alloxan-induced diabetic rats. *Food Chem Toxicol* 43: 57-63
- Englyst HN, Wiggins HS, Cummings JH (1982) Determination of non-starch polysaccharides in plant food by gas-liquid chromatography of constituents sugars as alditol acetates. *Analist* 197: 307:318
- Escudero Álvarez E, González Sánchez P (2006) La fibra dietética. *Nutr Hosp* 21: 61-72
- Esteban RM, Mollá E, Valiente C, Jaime L, Lopez-Andréu FJ, Martin-Cabrejas MA (1998) Dietary fibre: chemical and physiological aspects. *Rec Res Dev Agric Food Chem* 2: 293-308
- FAO Statistics (2011) Productions, crops. Retrieved 21 April from <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>
- Femenia A, García-Pascual P, Simal S, Roselló C (2003) Effects of heat treatment and dehydration on bioactive polysaccharide *acemannan* and cell wall polymers from *Aloe barbadensis* Miller. *Carbohydr Polym* 51: 397-405

- Femenia A, Lefebvre AC, Thebaudin JY, Robertson JA, Bourgeois CM (1997) Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *J Food Sci* 62: 635-639
- Femenia A, Selvendran RR, Ring SG, Robertson JA (1999) Effects of Heat Treatment and dehydration on Properties of Cauliflower Fiber. *J Agric Food Chem* 47: 728-732
- Figuerola F, Hurtado ML, Estévez AM, Chiffelle I, Asenjo F (2005) Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potencial fibre sources for food enrichment. *Food Chem* 91: 395- 401
- Flourie B (1992) The influence of dietary fiber on carbohydrate digestion and absorption. En: Schweizer TF, Edwards CA (eds), *Dietary fiber: A component of food nutritional function in health and disease*. London: Springer-Verlag, pp 181-196
- Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (2004) *Carbohydrates in Human Nutrition*. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, FAO/WHO, Rome, Italy
- Furda I (1990) Interaction of dietary fiber with lipids mechanistic theories and their limitations. En: Furda I, Brine CJ (eds), *New developments in dietary fiber*. New York : Plenum Press, pp 67-82
- Gabler NK, Osrowska E, Imsic M, Eagling DR, Jois M, Tatham BG, Dunshea FR (2006) Dietary onion intake as part of a typical high fat diet improves indices of cardiovascular health using the mixed sex pig model. *Plant Food Human Nutr* 61:179-185
- Gallaher y Schneeman, 2001 Gallaher D, Schneeman BO (2001) Dietary fiber. En: Bowman B, Russel R (eds), *Present knowledge in nutrition* Washington DC: ILSI, pp 805
- Gao CM, Takezaki T, Ding JH, Li MS, Tajima K (1999) Protective effect of allium vegetables against both esophageal and stomach cancer: A simultaneous case referent study of a high-epidemic area in Jiangsu province, China. *Japanese Journal of Cancer Research* 90: 614-621
- Garau MC, Simal S, Roselló C, Femenia A (2007) Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. *Food Chem* 104: 1014-1024
- García Peris P, Velasco Gimeno C (2007) Evolución en el conocimiento de la fibra. *Nutr Hosp* 22 :20-25

- García Peris P, Bretón Lesmes I, de la Cuerda Compes C, Camblor Álvarez M (2002) Metabolismo colónico de la fibra. *Nutr Hosp* 17: 11-16
- Gennaro L, Leonardi C, Esposito F, Salucci M, Maiani G, Quaglia G, Fogliano V (2002) Flavonoid and Carbohydrate Contents in Tropea Red Onions: Effects of Homelike Peeling and Storage. *J Agric Food Chem* 50: 1904-1910
- German Nutrition Society/Deutsche Gesellschaft für Ernährung (2000) Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Vereinigung für Ernährung. Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr (1st edition). Frankfurt am Main: Umschau/Braus
- Gibson GR, Probert HM, Loo JV, Rastall RA, Roberfroid MB (2004) Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics *Nutr Res Rev* 17: 259-275
- Gibson GR, Roberfroid MB (1995) Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics. *J Nutr* 125: 1401-1412
- Gil J (1999) Estudio del contenido de fibra alimentaria y de retención de minerales en diferentes tejidos de cebolla (*Allium cepa* L.). Trabajo de licenciatura, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
- Glasser G, Graefe EU, Struck F, Veit M, Gebhardt R (2002) Comparison of antioxidative capacities and inhibitory effects on cholesterol biosynthesis of quercetin and potential metabolites. *Phytomedicine* 9: 33-40
- Goldman IL, Kopelberg M, Debaene JEP, Schwartz BS (1996) Antiplatelet activity in onion (*Allium cepa*) is sulfur dependent. *Thrombosis and Haemostasis*, 76:450-452
- González-Sáiz JM, Esteban-Díez I, Rodríguez-Tecedor S, Pizarro C (2008) Valorization of Onion Waste and By-Products: MCR-ALS Applied to Reveal the Compositional Profiles of Alcoholic Fermentations of Onion Juice Monitored by Near-Infrared Spectroscopy. *Biotechnol Bioeng* 101: 776-787
- González-Sáiz JM, Pizarro C, Esteban-Díez I, Ramirez O, González-Navarro CJ, Sáiz-Abajo MJ, Itoiz R (2007) Monitoring of alcoholic fermentation of onion juice by NIR spectroscopy: valorization of worthless onions. *J Agric Food Chem* 55: 2930-2936
- Goñi I, Díaz-Rubio ME, Pérez-Jiménez J, Saura-Calixto F (2009) Towards an updated methodology for measurement of dietary fibre, including associated polyphenols, in food and beverages. *Food Res Int* 42: 840-846

- Gourgue CMP, Champ MMJ, Lozano Y, Delort-Laval LJ (1992) Dietary fiber from mango by-products. Characterization and hypoglycaemic effects determined by in vitro methods. *J Agric Food Chem* 40: 1864-1868
- Gray J (2006) Dietary fiber definition, analysis, physiology & health. In Champ M (ed) Brussels, Belgium: ILSI Europe
- Griffiths G, Trueman L, Crowther T, Thomas B, Smith B (2002) Onions-A global benefit to health. *Phytother Res* 16: 603-615
- Grigelmo-Miguel N, Gorinstein S, Martin-Belloso O (1999) Characterisation of peach dietary fibre concentrate as a food ingredient *Food Chem* 65 175- 181
- Grigelmo-Miguel N, Martin-Belloso O (1999a) Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. *Food Res Int* 31 (5): 355-361
- Grigelmo-Miguel N, Martin-Belloso O (1999b) Comparison of Dietary Fiber from by-products of processing fruits and greens and from cereals. *LWT - Food Sci Technol* 32: 503-508
- Guijarro A (1999) Estudio analítico de la fibra alimentaria en cebolla (*Allium cepa* L.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Madrid
- Guillon F, Champ M, Thibault JF (2000). Dietary fibre functional products. En: GR Gibson y CM Williams (eds.). *Functional Foods*. Woodhead Publishing, Cambridge, England: pp 315-355
- Guillon F, Champ MMJ (2000) Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research Int* 33: 233-245
- Guillon F, Champ MMJ (2002) Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. *Br J Nutr* 88: 293-306
- Ha MA, Jarvis MC, Mann JL (2000) A definition for dietary fibre. *Eur J Clin Nutr* 54: 861-864
- Health Council of the Netherlands (2006) Guideline for dietary fibre intake. The Hague, 2006: publication no. 2006/03E, 2006
- Henry RJ, Darbyshire B (1980) Sucrose:sucrose fructosyltransferase and fructan:fructan fructosyltransferase from *Allium cepa*. *Phytochem* 19: 1017-1020
- Hipsley EH (1953) Dietary fibre and pregnancy toxemia. *Britt Med J* 2:636-639
- Hirota S, Shimoda T, Takahama U (1998) Tissue and spatial distribution of flavonol and peroxidase in onion bulbs and stability of flavonol glucosides during boiling of the scales. *J Agric Food Chem* 46: 3497-3502

- Hogarth AJCL, Hunter DE, Jacobs WA, Garleb KA, Wolf BW (2000) Ion chromatographic determination of three fructooligosaccharide oligomers in prepared and preserved foods. *J Agric Food Chem* 48: 5326-5330
- Hollman PC, de Vries JH, van Leeuwen SD, Mengelers MJ, Katan MB (1995) Absorption of dietary quercetin glycosides and quercetin in healthy ileostomy volunteers. *Am J Clin Nutr* 62:1276-1282
- Holt S, Muntyan I, Likyer L (1996) Soya-based diets for Diabetes Mellitus. *Alternative & Complementary Therapies*, March/April 1996
- Holt SHA, Brand-Miller JC, Stitt PA (2001) The effects of equal-energy portions of different breads on blood glucose levels, feelings of fullness and subsequent food intake. *J Am Diet Assoc* 101: 767-773
- Horiuchi JL, Yamauchi N, Osugi M, Kanno T, Ebie K (2004) Biological approach for effective utilisation of worthless onions-vinegar production and composting. *Resour Conserv Recycl* 40: 97-109
- Howlet J (2008) Functional foods. From science to health and claims. ILSI Europe Concise Monograph Series. Brussels: ILSI
- Hsing AW, Chokkalingam AP, Gao YT, Madigan MP, Deng J, Gridley G, Fraumeni JF (2002) Allium Vegetables and Risk of Prostate Cancer: A Population-Based Study. *J Natl Cancer Inst* 94: 1648-1651
- Hsu PK, Chien PJ, Chen CH, Chau CF (2006) Carrot insoluble fiber-rich fraction lowers lipid and cholesterol absorption in hamsters. *LWT- Food Sci Technol* 39: 337-342
- Hu JF, La Vecchia C, Negri E, Chatenoud L, Bosetti C, Jia XY, Liu RZ, Huang GR, Bi DZ, Wang CX (1999) Diet and brain cancer in adults: A case-control study in northeast China. *International Journal of Cancer* 81: 20-23
- Hubbard GP, Wolfram S, de Vos R, Bovy A, Gibbins JM, Lovegrove JA (2006) Ingestion of onion soup high in quercetin inhibits platelet aggregation and essential components of the collagen-stimulated platelet activation pathway in man: a pilot study. *British Journal of Nutrition* 96: 482-488
- Huebner J, Wehling RL, Parkhurst, A, Hutkins RW (2008) Effect of processing conditions on the prebiotic activity of commercial prebiotics. *Int Dairy J* 18: 287-293
- Institute of Medicine (2002) Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. Washington DC: National Academy Press

- Iscovich JM, Labbe KA, Castelleto R, Calzona A, Bernedo A, Chopita NA, Jmelnitzsky AC, Kaldor J (1992) Colon cancer in Argentina I. Risk from intake of dietary items. *Int J Cancer* 51:851-857
- Jaime L (2000) Análisis de carbohidratos en bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) Aprovechamiento como fuente de fibra alimentaria. Tesis Doctoral. Departamento de Química Agrícola, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España
- Jaime L, Martín-Cabrejas MA, Mollá E, López-Andréu FJ, Esteban RM (2001a) Effect of storage on fructan and fructooligosaccharide of onion (*Allium cepa* L.). *J Agric Food Chem* 49: 982-988
- Jaime L, Martínez F, Martín-Cabrejas MA, Mollá E, López-Andréu FJ, Waldron KW, Esteban RM (2001b) Study of total fructan and fructooligosaccharide content in different onion tissues. *J Sci Food Agric* 81: 177-182
- Jaime L, Mollá E, Fernández A, Martín-Cabrejas MA, López-Andréu FJ, Esteban RM (2002) Structural carbohydrate differences and potencial source of dietary fiber of onion (*Allium cepa* L.) tissues. *J Agric Food Chem* 50: 122-128
- Jarvi AE, Karlström BE, Grandfeldt YE, Björck IE, Asp NGL, Vessby BOH (1999) Improved glycemic control and lipid profile and normalized fibrinolytic activity on a low-glycemic index diet in type 2 diabetic patients. *Diabetes Care* 22: 10-18
- Jenkins DJA, Jenkins MJA, Wolever TMS, Taylor RH, Ghafari H (1986) Slow release carbohydrate: mechanism of action of viscous fibers. *J Clin Nutr Gastroenterol* 1:237-41
- Jiménez A, Rodríguez R, Fernández-Caro I, Guillén R, Fernández- Bolaños J, Heredia A (2000) Dietary fiber content of table olives processed under different European styles: study of physico-chemical characteristics. *J Sci Food Agric* 80: 1903-1908
- Jiménez-Escrig A, Tenorio MD, Espinosa-Martos I, Rupérez P (2008) Healthpromoting effects of a dietary fiber concentrate from the soybean byproduct okara in rats. *J Agric Food Chem* 56: 7495-7501
- Kadřabová J, Madaric A, Ginter E (1997) The selenium content of selected food from the Slovak Republic. *Food Chem* 58: 29-32
- Kahane R, Vialle-Guérin E, Boukema I, Bellamy DTC, Chamaux C, Kik C (2001) Changes in non-structural carbohydrate composition during bulbing in sweet and high-solid onions in field experiments. *Environ Exp Botany* 45: 73-83
- Klapec T, Mandić ML, Grgić J, Primorac LJ, Perl A, Krstanović V (2004) Selenium in selected foods grown or purchased in eastern Croatia. *Food Chem* 85: 445-452

- Kubec R, Drhová V, Velisek J (1998) Thermal degradation of S-Methylcysteine and its sulfoxide- Important flavour precursors of *Brassica* and *Allium* vegetables. J Agric Food Chem 46: 4334-4340
- Kubec R, Drhová V, Velisek J (1999) Volatile compounds thermally generated from S-Propylcysteine and S-Propylcysteine sulfoxides aroma precursors of *Allium* vegetables. J Agric Food Chem 47: 1132-1138
- Kumari K, Augusti KT (2007) Lipid lowering effect of S-methyl cysteine sulfoxide from *Allium cepa* L in high cholesterol diet fed rats. J Ethnopharmacol 109:367-371
- L'Homme C, Arbelot M, Puigserver A, Biagini A (2003). Kinetics of hydrolysis of fructooligosaccharides in mineral-buffered aqueous solutions: Influence of pH and temperature. J Agric Food Chem 51: 224-228
- Lancaster JE, Farrant J, Shaw ML (2001) Sulfur nutrition affects cellular sulfur, dry weight distribution and bulb quality in onion. J Amer Soc Hort Sci 126: 164-168
- Lanzotti V (2006) The analysis of onion and garlic. J Cromatogr A 1112: 3-22
- Larrauri JA (1999) New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. Trends Food Sci Technol 10: 3-8
- Larrauri JA (1994) Utilización de los hollejos cítricos y las cáscaras de piñas como fuente de fibra dietética en Cuba. Alimentaria 31 (252): 57-60
- Lee SK, Hwang JY, Kang MJ, Kim YM, Jung SH, Lee JH, Kim JI (2008) Hypoglycemic effect of onion skin extract in animal models of diabetes mellitus. Food Sci Biotechnol 17:130-134
- Lineback DR (1999) The chemistry of complex carbohydrates. En: Sungsoo Cho S, Prosky L, Mark Dreher (eds), Complex Carbohydrates in Foods. New York Marcel Dekker, Inc.
- Lombard K, Peffley E, Geoffriau E, Thompson L, Herring A (2005) Quercetin in onion (*Allium cepa* L.) after heat-treatment simulating home preparation. J Food Compos Anal 18: 571-581
- López G, Ros G, Rincón F, Periago MJ, Martínez MC, Ortuño J (1996) Relationship between physical and hydration properties of soluble and insoluble fiber of artichoke. J Agric Food Chem 44: 2773-2778
- Mälkki Y (2001) Physical properties of dietary fiber as keys to physiological functions. Cereal Foods World 46: 196-199
- Mallor C, Thomas B (2008) Resource allocation and the origin of flavour precursors in onion bulbs. J Hort Sci Biotechnol 83: 191-198

- Martín-Cabrejas MA (1993) Evaluación de metodologías en el análisis de fibra alimentaria. Estudio de la pared celular vegetal. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España
- Mataix Verdú J, Gassull MA (2002) Fibra alimentaria. En : J Mataix Verdú (ed). Nutrición y alimentación humana. Ergon, Madrid: pp 119-135
- Mateos-Aparicio I (2008) Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de ingredientes funcionales. Comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria. Tesis Doctoral. Departamento de Nutrición y Bromatología II: Bromatología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Matikkala EJ and Virtanen AI (1967) On the quantitative determination of the amino acids and glutamyl peptide of onion. *Acta Chem Scand* 21: 2891-2893.
- Maw BW, Hung JC, Tollner EW, Smittle DA, Mullinix BG (1996). Physical and mechanical properties of fresh and stored sweet onion. *Transaction of the ASAE* 39(2):633-637
- McCleary BV (2003) Dietary fibre analysis. *Proceedings Nutr Soc* 62: 3-9
- Mollá E, Esteban RM, Valiente C, López-Andréu FJ (1994) Contenido de fibra alimentaria en los subproductos procedentes de la industria cervecera y de la industria de cítricos. *Alimentaria* 251: 61-64
- Moon CH, Jung, YS, Kim MH, Lee SH, Baik EJ, Park SW (2000) Mechanism for antiplatelet effect of onion: AA release inhibition, thromboxane A2 synthase inhibition and TXA2/PGH2 receptor blockade. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 62: 277-283
- Moore R, Clark WD, Stern KR, Vodopich D (1995) Botany. Plan diversity. VII. Wm C Brown Publishers
- Moriarty RM, Naithani R, Surve B (2007) Organosulfur compounds in cancer chemoprevention. *Mini Rev Med Chem* 7: 827-38
- Moron D, Melito C, Tovar J (1989) Effect of indigestible residue from foodstuffs on trypsin and pancreatic amylase activity in vitro. *J Sci Food Agric* 47: 171-179
- Munday R, Munday CM (2001) Relative activities of organosulfur compounds derived from onions and garlic in increasing tissue activities of quinone reductase and glutathione transferase in rat tissues. *Nutr Cancer Int J* 40: 205-210

- Muñoz S, Olza J, Gómez C (2010) Compuestos bioactivos de los alimentos de origen vegetal. En: Gil A (ed), Tratado de Nutrición. Madrid: Editorial Médica Panamericana, pp 399-427
- Mussatto SI, Mancilha IM (2007) Non-digestible oligosaccharides: A review Carbohydr Polym 68:587-597
- National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements, Dietary Supplements Fact Sheets. Available: <http://ods.od.nih.gov/factsheets/list-all/> (10 February 2011)
- Nishimune T, Yakushiji T, Sumimoto T, Taguchi S, Konishi Y, Nakahara S, Ichikawa T, Kunita N (1991) Glycemic response and fiber content of some foods. Am J Clin Nutr 54: 414-419
- Nordic Nutrition Recommendations 2004. Integrating nutrition and physical activity. Nord 2004:013, ISBN 92- 893-1062-6
- Nuutila AM, Puupponen-Pimiä R, Aarni M, Oksman-Caldentey KM (2003) Comparison of antioxidant activities of onion and garlic extracts by inhibition of lipid peroxidation and radical scavenging activity. Food Chem 81: 485-493
- O'Donoghue EM, Somerfield SD, Shaw M, Bendall M, Hedderly D, Eason J, Sims I (2004) Evaluation of Carbohydrates in Pukekohe Longkeeper and Grano Cultivars of *Allium cepa*. J Agric Food Chem 52: 5383-5390
- Oakenfull D (2001) Physicochemical properties of dietary fiber: Overview. En Cho SS, Dreher, ML (eds) Handbook of dietary fiber. New York : Marcel Dekker, pp 195-206
- Ostrowska E, Gabler NK, Sterling SJ, Tatham BG, Jones RB, Eagling DR, Jois M, Dunshea FR (2004) Consumption of brown onions (*Allium cepa* var. cavalier and var. density) moderately modulates blood lipids, haematological and haemostatic variables in healthy pigs. Br J Nutr 91: 211-218
- Ou S, Kowk KC, Li Y. ( 2001) In vitro study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose. J Agric Food Chem 49: 1026-1029
- Patil BS, Pike LM (1995) Distribution of quercetin content in different rings of various coloured onion (*Allium cepa* L.) cultivars. J Hort Sci 70: 643-650
- Pérez-Jiménez J, Arranz S, Tabernero M, Díaz-Rubio ME, Serrano J, Goñi I, Saura-Calixto F (2008) Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: extraction, measurement and expression of results. Food Res Int 41: 274-285
- Prakash D, Singh BN, Upadhyay G (2007) Antioxidant and free radical scavenging activities of phenols from onion (*Allium cepa*). Food Chem 102: 1389-1393

- Pratt VC, Tappenden KA, McBurney MI, Field CJ (1996) Short-chain fatty acid-supplemented total parenteral nutrition improves nonspecific immunity after intestinal resection in rats. *J Parenter Enteral Nutr* 20: 264–271
- Praznik W, Cieslik E, Filipiak-Florkiewicz A (2002) Soluble dietary fibres in Jerusalem artichoke powders: Composition and application in bread. *Nahrung Food* 46:151–157
- Préstamo G, Rupérez P, Espinosa-Martos I, Villanueva MJ, Lasunción MA (2007) The effects of okara on rat growth, caecal fermentation, and serum lipids. *Eur Food Res Technol* 225: 925–928
- Ralet MC, Della Valle G, Thibault JF (1993) Raw and extruded fibre from pea hulls. Part I. Composition and physico-chemical properties. *Carbohydr Polym* 20: 17–23
- Ralet MC, Thibault JF, Della Valle G (1991) Solubilization of sugar-beet pulp cell wall polysaccharides by extrusion-cooking. *Lebensm-Wiss Technol* 24: 107–112
- Randle WM (1997) Onion flavor chemistry and factors influencing flavor intensity. In: Risch SJ, Ho CT (eds), *Spices: Flavor Chemistry and Antioxidant Properties*. ACS Symposium Series 660, Washington DC: American Chemical Society, pp 41–52
- Raven P, Evert RF, Eichhorn SE (1991) *Biología de las Plantas*, vol 2. Ed. Reverté, S.A
- Rehman ZU, Islam M, Shah WH (2003) Effect of microwave and conventional cooking on insoluble dietary fibre components of vegetables. *Food Chem* 80: 237–240
- Roberfroid M (1999) Safety assessment and potential health benefits of food components based on selected scientific criteria. *Fructooligosaccharides*. *Crit Rev Food Sci Nutr* 39: 267–274
- Robertson GL, Monredon FD, Dysseler P, Guillon F, Amado R, Thibault JF (2000) Hydration properties of dietary fiber and resistant starch: a European collaborative study. *LWT - Food Sci Technol* 33: 72–79
- Rodríguez R, Jiménez A, Fernández-Bolaños J, Guillén R, Heredia A (2006) Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends Food Sci Technol* 2: 99–103
- Rodríguez-Galdón B, Oropeza-González R, Rodríguez-Rodríguez E, Díaz-Romero C (2008) Comparison of mineral and trace elements in onion cultivars (*Allium cepa* L.). *J Sci Food Agric*, 88(9):1554–1561
- Rohn S, Buchner N, Driemel G, Rauser M, Kroh LW (2007) Thermal Degradation of Onion Quercetin Glucosides under Roasting Conditions. *J Agric Food Chem* 55(4): 1568–1573

- Roldán E, Sánchez-Moreno C, de Ancos B, Cano P (2008) Characterisation of onion (*Allium cepa* L.) by-products as food ingredients with antioxidant and antibrowning properties. *Food Chem* 108: 907-916
- Roldán-Marín E, Sánchez-Moreno C, Lloría R, de Ancos B, Cano MP (2009) Onion high-pressure processing: Flavonol content and antioxidant activity. *LWT - Food Sci Technol* 42: 835-841
- Roldán-Marín E (2009) Biological activity and nutritional properties of processed onion products. PhD Thesis. Department of plant food Science and Technology, Instituto del Frio (CSIC), Madrid, España.
- Ros G, Periago MJ, Pérez D (2010) Legumbres, verduras y productos hortícolas. En: Gil A (ed), *Tratado de Nutrición*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, pp 141-165
- Rose P, Whiteman M, Moore PK, Zhu LZ (2005) Bioactive S-alk(en)yl cysteine sulfoxide metabolites in the genus *Allium*: the chemistry of potential therapeutic agents. *Nat Prod Rep* 22: 351- 368
- Sancho J, Bota E, Castro JJ (1999) *Introducción al análisis sensorial de alimentos*, 1ª edn. Barcelona: Edicions de la Universitat de Barcelona
- Sankaranarayanan R, Varghese C, Duffy SW, Padmakumary G, Day NE, Nair MK (1994) A case-control study of diet and lung-cancer in Kerala, South-India. *Int J Cancer* 58: 644-649
- Santas J, Carbó R, Gordon MH, Almajano MP (2008) Comparison of the antioxidant activity of two Spanish onion varieties. *Food Chem* 107: 1210-1216
- Schieber A, Stintzing FC, Carle R (2001) By-products of plant food processing as a source of functional compounds-recent developments. *Trends Food Sci Technol* 12: 401-413
- Schley PD, Field CJ (2002) The immune-enhancing effects of dietary fibres and prebiotics. *Br J Nutr* 87: 221-230
- Schneeman BO (1986) Physical and chemical properties, methods of analysis, and physiological effects. *Food Technol* Feb: 104-110
- Selvendran RR, Verena FV, Verne A (1990) The chemistry and properties of plant cell walls and dietary fiber. En: Kritchevsky D, Bonfield C, Anderson JW (eds), *Dietary Fiber*. New York: Plenum Press, pp 1-15
- Serena A, Bach Knudsen E (2007) Chemical and physicochemical characterisation of co-products from the vegetable food and agro industries. *An Feed Sci Technol* 139: 109-124

- Shiomi N, Benkeblia N, Onodera S (2005) The metabolism of the Fructooligosaccharides in Onion Bulbs: A compressive review. *J Appl Glycosci* 52: 121-127
- Sinclair PJ, Blakeney AB, Barlow EWR (1995) Relationships between bulb dry matter content, soluble solids concentration and non-structural carbohydrate composition in the onion (*Allium cepa* L.) bulbs. *J Sci Food Agric* 69: 203-209
- Singh U (2001) Functional properties of grain legume flours. *J Food Sci Technol* 38: 191-199
- Singleton VL, Rossi JA (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic* 16:144-158
- Slavin JL (2005) Dietary fiber and body weight. *Nutr* 21: 411-418
- Slimestad R, Fossen T, Vagen IM (2007) Onions: A source of unique dietary flavonoids. *J Agric Food Chem* 55: 10067-10080
- Slimestad R, Vågen IM (2009) Distribution of non-structural carbohydrates, sugars, flavonols and pyruvate in scales of onions, *Allium cepa* L. *J Food Agric Environ* 7: 289-294
- Snook JT, Kinsey D, Palmquist DL, DeLany JP, Vivian VM, Moxon AL (1987) Selenium content of foods purchased or produced in Ohio. *J Am Diet Assoc* 87: 744-749
- Sobrinho E (1992) Tratado de horticultura herbácea. Volumen II
- Spiegel JE, Rose R, Karabell P, Francos VH, Schmitt DF (1994) Safety and benefits of fructooligosaccharides as food ingredients. *Food Technol Jan*:85-89.
- Srinivasan K (2005) Plant foods in the management of diabetes mellitus: Spices as beneficial antidiabetic food adjuncts. *Int J Food Sci Nutr* 56: 399-414
- Stratil P, Kledjus B, Kubán V (2006) Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables-evaluation of spectrophotometric methods. *J Agric Food Chem* 54: 607-616
- Thibault JF, Lahaye M, Guillon F (1992) Physicochemical properties of food plant cell walls. In: Schweizer TF, Edwards CA (eds), *Dietary Fibre: Component of Food. Nutritional Function in Health and Disease*. ILSI Europe London: Springer-Verlag, pp 21-39
- Thomas DJ, Parkin KL (1994) Quantification of Alk(en)yl-L-cysteine Sulfoxides and Related Amino Acids in Alliums by High-Performance Liquid Chromatography. *J Agric Food Chem* 42: 1632-1638
- Thomson CD, Robinson MF (1980) Selenium in human health and disease with emphasis on those aspects peculiar to New Zealand. *Am J Clin Nutr* 33: 303-323

- Torres P, López-Andréu FJ, Torres G, Vidriales M, Esteban RM, Mollá E, Martín-Cabrejas M (2009) Effects of industrial processing on content and properties of dietary fiber of strawberry wastes. In: Waldron KW, Moates GK, Faulds CB (eds), Total Food: Sustainability of the Agri-Food Chain. Cambridge, UK: RSC publishing, pp 38-43
- Trowell HC (1974) Definition of fibre. *Lancet* 1: 503
- Trowell HC, Southgate DAT, Wolever TMS, Gassull AR, Jenkins DJA (1976) Dietary fibre redefined. *Lancet* 1: 967-1004
- Tsushida T, Suzuki M (1995) Isolation of flavonol-glycosides in onion and identification by chemical synthesis of the glycosides. *Nipp Shok Kaga Koga Kaishi*, 42: 100-108
- Tsushida T, Suzuki M (1996) Content of flavonol glucosides and some properties of enzymes metabolizing the glucosides in onion. *Flavonoids in fruits and vegetables, part II*. *Nipp Shok Kaga Koga Kaishi*, 43: 642-649
- Tuohy KM, Rouzaud GCM, Brück WM, Gibson GR (2005) Modulation of the human gut microflora towards improved health using prebiotics-Assesment of efficacy. *Current Pharmaceutical Design* 11: 75-90
- Tuyns AJ, Kaaks R, Haelterman M (1988) Colorectal-cancer and the consumption of foods - a case-control study in Belgium. *Nutr Cancer Int J* 11: 189-204
- Vagen IM, Slimestad R (2008) Amount of characteristic compounds in 15 cultivars of onion (*Allium cepa* L.) in controlled field trials. *J Sci Food Agric* 88: 404-411
- Valiente C, Esteban RM, Mollá E, López-Andréu FJ (1994) Effect of roasting on dietary fibre cocoa beans. *J Food Sci* 59: 123-124
- Villanueva MJ, Yokoyama WH, Hong YJ, Barttley GE, Rupérez P (2011) Effect of high-fat diets supplemented with okara soybean by-product on lipid profiles of plasma, liver and faeces in Syrian hamsters. *Food Chem* 124: 72-79
- Voragen GJ (1998) Technological aspects of functional food-related carbohydrates. *Trends Food Sci Technol* 9: 328-335
- Wagner H, Dorsch W, Bayer T, Breu W, Willer F (1990) Antiasthmatic effects of onions: Inhibition of 5-lipoxygenase and cyclooxygenase in vitro by thiosulfinates and "Cepaenes". *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 39(1): 59-62
- Waldron K (2001) Useful ingredients from onion waste. *Food Sci Technol* 15 (2): 38-41
- Wolever TMS (1990) Relationship between dietary fiber content and composition in foods and the glycemic index. *Am J Clin Nutr* 51: 72-75

- Wolters M, Diepenmaat H, Hermus J, Voragen A (1993) Relation between in vitro availability of minerals and food composition: a mathematical model. *J Food Sci* 58(6): 1349-1355
- [www.biologia.edu.ar/botanica/tema7/7-2pared1.htm](http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema7/7-2pared1.htm)
- Xiao H, Parkin KL (2007) Isolation and identification of potential cancer chemopreventive agents from methanolic extracts of green onion (*Allium cepa*). *Phytochem* 68: 1059-1067
- Yang J, Meyers KJ, Van Der Heide J, Liu RH (2004) Varietal Differences in Phenolic Content and Antioxidant and Antiproliferative Activities of Onions. *J Agric Food Chem* 52 (22): 6787-6793
- Yeh HY, Su NW, Lee MH (2005) Chemical compositions and physicochemical properties of the fiber-rich materials prepared from shoyu mash residue. *J Agric Food Chem* 53: 4361-4366
- Yokoyama WH, Hudson CA, Knuckles BE, Chiu MCM, Sayre RN, Turnlund JR, Schneeman BO (1997) Effect of barley  $\beta$ -glucan in durum wheat pasta on human glycemic response. *Cereal Chem* 74: 293-296
- Yoo KS, Pike LM (1998) Determination of flavor precursor compound S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides by an HPLC method and their distribution in *Allium* species. *Sci Hortic* 75: 1-10
- Zarzuelo A, Gálvez J (2005) Fibra dietética. En: Gil Hernández A (ed), *Tratado de Nutrición*. Madrid: Acción Médica, pp 336-368
- Zohri AN, Abdel- Gaward K, Saber S. (1995) Antibacterial, antidermatophytic and antioxidigenic activities of onion (*Allium cepa* L.) oil. *Microbiol Res* 150: 167-172







## 1. ABREVIATURAS

ACSOs: S-alqu(en)il-L-cisteín-sulfóxidos

AGCC: Ácidos grasos de cadena corta

AOAC: Association of Official Analytical Chemists

Ara: Arabinosa

AU: Ácidos urónicos

B: Bagazo control

BC: Base cuello del bulbo

BE: Bagazo esterilizado

BP: Bagazo pasteurizado

BPR: Dieta hiperlipídica suplementada con Bagazo pasteurizado de Recas

CE: Cebolla entera

Cel: Celobiosa

CExt: Capas externas

CH: Capacidad de hinchamiento

CI: Capas internas

CIC: Capacidad de intercambio catiónico

CNE: Carbohidratos no estructurales

CRA: Capacidad de retención de agua

CRAc: Capacidad de retención de aceite

CT: Colesterol total

DA: Densidad aparente

EAG: Equivalentes de ácido gálico

ECV: Enfermedad cardiovascular

EQ: Equivalentes de quercetina

FI: Fibra insoluble

FOS: Fructooligosacáridos

FRAP: Ferric reducing antioxidant power

FS: Fibra soluble

FT: Fibra total

Gal: Galactosa

Glu: Glucosa

GMA: Grosor medio del anillo

GP: Grado de polimerización

ICP-MS: Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo

IRDG: Índice de retardo en la diálisis de la glucosa

Man: Manosa

MCSO: S-metil-L-cisteín-sulfóxido

mf: materia fresca

MGC: Mínima concentración de gelificación

ms: Materia seca

OND: Oligosacáridos no digeribles

P: Pasta control

PCSO: S-propil-L-cisteín-sulfóxido

PE: Pasta esterilizada

PECSO: trans-(+)-S-(1-propenil)-L-cisteín-sulfóxido

PM: Piel Marrón

PP: Pasta pasterizada

Pu: Puré control

PuE: Puré esterilizado

PuP: Puré pasterizado

RGI: Residuo gravimétrico insoluble

RGS: Residuo gravimétrico soluble

RGT: Residuo gravimétrico total

RIA: Residuo insoluble en alcohol

T08: Salsa de tomate con ingrediente de cebolla al 0,8%

T5: Salsa de tomate con ingrediente de cebolla al 5%

TG: Triglicéridos

TSF: Salsa de tomate sin ingrediente de cebolla

Xil: Xilosa

Z: Zumo control

ZE: Zumo esterilizado

ZP: Zumo pasterizado

---

## 2. PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

### REVISTAS

Benítez V, Mollá E, Martín-Cabrejas MA, Aguilera Y, López-Andréu FJ, Esteban RM (2011) Effect of sterilisation on dietary fiber and physicochemical properties of onion by-products. *Food Chem* 127: 501-507. SCI<sub>2010</sub> 3,458 (Q1)

Benítez V, Mollá E, Martín-Cabrejas MA, Aguilera Y, López-Andréu FJ, Cools K, Terry LA, Esteban RM (2011) Characterization of Industrial Onion Wastes (*Allium cepa* L.): Dietary Fiber and Bioactive Compounds. *Plant Foods Hum Nutr* 66: 48-57. SCI<sub>2010</sub> 2,463 (Q1)

Benítez V, Aguilera Y, Mollá E, Martín-Cabrejas MA, Esteban RM, González L, López-Andréu FJ (2006) Estudio de la utilización de subproductos de diferentes variedades de cebolla como ingredientes funcionales. *Alimentaria* pp 112-113. Lat-index 22,00

Benítez V, Mollá E, Martín-Cabrejas MA, Aguilera Y, López-Andréu FJ, Terry LA, Esteban RM. Effect of thermal treatments on bioactive compounds of onion by-products. *Food Chem* (En Revisión)

Benítez V, Mollá E, Martín-Cabrejas MA, Aguilera Y, López-Andréu FJ, Esteban RM (2011) Assessment of onion (*Allium cepa* L.) by-products as source of dietary fiber: Effect on serum lipid levels in high-fat fed rats. *Plant Foods Hum Nutr* (Enviado)

### CAPÍTULOS DE LIBROS

Benítez V, Mollá E, Martín-Cabrejas MA, Aguilera Y, Esteban RM. Healthy properties from onion products. En: Aguirre CB, Jaramillo LM (eds) *Onion Consumption and Health*. ISBN 978-1-62100-836-1

### MONOGRAFIAS EN COLABORACIÓN

Benítez V, Aguilera Y, Mollá E, Martín-Cabrejas MA, Esteban RM, López-Andréu FJ (2005) Estudio del contenido de fibra alimentaria y fructooligosacáridos en distintas variedades de cebolla. En: *Avances de la Ciencia y Tecnología de los Alimentos en los*

inicios del siglo XXI. Análisis de Alimentos Vol I. Burgos: Universidad de Burgos pp 113-116 (ISBN: 84-96394-23-9)

Benítez V, Mollá E, Martín-Cabrejas MA, Aguilera Y, López-Andréu FJ, Esteban RM (2007) Effects Of Processing And Thermal Treatments on Dietary Fibre Fractions Of Onion Waste. En: Lazos ES (ed), Consumer Protection through Food Process Improvement & Innovation in the Real World Vol 3. Thessaloniki (Greece): Hellenic Association of Food Technologists, North Greece Branch, pp 446-451 (ISBN: 978-960-88557-4-8)