

# Modificando la textura de los alimentos

## Manual de uso de los hidrocoloides

**Claudia Cortés**

**Núria Cubero**

**Laura Gómez**

**Albert Monferrer**

**2ª edición**



Madrid • Buenos Aires • México • Bogotá

© Claudia Cortés, Núria Cubero, Laura Gómez, Albert Monferrer, 2023

2ª edición

Reservados todos los derechos.

«No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.»

Ediciones Díaz de Santos

Internet: <http://www.editdiazdesantos.com>

E-mail: [ediciones@editdiazdesantos.com](mailto:ediciones@editdiazdesantos.com)

ISBN: 978-84-9052-480-0

Depósito Legal: M-29917-2022

Fotocomposición y diseño de cubiertas: Claudia Cortés

Printed in Spain Impreso en España

## Claudia Cortés



Titulada en Ingeniería técnica agrícola, especialidad en industrias agrarias y alimentarias por la ESAB (Escola Superior d'Agricultura de Barcelona) (UPC, 2009) y licenciada en Ciencia y Tecnología de los Alimentos en la Facultat de Veterinaria de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB, 2011).

Desde 2012 trabaja en la empresa BDN Ingeniería de Alimentación asesorando tecnológicamente los departamentos de I+D+i de empresas de diversos sectores de la industria alimentaria.

## Núria Cubero



Titulada en Ingeniería técnica agrícola, especialidad en industrias alimentarias, por la ESAB (Escola Superior d'Agricultura de Barcelona) (UPC, 2000) y licenciada en Ciencia y Tecnología de los Alimentos por la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB, 2004).

Trabaja desde 1999 en la empresa BDN Ingeniería de Alimentación asesorando tecnológicamente los departamentos de I+D+i de empresas de diversos sectores de la industria alimentaria.

Es titular de tres patentes desarrolladas en BDN.

Desde 2007 colabora como profesora del bloque de aditivos alimentarios en el Máster en Tecnología, Control y Seguridad Alimentaria (MTCA) del Centro de Estudios Superiores de la Industria Farmacéutica (CESIF).

## Laura Gómez



Licenciada en Biología por la Universitat de Barcelona (UB, 2005), en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (UB, 2008) y Máster en Desarrollo e Innovación de Alimentos (UB, 2009).

De 2007 a 2017 trabajó en la empresa BDN Ingeniería de Alimentación asesorando tecnológicamente los departamentos de I+D+i de empresas de diversos sectores de la industria alimentaria.

## Albert Monferrer



Licenciado en Veterinaria (Universidad de Zaragoza, 1984) y Máster en Biotecnología alimentaria (UPC, 1989).

Trabaja desde 1992 en la empresa BDN Ingeniería de Alimentación, asesorando tecnológicamente los departamentos de I+D+i de diferentes sectores de la industria alimentaria.

Es titular de cinco patentes desarrolladas en BDN.

Durante 17 años ha sido profesor asociado del Departament de Nutrició, Ciències de l'Alimentació i Gastronomia, de la Facultat de Farmàcia i Ciències de l'Alimentació de la Universitat de Barcelona en el Grado de Ciencia y Tecnología de los Alimentos y en el Máster de Desarrollo e Innovación de Alimentos.

Desde hace algunos años colabora también como profesor en el Máster en Seguridad Alimentaria del Colegio Oficial de Veterinarios de Madrid.

# PREFACIO

Según Wikipedia (mayo 2016), "un prefacio es, en literatura, un texto de introducción y de presentación, ubicado al inicio de un libro". Este manual no es literatura propiamente dicha, pero el prefacio también servirá para presentar el libro y, además, lo pondremos en el lugar correcto. Al inicio.

También es interesante, siguiendo el escrito de Wikipedia, el principio del capítulo "Antecedentes", que dice así: "Los antiguos ponían prefacios al inicio de sus obras". Ya viene a ser eso. BDN acaba de cumplir 25 años de existencia y, para la vida media de muchas empresas, ya somos antiguos.

Pero... ¿qué y quién es BDN?

Aprovecharemos el prefacio para presentarnos, y qué mejor que dar respuesta a las eternas preguntas: ¿Quiénes somos?, ¿de dónde venimos?, ¿a dónde vamos?

## ¿Quiénes somos?

Somos un grupo de profesionales que ofrecemos un servicio de consultoría técnica a las empresas relacionadas con la fabricación de alimentos, especialmente en todo aquello que se refiere a la formulación, uso de ingredientes y aditivos, procesos y desarrollo de nuevos productos.

El hecho de trabajar a lo largo de estos 25 años para distintos sectores y formular alimentos muy diferentes ha ocasionado que, poco a poco, hayamos entendido y aplicado las propiedades tecnológicas de muchos ingredientes y aditivos. Durante estos años nos han pedido que participáramos en numerosos cursos, charlas, seminarios..., para explicar de forma muy práctica el cómo y el porqué de estos productos. Las charlas sobre hidrocoloides han sido, posiblemente, las que más éxito y mejor acogida han tenido. Por este motivo nos hemos decidido a escribir este manual.

El manual, como tal, no pretende ser una biblia ni una enciclopedia. Nada más alejado de la realidad. Nuestra intención era poner al alcance de los técnicos de empresas, de los estudiantes y de los cocineros aficionados a experimentar con aditivos, una recopilación escueta y esquemática de las principales características tecnológicas de los hidrocoloides.

En este manual hemos recogido información técnica básica, que se puede encontrar mucho más ampliada y, tal vez mejor explicada, en muchos libros de texto. Pero también hemos incluido experiencias propias, comentarios personales e indicaciones prácticas que creemos podrán ser de utilidad a todos aquellos que se adentran en el mundo de la textura de los alimentos.

## ¿De dónde venimos?

BDN no existiría si su fundador, Jordi Villalta, no fuera como es. Sus conocidos y amigos lo han definido como "sabio loco", "*pou de ciència* (pozo de ciencia)", "*mestre* (maestro)" y muchas más. Lo cierto es que Jordi es especial. Fiel a sus principios, franco, noble, práctico y con ideas diferentes. Cuando le preguntas su opinión sobre cómo solucionar un problema en una formulación, generalmente te da tres opciones: una que es la típica y que se encuentra en todos los libros; otra que es imposible, improbable o una barbaridad y, la tercera, que suele ser una genialidad o, por lo menos, una solución diferente a lo habitual.

Jordi ha creado escuela. No solo en BDN, también entre los técnicos de empresa que le han conocido y trabajado con él.

Gracias, Jordi, por estar ahí.

### ¿A dónde vamos?

Iremos donde nos lleven los clientes, el mercado y la innovación de alimentos. Nuestra intención es seguir colaborando con empresas, solucionando los problemas del día a día, aconsejando o aportando puntos de vista diferentes y ayudando a las empresas a innovar.

Queremos seguir trabajando al lado de los departamentos técnicos de las empresas, crecer y expandirnos.

También queremos seguir divulgando y compartiendo los conocimientos de utilización de ingredientes y aditivos ya sea por medio de charlas o, tal vez, con algún otro manual como este.

Gracias por acompañarnos en nuestra singladura.

### Nota final

Los más antiguos y seguidores de Siniestro Total podéis añadir una cuarta pregunta a las tres iniciales: ¿Quiénes somos? ¿De dónde venimos? ¿A dónde vamos?... ¿Estamos solos en la galaxia, o acompañados? Esta última la contestaremos en un próximo libro.

**Los autores**

Barcelona

Escribir un libro, hoy día, es actuar de pirata, asaltando el galeón Wikipedia, rapiñando el botín de los contenidos deseados y maquillarlos un poco, antes de publicar, para que parezcan propios.

Los libros técnicos sobre aditivos parecen escritos por el benaventiano "Príncipe que todo lo aprendió en los libros". Muchos datos teóricos, para cursos universitarios, pero ninguna información práctica sobre cómo usarlos en cada sector industrial que no han visitado nunca.

Trabajar con aditivos, aplicándolos correctamente, no es fácil. Por una parte, la industria está como encorsetada entre una legislación estricta y paternalista que señala qué aditivo autoriza y a qué dosis y unas técnicas que la especializan; Cárnicas desconoce los problemas y las soluciones de panificación y viceversa, postres lácteos de helados y viceversa, conservas vegetales de las de pescado... Cuando, no pocas veces, el problema físico-químico es el mismo. Al no haber comunicación técnica entre ellas y, peor aún, al no haberla ni entre empresas del mismo sector por mor de la competencia, el problema se perpetúa.

Los asesores son el fabricante o el comercializador (que ha recibido información previa del fabricante). No hay fabricantes de todos los aditivos. Conocen muy bien sus aditivos y posibles aplicaciones pero, al limitarse a una sola función (conservantes, emulsionantes, colorantes...), no conocen las interacciones, positivas o negativas, con otros aditivos.

No es fácil trabajar con aditivos alimentarios, ante todo hay que asegurar que determinada función (espesar, humedecer, evitar oxidación...) es **necesaria** y que no es posible cumplirla modificando la formulación de ingredientes o cambiando el proceso. Luego hay que **elegir**, dentro de los autorizados posibles, el más adecuado. A partir de su composición química debe deducirse cómo puede verse afectado negativamente por los ingredientes del alimento a elaborar (carga iónica, pH, oxidantes-reductores, presencia de enzimas...) y a la tecnología utilizada (temperatura, bombeos, vacío...).

A continuación, **establecer la dosis**; la legislación señala una dosis máxima que no tiene por qué ser la adecuada, a veces mucho menor. La indicación QS (*quantum satis* = ponga lo necesario) es un quebradero de cabeza para la pequeña industria. Y, finalmente, **añadir en el momento oportuno**; numerosos fracasos y acusaciones de "no funciona" derivan de ello.

Todo ello viene a cuento porque los hidrocoloides son quizás los aditivos que dependen más de cumplir estas exigencias, tanto en elección como en dosificación y aplicación. Además, la necesidad, muchas veces, de combinar dos de ellos aumenta la dificultad al tener que establecer exactamente los porcentajes respectivos. Y hay que señalar también que los hidrocoloides son aditivos que no preocupan en absoluto desde el punto de vista sanitario; son naturales y se pueden calificar plenamente como "fibra".

Hablar aquí del equipo de BDN Ingeniería de Alimentos concitaría la sospecha y recelo de amiguismo. El mejor sitio para conocer a las personas es en su propia casa. Entrar en su web permite conocer todas las posibilidades de acción y cooperación, desde la solución de problemas, con o sin aditivos, a una amplísima posibilidad de información y formación.

En BDN el estudio y solución de problemas parte de una titulación académica superior, una previa y extensa experiencia dentro de la industria alimentaria y un trabajo eminentemente práctico. En las plantas piloto se reproduce el problema y

se encuentra la solución, afinando esta en la empresa demandante ajustándola a su propio utillaje. El conocimiento de la funcionalidad de todas las familias de aditivos (emulsionantes, polioles, fosfatos...), así como la de los ingredientes que conforman el producto, facilita y asegura un resultado óptimo.

I+D es, realmente, Investigación y Desarrollo; no, como tantas veces, Ineptitud y Desatino. Incluso tiene sentido la i pequeña de I+D+i: "innovación" e ideas que han dado resultados tan curiosos como la alimentación de los astronautas y de los exploradores polares, así como la valoración funcional de la fina membrana adherida en la parte interior de la cáscara del huevo.

Formación: interna, adquiriendo sin cesar conocimiento de los últimos productos, tecnologías y tendencias, y externa: desde conferencias y cursillos a cursos y másteres en la universidad, en la ENS (Escuela Nacional de Sanidad del Instituto Carlos III de Madrid) o en el CESIF (Centro de Estudios Superiores de Farmacia en Madrid y Barcelona).

Y, todo ello, impregnado de una sencillez y simpatía que, sin atisbo de "superioridad" o jactancia conduce de inmediato a sentirse en una cómoda "proximidad km 0". Simpatía y proximidad de las que he tenido la suerte de gozar en los mejores años de mi vida profesional.

**Roberto Xalabarder**  
Químico - Farmacéutico - Bromatólogo

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Autores</b> .....	<b>V</b>
<b>Prefacio</b> .....	<b>VII</b>
<b>Prólogo</b> .....	<b>IX</b>
<b>0. Guía de los capítulos</b> .....	<b>1</b>
<b>1. HIDROCOLOIDES Y TEXTURA</b> .....	<b>9</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN A LOS HIDROCOLOIDES</b> .....	<b>27</b>
<b>3. E-400 ALGINATOS</b> .....	<b>41</b>
<b>4. E-406 AGAR</b> .....	<b>53</b>
<b>5. E-407 CARRAGENATOS</b> .....	<b>63</b>
<b>6. E-410, E-412, E-417, E-427 GALACTOMANANOS</b> .....	<b>75</b>
<b>7. E-413 GOMA TRAGACANTO</b> .....	<b>91</b>
<b>8. E-414 GOMA ARÁBIGA</b> .....	<b>97</b>
<b>9. E-415 GOMA XANTANA</b> .....	<b>105</b>
<b>10. E-416 GOMA KARAYA</b> .....	<b>115</b>
<b>11. E-418 GOMA GELLAN</b> .....	<b>121</b>
<b>12. E-425 KONJAC</b> .....	<b>129</b>
<b>13. E-440 PECTINAS</b> .....	<b>139</b>
<b>14. E-460i CELULOSA MICROCRISTALINA</b> .....	<b>151</b>
<b>15. E-461, E-464, E-466 CELULOSAS MODIFICADAS</b> .....	<b>157</b>
<b>16. E-1204 PULULANO</b> .....	<b>177</b>
<b>17. Guía para la selección de hidrocoloides</b> .....	<b>183</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>193</b>



**0**

# **Guía de los capítulos**



## ¿QUÉ ENCONTRARÁS EN CADA CAPÍTULO?

### TÍTULO (E-XXX NOMBRE ADITIVO ALIMENTARIO)

Es el nombre del aditivo alimentario y su número E. Este número es común para toda la Unión Europea y los aditivos permitidos, así como su uso en los alimentos, se recogen en el Reglamento 1129/2011 de 11 de noviembre de 2011 por el que se modifica el anexo

II del Reglamento (CE) 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo para establecer una lista de aditivos alimentarios de la Unión.

Se incluye su nombre en inglés y su número CAS (*Chemical Abstracts Services*). Este número es asignado por la Sociedad Americana de Química e identifica cada compuesto químico descrito.

También se recogen otras denominaciones del aditivo descritas en bibliografía.

#### **Ejemplo: agar**

E-406 Agar (Agar, CAS Number: 9002-18-0)

Otras denominaciones: Agar-agar, Gelosa, Kantén.

### Origen

Se describe de dónde procede y/o cómo se obtiene el aditivo. Se complementa con un esquema del proceso de obtención.

marlo y, por tanto, las variaciones que puede tener el aditivo.

Además se adjunta una imagen de la molécula o moléculas que lo forman.

### Composición y estructura química

Se explica la composición y estructura química básica del aditivo, es decir, el tipo de compuesto químico, la proporción y tipos de radicales que pueden for-

### Propiedades de las soluciones

#### *Solubilidad y preparación de las soluciones*

A partir de una disolución al 1% del aditivo en agua se determina su capacidad y características de solubilización. Se complementa con el siguiente cuadro:

#### **Ejemplo: alginato**

**Tabla 1.** Solubilidad y preparación de las soluciones / +++ (alto) ++ (medio) + (bajo).

Solubilidad en agua fría	Temperatura solubilización	Premezcla	Fuerza cizalla	Incorporación de aire	Aumento viscosidad del medio	Precipita con alcohol	Secuestrante iones
+++	Frío	+++	+++	++	+	+	+++

## MODIFICANDO LA TEXTURA DE LOS ALIMENTOS. Manual de hidrocoloides

- **Solubilidad en agua fría:** ¿se disuelve bien el aditivo en agua fría? ¿Hace grumos?  
Se puntúa con +++, si se disuelve bien y no hace grumos y con +, si la disolución es mala y hace grumos.
- **Temperatura de solubilización:** ¿el aditivo se solubiliza en agua fría o caliente?
- **Premezcla:** ¿necesita mezclarse previamente con otros ingredientes para facilitar su posterior dispersión en agua y evitar la formación de grumos? +++, si necesita la premezcla con otros ingredientes y +, si la premezcla no influye.
- **Fuerza de cizalla:** ¿se necesita trabajo mecánico intenso para disolver correctamente el aditivo en agua? +++, sí se necesita, y +, no se necesita.
- **Incorporación de aire:** ¿el trabajo mecánico provoca la formación de espuma en la disolución? +++, sí hay mucha incorporación de aire y +, hay poca incorporación.
- **Aumento de viscosidad del medio:** ¿la presencia del aditivo influye en la viscosidad del medio en frío?, ¿incrementa la viscosidad o no afecta? +++, provoca un gran incremento de la viscosidad, +, no influye.
- **Precipita con alcohol:** ¿es posible disolver el aditivo en un medio alcohólico? Se hace una disolución al 1% del aditivo en alcohol al 40% y se observa su comportamiento.
- **Secuestrante de iones:** ¿el aditivo reacciona a iones presentes en el medio? Esta columna únicamente aparecerá cuando el uso de secuestrantes sea necesario para la correcta disolución del aditivo.

*Factores que afectan a las propiedades de las soluciones*

Se enumeran los factores que pueden influir en el comportamiento del aditivo sobre la viscosidad. Estas características quedan recogidas en el siguiente cuadro:

**Ejemplo: galactomananos****Tabla 4.** Factores que afectan a las propiedades de las soluciones.

Factores	Efectos sobre la viscosidad	Observaciones
<b>Peso molecular / Grado de polimerización</b>	Directamente proporcional	
<b>Concentración</b>	Directamente proporcional	
<b>Temperatura</b>	Inversamente proporcional	Un aumento de la temperatura provoca una disminución de la viscosidad
<b>pH</b>	Se hidrolizan a pH ácido	Disminuye la viscosidad a pH ácidos
<b>Carga iónica</b>	No afecta	
<b>Trabajo mecánico</b>	Comportamiento pseudoplástico	Disminuye la viscosidad a medida que aumenta la fuerza de cizalla

1. **Peso molecular/Grado de polimerización:** ¿afecta el peso molecular del aditivo en la viscosidad del medio? En la gran mayoría de los aditivos es directamente proporcional, es decir, a mayor peso molecular, mayor viscosidad del medio.
2. **Concentración:** ¿la concentración afecta en la viscosidad del medio? En la mayoría es directamente proporcional, es decir, a mayor concentración de aditivo, mayor viscosidad del medio.
3. **Temperatura:** ¿el aumento de temperatura del medio afecta a la viscosidad? El efecto puede ser directamente proporcional (a más temperatura, más viscosidad) o inversamente proporcional (a más temperatura, menos viscosidad).
4. **pH:** ¿el aditivo es estable a cambios de pH en el medio?, ¿estos cambios de pH tienen efecto sobre la viscosidad del medio?
5. **Carga iónica:** ¿los iones presentes en el medio interactúan con el aditivo y afectan a la viscosidad del medio? La determinación de este factor se realiza en condiciones normales de uso del aditivo, no en casos específicos de productos muy concentrados (ejemplo: salmuera).
6. **Trabajo mecánico:** ¿el aditivo tiene comportamiento pseudoplástico, tixotrópico o newtoniano?
7. **Otros:** aquí se recogen factores específicos destacables para un aditivo en concreto y que tengan efecto sobre la viscosidad.

### Funcionalidad

Por norma general, en este apartado se explica la capacidad gelificante de un aditivo. Pero en el caso que el aditivo no tenga funcionalidad como gelificante, por ejemplo el caso de los galactomananos o la xantana, en este apartado se describe la función como espesante.

#### *Mecanismo de gelificación*

Se hace gelificar una disolución al 1% del aditivo en agua y se explica el gel conseguido (termorreversible y/o termoestable).

Se complementa con un esquema de solubilización y funcionalidad del aditivo.

#### *Forma de preparación*

Describe las condiciones a que se somete la disolución al 1% del aditivo para poder formar un gel termorreversible y/o termoestable.

#### *Características de los geles*

Se describen los tipos de geles que pueden dar un aditivo y sus caracterís-

### **Ejemplo: konjac**

Gel termoestable: solubilizar e hidratar bien el konjac, llevar a una temperatura superior a 85 °C y mantener durante 30 minutos con agitación continua. Parar de agitar y dejar enfriar hasta temperatura ambiente. Después añadir la base débil (por ejemplo,  $K_2CO_3$ ) hasta un  $pH \geq 9$  para desacetilar la molécula y mezclar bien. Volver a calentar la mezcla a 85 °C durante 2 h sin agitación. Dejar enfriar.

tas. También los factores que determinan la formación de estos geles. Todo esto queda recogido en el siguiente cuadro:

*Factores que afectan a las propiedades de los geles*

Explica los factores a tener en cuenta durante la formación del gel (temperatura, pH, iones...).

### **Ejemplo: gellan**

**Tabla 3.** Características de los geles

Tipo de gellan	Baja acetilación	Alta acetilación
Tipo de gel	Firme y quebradizo	Blando y elástico
Sinéresis	Sí, solo en el corte	No
Estabilidad a T <sup>a</sup>	Termoestable en presencia de Ca <sup>2+</sup> Termorreversible con K <sup>+</sup> y en leche, histéresis	Termorreversible, no histéresis

### **Sinergias o incompatibilidades**

Se describen las diferentes sinergias del aditivo estudiado con otros aditivos y/o ingredientes para obtener funciones distintas.

### **Ejemplos de aplicaciones en la industria alimentaria**

Enumeración de las diferentes funciones del aditivo y ejemplos de listas de ingredientes donde se utiliza dicho aditivo, el cual se destaca en negrita.

### **Ejemplo: metilcelulosa**

- Gelificante en caliente de productos horneados o fritos

#### **HAMBURGUESA VEGETAL**

Ingredientes: habas de soja, agua, proteína de soja, cebolla, concentrado de tomate, aceite de girasol, sal, azúcar, fibra de trigo, zumo concentrado de cebolla y gelificante (**metilcelulosa**).

A lo largo de los capítulos se irán encontrando tres tipos de cuadros informativos:



Dan información extra sobre el aditivo en cuestión que no queda recogida en ningún apartado del capítulo



Amplían y/o complementan información referente al capítulo para facilitar su comprensión



Explican curiosidades del aditivo en cuestión



**1**

**HIDROCOLOIDES  
Y TEXTURA**



## Definición de textura

Cuando se evalúa organolépticamente un alimento destacan 4 características principales:

- **Apecto.** Evaluado por la vista. Incluye el color, tamaño, forma, brillo...
- **Aroma.** Evaluado por una serie de receptores químicos ubicados en la cavidad bucal, nariz y zona retronasal. Está comprendido por dos conceptos complementarios:
  - **Sabor.** Recogido por las papilas gustativas de la lengua y procesado por el cerebro. Incluye los cinco sabores básicos (dulce, salado, ácido, amargo y umami) y sus variaciones y combinaciones.
  - **Olor.** Recogido por los quimiorreceptores del epitelio nasal y procesado por el sistema olfativo del cerebro. Estos receptores recogen estímulos generados a partir de gases, vapores o partículas de polvo en suspensión liberados por los alimentos.
- **Sonido.** Evaluado por el oído. Incluye sensaciones auditivas que informan sobre las características crujientes, pastosas o adherentes que, en forma de sonidos, emiten algunos alimentos al ser masticados. Estos sonidos complementan la evaluación de la siguiente característica, la textura.
- **Textura.** Consistente en estímulos físicos recogidos por receptores táctiles localizados en los dedos, labios, lengua y cavidad bucal en general. Pueden ser estáticos (sensación simple al rozar el alimento con los dedos, labios o la lengua) o dinámicos (recogidos durante el corte, masticación y deglución del alimento).

La textura, en algunos casos, puede interactuar con el aroma al lograr que un alimento se mantenga más o menos tiempo en la boca debido a su consistencia, pegajosidad, etc.

La principal función de los hidrocoloides es modificar la textura de los alimentos al hidratarse, interactuar con el líquido donde se solubilizan y cambiar las propiedades de flujo del agua. Pero la textura de un alimento no depende únicamente del uso de hidrocoloides; todos los ingredientes que componen la fórmula o receta van a influir en su textura, especialmente:

- Proporción agua/sólidos.
- Porcentaje de grasa o aceite y tipo.
- Utilización de hidrocoloides espesantes o gelificantes.
- Adición de almidones, harinas...
- Uso de proteínas que se pueden desnaturalizar por calor.
- Adición de fibras vegetales.
- Formación de emulsiones o espumas.
- Otros ingredientes de la fórmula y su proporción.
- Proceso de elaboración o preparación (asado, fritura, hervido...).

Incluso la apariencia visual del producto induce a pensar, de entrada, si va a ser duro, crujiente o blando dependiendo de su color más o menos tostado o de su superficie lisa o rugosa, húmeda o seca...

Tratar de describir verbalmente la textura de un alimento es complicado dado que hay un importante componente de subjetividad. Lo que a una persona le parece duro, a otra le puede parecer adecuado o, incluso, blando. Y así

## MODIFICANDO LA TEXTURA DE LOS ALIMENTOS. Manual de hidrocoloides

para todas las características. Por este motivo es necesario establecer una norma de evaluación y un vocabulario común para poder estandarizar y describir la textura de un alimento. Ya en 1964 (Kramer) y en 1977 (Larmond) se establecieron los fundamentos del análisis sensorial de textura que, más tarde, ha sido normalizado por la Norma UNE-EN ISO 8586:2014.

En relación a la textura de los alimentos, Muller (1969) propuso disociar este término en dos conceptos diferentes:

- Reología: rama de la física que describe las propiedades físicas y mecánicas de los materiales.
- Haptaestesis: (del griego "sensación" o "tacto") rama de la psico-

logía que trata de la percepción de las propiedades mecánicas de los materiales. Se aplica, principalmente, a productos alimentarios y cosméticos.

La relación entre los parámetros reológicos y las sensaciones que estas producen (haptaestesis) se estudia en psicorreología.

Vista la dificultad de expresar y definir con palabras la textura de un alimento y dado que existe una relación directa con la física, lo ideal sería poder medir y cuantificar los atributos de textura de los fluidos (viscosidad) y de los sólidos (características del gel). La parte de la física que estudia estos fenómenos y la forma de medirlos es la reología.

**Tabla 1.** Atributos de textura (adaptado de Kramer (1964)).

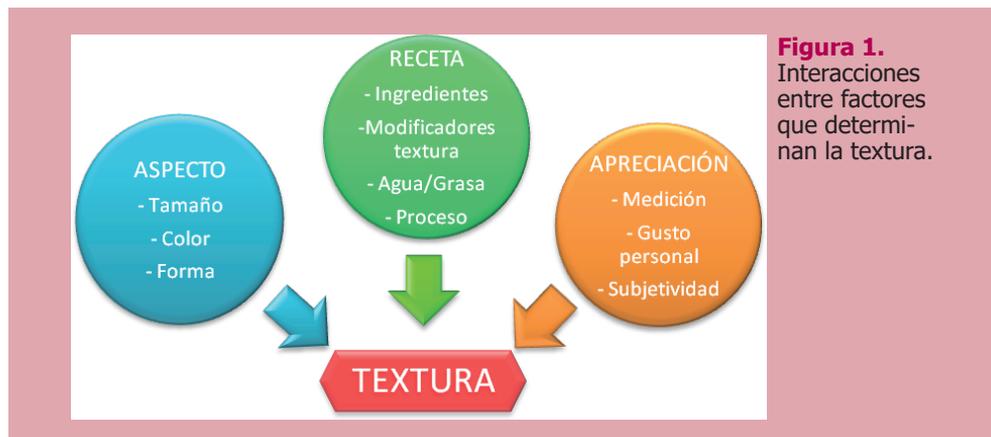
<b>Atributos de textura</b>		
<b>Mecánicos</b>	<b>Geométricos</b>	<b>De composición</b>
<b>PRIMARIOS</b>		
<b>Dureza</b>	<b>Fibrosidad</b>	
<b>Cohesividad</b>	<b>Granulosidad</b>	
<b>Elasticidad</b>	<b>Esponjosidad</b>	<b>Humedad</b>
<b>Adhesividad</b>	<b>Cristalinidad</b>	<b>Resequedad</b>
<b>Viscosidad</b>	<b>Friabilidad</b>	<b>Aceitosidad</b>
<b>SECUNDARIOS</b>	<b>Hilosidad</b>	<b>Harinosidad</b>
<b>Fragilidad</b>	<b>Tersura</b>	<b>Terrosidad</b>
<b>Masticabilidad</b>	<b>Aspereza</b>	
<b>Gomosidad</b>		
<b>Pegajosidad</b>		

**Tabla 2.** Atributos de textura (adaptado de Larmond (1976)).

Propiedades	Definiciones
<b>Dureza</b>	Física: fuerza necesaria para lograr una deformación determinada
	Sensorial: fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas (sólidos) o entre la lengua y el paladar (semisólidos)
<b>Cohesividad</b>	Física: grado de deformación de un material antes de romperse
	Sensorial: grado de compresión de una sustancia entre los dientes antes de romperse
<b>Viscosidad</b>	Física: flujo por unidad de fuerza
	Sensorial: fuerza requerida para pasar un líquido de una cuchara hacia la lengua
<b>Elasticidad</b>	Física: tasa de recuperación de un material deformado tras retirar la fuerza deformante
	Sensorial: grado hasta el cual regresa un producto a su forma original tras haber sido comprimido entre los dientes
<b>Adhesividad</b>	Física: trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la de los materiales con los que está en contacto
	Sensorial: fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a los dientes o al paladar durante su consumo

**Tabla 3.** Atributos de textura (adaptado de Muller (1969)).

Comparación de medidas físicas vs. percepción humana		
Luz	Óptica (física)	Reflexión Refracción Ondas luminosas
	Visión (percepción)	Tamaño Color Forma
Textura	Reología (física)	Módulo de Young Módulo de cizalla Coeficiente de Poisson Viscosidad Elasticidad
	Haptaestesis (percepción)	Sensación en boca Dureza Masticabilidad Gomosidad Adhesividad



**Figura 1.** Interacciones entre factores que determinan la textura.

## Reología

La reología es la parte de la física que estudia el flujo y deformación de los materiales sometidos a la acción de una fuerza externa que, generalmente, se corresponde con un trabajo mecánico.

Un cuerpo sometido a una fuerza tangencial (conocida como *fuerza de cizalla* o *shear* y que se representa por la letra griega  $\sigma$ ) opone más o menos oposición a deformarse dependiendo de las fuerzas de cohesión intermoleculares que ejerzan sus componentes, dando lugar a diferentes comportamientos:

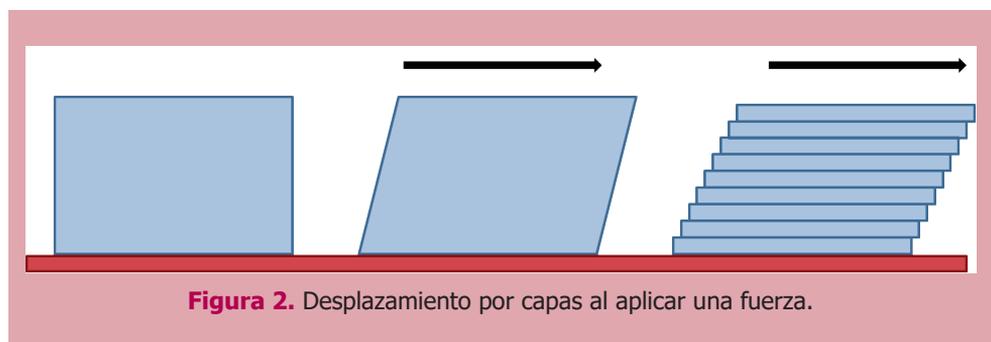
- Si las fuerzas de cohesión son fuertes (sólido) y mayores que la tangencial, el cuerpo no se deforma.
- Si las fuerzas de cohesión son fuertes (sólido) y similares o algo me-

nores que la tangencial, el cuerpo se deforma o se rompe.

- Si las fuerzas de cohesión son débiles (fluido) y menores que la tangencial, el cuerpo se deforma y fluye.

Al aplicar una fuerza de cizalla sobre un material, las capas sobre las que se aplica la fuerza se desplazan a mayor velocidad que las colindantes. En ocasiones, este fenómeno solo ocurre cuando se aplica una determinada velocidad de cizalla (se representa por la letra griega  $\dot{\gamma}$ ).

En el caso de los sólidos se produce una deformación que, al retirar la fuerza, puede ocasionar un regreso a la posición y forma inicial (elasticidad) o mantener la deformación o rotura de forma permanente (deformación).



**Tabla 4.** Magnitudes, símbolos y unidades del SI.

Magnitud	Símbolo	Unidad
Fuerza de cizalla	$\sigma$	Pa
Velocidad de cizalla	$\dot{\gamma}$	$s^{-1}$
Viscosidad	$\mu$	$Pa \cdot s$

En el caso de los fluidos se produce un movimiento o flujo de las distintas capas a diferentes velocidades, ya que cada capa arrastra por rozamiento a la capa inferior. Al retirar la fuerza el fluido puede volver a su forma inicial, si se mantiene en el mismo recipiente, o bien puede adoptar la forma del nuevo recipiente que lo contenga.

Pero no siempre existe una frontera muy nítida entre lo que es sólido o lo que es fluido. Algunos fluidos muy "espesos" (viscosos) parecen comportarse como sólidos blandos (elásticos) y viceversa. Por este motivo se tiende a hablar de materiales viscoelásticos ya que, en muchas ocasiones, comparten propiedades de los fluidos y de los sólidos. De todas formas, para entender su comprensión, la reología de ambos materiales se estudia por separado.

Evidentemente hay otros factores que van a influir en los cambios reológicos de los materiales aparte del trabajo mecánico a que son sometidos. Los más importantes son la temperatura y la concentración. Para poder comprender los cambios debidos a las variaciones de trabajo mecánico se debe asumir que se trata de fluidos a concentración y temperatura constantes.

## Reología de fluidos

### Viscosidad dinámica

La viscosidad es la oposición que muestra un fluido a deformarse y moverse cuando se le aplica una fuerza tangencial. Por lo tanto, el concepto de viscosidad solo se puede aplicar a fluidos en movimiento y representa la relación existente entre la fuerza tangencial (esfuerzo cortante o fuerza de cizalla) y

el gradiente de velocidad provocado. A este concepto de viscosidad (se representa con la letra griega  $\mu$ ) se la conoce como viscosidad absoluta o viscosidad dinámica. Este tipo de viscosidad es la que miden los viscosímetros rotacionales o los viscosímetros de caída de bola.

En el Sistema Internacional (SI) la unidad de medida de la viscosidad dinámica es el pascal·segundo ( $Pa \cdot s$ ) que se corresponde con  $1 N \cdot s/m^2$  ó  $1 kg/(m \cdot s)$ . En el Sistema Cegesimal (CGS) la unidad de medida de la viscosidad dinámica es el poise (P) que se corresponde a  $1 g/(s \cdot cm)$  ó  $0,1 Pa \cdot s$ . En alimentación se suele usar el submúltiplo centipoise (cP) y se toma como referencia debido a que el agua a  $20 \text{ }^\circ C$  tiene una viscosidad de 1,0020 cP.

### Viscosidad cinemática

Otra medida de viscosidad es la viscosidad cinemática, que se representa por la letra griega  $\nu$  y corresponde al cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad del fluido. Este tipo de viscosidad es la que miden los viscosímetros del tipo Copa Ford.

La viscosidad cinemática se corresponde con el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad.

La unidad en el SI es el  $m^2/s$  y en el en el CGS es el stoke (St).

### Viscosidad aparente

En fluidos cuya viscosidad dinámica cambia dependiendo de la fuerza de cizalla aplicada o del tiempo durante el que se aplica, se suele usar el término "viscosidad aparente", dando a entender que es un valor variable según las condiciones de medida.

**Tabla 5.** Características de la viscosidad absoluta y cinemática.

Características	Viscosidad absoluta	Viscosidad cinemática
<b>Unidades</b>	Pascal·Segundo (Pa·s) En alimentación aún se usa habitualmente el centiPoise (cP): cP = mPa·s	centiStoke (cSt)
<b>Símbolo</b>	$\mu$ Relación entre fuerza de cizalla y gradiente de velocidad	$\nu$ Relación entre viscosidad dinámica y densidad $\nu = \mu/\rho$
<b>Equipos de medida</b>	Viscosímetros rotacionales Viscosímetro de caída de bola	Copa Ford

**i**

1 poise=100 centipoise=  
0,1 Pa·s=1g/(cm·s)

1 centipoise=1 mPa·s

1 stoke=100 centistokes=  
1 cm<sup>2</sup>/s = 0,0001 m<sup>2</sup>/s

1 cSt = 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

### Comportamiento de los fluidos según su viscosidad

No todos los fluidos, sean o parezcan más o menos viscosos, se comportan de igual manera cuando se les aplica una fuerza de cizalla. En algunas ocasiones su viscosidad se mantendrá estable en la mayor parte de circunstancias mientras que, en otras, la viscosidad parecerá cambiar dependiendo de la fuerza de cizalla aplicada o del tiempo que lleve esta fuerza siendo aplicada. Estas variaciones tendrán mucha importancia en el comportamiento del fluido durante el proceso de fabricación o trasvase de un tanque a otro o en el momento del envasado. Si se conoce cuál va a ser su comportamiento, se pueden cambiar variables como temperatura, fuerza de cizalla o tiempo de aplicación para lograr que los líquidos, momentáneamente, parezcan más o menos viscosos y se facilite el trasvase o transporte.

- **Fluidos newtonianos.** Son fluidos cuya viscosidad es constante a una temperatura dada y no depende de la fuerza de cizalla, independientemente del tiempo que sea sometida. Estos fluidos cumplen la Ley de Newton de forma que la relación entre la fuerza de cizalla ( $\sigma$ ) y la velocidad de cizalla ( $\gamma$ ) es proporcional y la viscosidad es constante en todo el gradiente de valores de velocidad de cizalla. Por lo tanto, la viscosidad es un parámetro característico de este fluido. El mejor ejemplo de fluido newtoniano es el agua. Por ello se tiende a pensar que el comportamiento newtoniano aparece en líquidos poco viscosos como leche, café, zumos, refrescos, aceites... Pero también son newtonianos fluidos muy viscosos como glicerina, jarabes de azúcares y la miel.

- **Fluidos no newtonianos.** La mayoría de fluidos alimentarios son no newtonianos y su viscosidad varía dependiendo de la velocidad de cizalla o, en algunos casos, del tiempo en que se mantenga esta velocidad de cizalla.
  - Dependientes del esfuerzo de cizalla:
    - Fluidos pseudoplásticos: son fluidos cuya viscosidad disminuye al aumentar el esfuerzo de cizalla. Al detener el movimiento, el fluido recupera su viscosidad inicial. Es interesante tener en cuenta este efecto cuando se trata de transvasar o hacer circular un fluido muy viscoso. Si mediante palas de agitación o bombas de recirculación ejercemos una velocidad de cizalla mayor, será más fácil mover el fluido por el circuito. Los hidrocoloides suelen proporcionar este tipo de característica a los fluidos en los que son añadidos.
    - Fluidos dilatantes: son fluidos cuya viscosidad aumenta al aumentar el esfuerzo de cizalla. Al detener el movimiento, el fluido recupera su viscosidad inicial. No son fluidos habituales. Aparecen en fluidos que tienen una gran cantidad de partículas insolubles en suspensión. Un ejemplo de este comportamiento son las soluciones muy concentradas de almidón no cocido (en Internet se pueden encontrar varios vídeos que ilustran este fenómeno). Otro ejemplo, no alimentario, es la arena de la playa en la orilla del mar. Cuando caminamos, dejamos marcada nuestra huella ya que nos hundimos en la mezcla de arena y agua pero, si corremos, al ejercer un mayor esfuerzo de cizalla, casi no se marcan las huellas.
  - Dependientes del tiempo de aplicación del esfuerzo:
    - Fluidos tixotrópicos: son fluidos cuya viscosidad disminuye al aumentar el tiempo durante el que se aplica un esfuerzo de cizalla constan-



### Pseudoplástico

Actualmente, en inglés ya no se utiliza el término *pseudoplasticity*, sino que en su lugar se habla de *shear thinning*. Debido a la dificultad de traducir este término, en español se sigue utilizando el de "pseudoplasticidad".

te. Al detener el movimiento el fluido recupera, generalmente, su viscosidad inicial. En algunos casos poco frecuentes, la viscosidad inicial no se recupera y se habla de tixotropía irreversible o reomalaxia. Este fenómeno aparece en algunos zumos concentrados.

Algunos productos como el yogur batido y purés infantiles tienen un comportamiento tixotrópico.

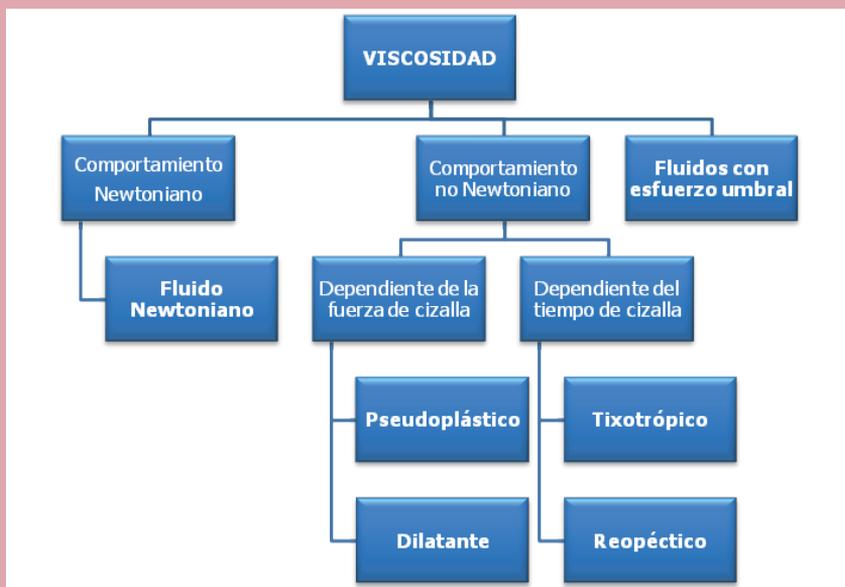
- Fluidos reopécticos: son el caso contrario al anterior, en el que la viscosidad del fluido aumenta con el tiempo de aplicación de un esfuerzo de cizalla constante. También se conoce como antitixotropía. No es un fenómeno habitual en alimentación.

- **Fluidos con esfuerzo umbral.**

También conocidos como plásticos de Bingham. Son fluidos que no fluyen espontáneamente y que necesitan que se les aplique una fuerza o presión que sobrepase un esfuerzo umbral. A partir de ese momento empieza a fluir y, generalmente, se comporta como un fluido newtoniano.

Algunos ejemplos de alimentos que necesitan este esfuerzo umbral inicial son el ketchup, mostaza, mayonesa...

La variación de viscosidad, generalmente disminución de la misma, se debe a una reorientación o deformación de las macromoléculas o bien de la ruptura de aglomerados de partículas. Esta nueva conformación ocasiona una menor interacción entre las moléculas y facilita su movimiento.



**Figura 3.** Esquema de los tipos de viscosidad.

**Tabla 6.** Esquema de sistemas de medición de viscosidad.

Viscosímetro	Funcionamiento	Pros	Contras
<b>Sensorial "Dedo"</b> 	<p>Mojar un dedo en el líquido, sacarlo y dejarlo gotear. Se puede mojar un dedo de cada mano, sacarlos al mismo tiempo y comparar qué líquido es más viscoso</p>	<p>Barato Sencillo Rápido Fácil de limpiar</p>	<p>Sin unidades Subjetivo Sin registro</p>
<b>Copa Ford</b> 	<p>Segundos que tarda un fluido en romper su flujo al vaciar la copa por un orificio de diámetro determinado.</p> <p>Existen diferentes diámetros de orificio en función de la viscosidad del fluido</p>	<p>Barato Sencillo Rápido Robusto Norma DIN</p>	<p>Unidades (s) que se pueden pasar por fórmula a cSt o a cP.</p> <p>Poco útil en no newtonianos. Inútil en fluidos con esfuerzo umbral</p>
<b>Consistómetro de Bostwick</b> 	<p>Distancia recorrida por una pasta en un tiempo determinado</p>	<p>Económico Sencillo Rápido Robusto Norma ASTM</p>	<p>Para productos muy viscosos</p>
<b>Caída de bola</b> 	<p>Tiempo que la bola necesita para recorrer 100 mm en un tubo con una inclinación de 10°</p>	<p>Económico Sencillo Rápido Norma DIN e ISO</p>	<p>Poco útil en no newtonianos. Inútil en fluidos con esfuerzo umbral No sirve en líquidos opacos</p>
<b>Rotacional</b> 	<p>Mide el esfuerzo de torsión del disco sumergido en la solución. Se puede variar tamaño de disco y velocidad de giro</p>	<p>Versátil para muchos tipos de fluido. Registro de datos Tanto para newtonianos como no</p>	<p>Caro Delicado Precisa limpieza cuidadosa de sondas y discos</p>

## MODIFICANDO LA TEXTURA DE LOS ALIMENTOS. Manual de hidrocoloides

- Macromoléculas lineales rígidas se orientan en el sentido del flujo.
- Macromoléculas en ovillo se deslían parcialmente y se orientan en el sentido del flujo.
- Macromoléculas esferoidales se deforman y adquieren formas más dinámicas.
- Agregados o conglomerados de partículas se deshacen y los componentes circulan de forma individual.

Generalmente, cuando el líquido vuelve a quedar en reposo, las macromoléculas regresan a su conformación inicial y la viscosidad se recupera.

La Tabla 6 resume los sistemas utilizados más frecuentemente, en industria alimentaria, para medir o comparar la viscosidad de los fluidos.



**Figura 4.** Comportamiento espacial de macromoléculas sometidas a cizalla.

### Reología de sólidos

Los compuestos que no fluyen se consideran sólidos, aunque, a veces, sean sólidos muy blandos que casi parecen fluidos muy viscosos. Los conceptos sobre viscosidad no son aplicables a los sólidos ya que la deformación ocasionada por la fuerza aplicada no los hace fluir, sino que los deforma o los rompe. En estos casos se debe hablar de una relación entre la fuerza de compresión aplicada y la deformación producida.

Para su estudio se utilizan diferentes aparatos más o menos complejos y, en algunos casos, específicos para algún tipo de alimento en especial. Pero para estudios genéricos o para evaluar hidrocoloides se utilizan penetrómetros o texturómetros universales.

Ambos equipos aplican una fuerza de compresión unidireccional y perpendicular a la superficie sobre la que actúan. El aparato mide y registra la resistencia que opone a la fuerza aplicada la muestra a evaluar.

- Penetrómetro estático: es el aparato más sencillo para medir la consistencia de un sólido. Consiste en un vástago que puede estar terminado en forma cónica o plana (generalmente de 1 cm<sup>2</sup> de superficie) sobre el que se aplica una presión que queda registrada por un manómetro. Mide la compresión máxima que soporta el sólido antes de deformarse, romperse o la distancia que penetra la sonda en el cuerpo. El resultado se suele expresar como "fuerza de gel" o "dureza del gel" y las unidades utilizadas son g/cm<sup>2</sup>.
- Texturómetro universal: es un aparato más sofisticado que aporta una mayor información ya que, además de la consistencia o penetración inicial, puede medir otros parámetros como la adhesividad o la elasticidad. Para realizar la medición se deben establecer una fuerza máxima a apli-

car, una velocidad de descenso de la sonda de medición, un intervalo de distancia en el que se va a realizar la prueba y, si se cree conveniente, se pueden insertar varios ciclos de medida sobre la misma prueba. El resultado aparece en forma de gráfica. Para relacionar mejor el estudio realizado por el texturómetro con el acto de masticar, se introdujo el concepto de "TPA" (*Texture Profile Analysis*) consistente en comprimir parcialmente dos veces consecutivas una muestra, recreando la sensación de masticar dos veces. De este tipo de gráfica se obtienen diferentes datos esquematizados en la Tabla 7.

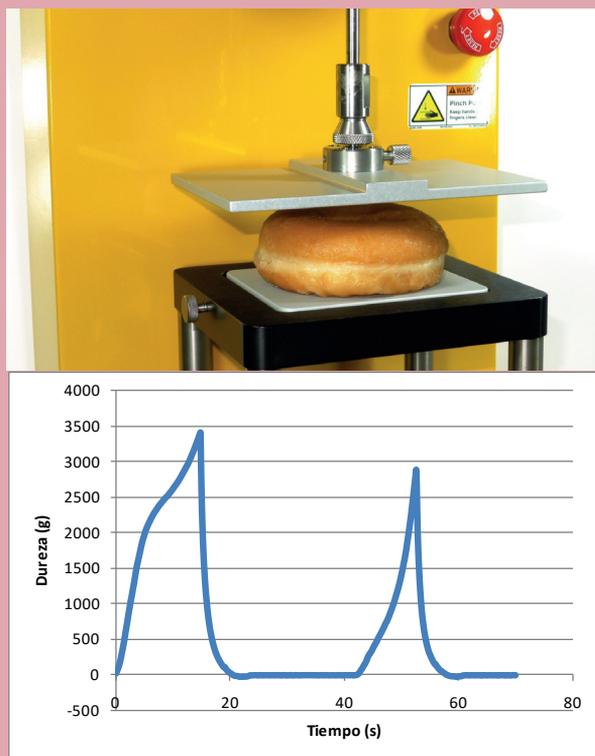
Las características reológicas de algunos hidrocoloides se miden con aparatos desarrollados especialmente para ellos, según protocolos especiales, y se expresan en unidades específicas.



**Figura 5.** Penetrómetro estático.



**Figura 6.** Texturómetro universal.



**Figura 7.** Análisis de textura TPA.

**Tabla 7.** Interpretación de la gráfica del análisis TPA.

Parámetro	Definición	Unidad
<b>Dureza</b>	Fuerza necesaria para alcanzar una deformación preseleccionada	Gramos
<b>Elasticidad</b>	Relación entre la altura de la muestra en el punto de inicio de la segunda compresión y la altura inicial	Adimensional (<1)
<b>Cohesividad</b>	Relación entre las áreas debajo de la segunda y de la primera curva	Adimensional (<1)
<b>Fracturabilidad</b>	Altura correspondiente a la primera rotura significativa durante la primera compresión	Gramos
<b>Adhesividad</b>	Área negativa por debajo de la línea base del perfil que representa el trabajo necesario para retirar el émbolo de la muestra	Gramos × milímetros
<b>Gomosidad</b>	Dureza × cohesividad	Gramos
<b>Masticabilidad (sólidos)</b>	Dureza × cohesividad × elasticidad	Gramos