

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

*NEKAZARITZAKOINGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLATEKNIKOA*

**EFECTO DEL TRATAMIENTO CON ALTAS PRESIONES SOBRE LA PRE-
GELATINIZACIÓN DE ARROZ EN GRANO Y HARINA DE ARROZ**

presentado por

JESÚS GARCÍA ZAPATERÍA

aurkeztua

INGENIERO AGRONOMO
NEKAZARITZA INGENIARITZA

Marzo, 2015

Dirigido por:

Dra. Cristina Arroqui Vidaurreta

Dra. Paloma Vírseda Chamorro

Codirigido por:

Dra. M^a José Noriega Domínguez

RESUMEN

Este trabajo aborda el estudio de una de las potenciales aplicaciones de la tecnología de altas presiones hidrostáticas (HHP) en pre-gelatinización de grano y harina de arroz de cultivar *Maratelli* de grano tipo medio, de la variedad *japónica*. El objetivo general de este trabajo es analizar el efecto de la alta presión hidrostática (HHP), sobre el grado de gelatinización y las características del gel formado tanto en el grano de arroz como en la harina de arroz de la variedad *Maratelli*, con la finalidad de conocer su comportamiento reológico y la repercusión en la elaboración e platos precocinados formulados con estos productos.

Analizaremos los parámetros de absorción de agua, grado de gelatinización, temperatura de gelatinización y las propiedades reológicas de masas de las muestras de grano y harina de arroz sometidas a tratamientos combinados de presión (500MPa,600MPa,700MPa), temperatura (20°C,40°C) y tiempo (10min,20min).

Para analizar el grado de gelatinización de las muestras tanto de grano como de harina de arroz se ha utilizado la metodología propuesta por Jaisut (2008), mediante colorimetría diferencial de barrido (DSC).

Para determinar la temperatura de gelatinización y las propiedades reológicas de la masa de las muestras tanto de grano como de harina de arroz se ha empleado un viscosímetro (RVA) siguiendo el método AACCC61-02(1999) modificado.

El análisis de los resultados obtenidos demuestra que el empleo de las altas presiones hidrostáticas favorecen la absorción de agua de las muestras, incrementan su grado de gelatinización y disminuyen la temperatura a la que estas gelatinizan.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1.1 EL ARROZ	5
1.1.1 El arroz como alimento	5
1.1.2 El arroz y sus variedades	7
1.1.3 Procesado de arroz	¡Error! Marcador no definido.
1.2 APLICACIÓN DE APH EN ALIMENTOS	16
1.2.1 Desarrollo histórico de la tecnología de alta presión	¡Error! Marcador no definido.6
1.2.2 Fundamento de las altas presiones	¡Error! Marcador no definido.7
1.2.3 Efectos de las altas presiones	¡Error! Marcador no definido.8
1.2.4 Aplicaciones de altas presiones en alimentos	¡Error! Marcador no definido.0
1.3 APLICACIÓN DE LA APH EN LA GELATINIZACIÓN DEL ARROZ	22
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	27
2.1 OBJETIVOS	27
2.2 PLAN DE TRABAJO	28
2.2.1 Revisión bibliográfica	¡Error! Marcador no definido.28
2.2.2 Elección de los tratamientos a aplicar	28
2.2.3 Parámetros a analizar	28
2.2.4 Puesta punto de los métodos de análisis	28
2.2.5 Diseño experimental	29
2.2.6 Análisis de resultados	29
3. DISEÑO EXPERIMENTAL	30
4. MATERIALES Y MÉTODOS	32
4.1 MATERIALES	32
4.1.1 Materia prima	32
4.1.2 Otros materiales	32
4.1.3 Equipos	33
4.2 MÉTODOS	35
4.2.1 Preparación de la materia prima	35

4.2.2	Contenido de humedad	36
4.2.3	Tratamiento por APH.....	36
4.2.4	Liofilizado de las muestras.....	38
4.2.5	Absorción de agua	38
4.2.6	Grado de gelatinización por DSC	39
4.2.7	Características amilográficas.....	40
4.2.8	Análisis estadístico	42
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
5.1	GRANO DE ARROZ.....	43
5.1.1	Absorción de agua	43
5.1.2	Grado de gelatinización (DSC).....	45
5.1.2.1	Efecto de la presión sobre el grado de gelatinización.....	46
5.1.2.2	Efecto de la temperatura sobre el grado de gelatinización.....	46
5.1.3	Temperatura de gelatinización (DSC).....	47
5.1.3.1	Comparación de la t^a de gelatinización del grano de arroz según la metodología aplicada.....	49
5.1.4	Propiedades reológicas de las masas.....	50
5.1.4.1	Índice Breakdown	50
5.1.4.2	Setback from peak.....	51
5.1.4.3	Setback from trough.....	52
5.2	HARINA DE ARROZ	54
5.2.1	Grado de gelatinización (DSC).....	54
5.2.2	T^a de gelatinización.....	55
5.2.3	Propiedades reológicas de masas.....	57
5.2.3.1	Índice Breakdown	57
5.2.3.2	Setback from peak.....	58
5.2.3.3	Setback from trough.....	59
5.3	CORRELACIONES ENTRE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS	60
6.	CONCLUSIONES.....	61
7.	BIBLIOGRAFÍA	63
8.	ANEXOS	69

1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL ARROZ

1.1.1 El arroz como alimento

El arroz (*Oryza sativa*) es un cereal de primordial importancia para la alimentación humana, a la que se dedica el 95% de la producción, siendo básico en la dieta de más de la mitad de la población mundial, especialmente en países subdesarrollados o en vías de desarrollo.

Su origen se sitúa en Asia, probablemente en la India, hace más de 10.000 años, si bien fue en China donde comenzó su cultivo y domesticación. De Asia pasó a Europa oriental sobre el año 800 A. C., llegando a España con la invasión musulmana y difundiendo desde aquí a la Europa mediterránea y más tarde al continente americano.

El arroz es el cereal que más se consume en el mundo después del trigo. A más de la mitad de la población mundial les proporciona más del 50% de las calorías de su alimentación. Ocupa un lugar tan importante en Asia que llega incluso a tener repercusiones sobre el idioma y las creencias locales.

El arroz es uno de los productos básicos más protegidos tanto en los países en desarrollo como en los países desarrollados, por su carácter estratégico ya que es la base de la alimentación de cerca de la mitad de la población mundial, sobre todo en Asia y África. Debido a esta importancia estratégica y a que el consumo interno de los principales países productores y exportadores, acapara la casi totalidad de su producción interna, el comercio mundial del arroz, representa un porcentaje relativamente pequeño de la producción mundial.

La FAO ha establecido que la producción mundial de arroz en 2012 ha sido de 732,3 millones de toneladas (488,2 millones de toneladas de arroz elaborado), un 1,7 % mayor que en el año anterior, superando en producción al trigo (650 millones de toneladas) y ligeramente por debajo del maíz (800 millones de toneladas).

La superficie cultivada ha sido de 165,1 millones de hectáreas, de las que un 90% se sitúa en Asia. Tan solo siete países asiáticos (China, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam, Myanmar y Tailandia) producen y consumen el 80% del arroz del mundo.

En la Unión Europea se dedican al arroz unas 475.000 hectáreas con una producción de uno 3,2 millones de toneladas de arroz cáscara (1,8 millones de toneladas de arroz blanco). Italia es el primer productor, con un 52% de la superficie total, seguido de España con un 20% de la misma. En cuanto a la producción de arroz cáscara los porcentajes son del 50 y un 30 %, respectivamente, debido al mayor rendimiento agronómico del arroz en España.

Según el Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) el cultivo del arroz en España, se concentra en las Comunidades autónomas de Andalucía, Cataluña, Extremadura, C. Valenciana y Aragón, cultivándose también, de manera testimonial, en Navarra, Murcia, Castilla La Mancha, La Rioja y Baleares.

La producción media de arroz en España está en torno a las 830.000 toneladas de arroz cáscara (“paddy”), de las cuales, más del 60%, se producen en Andalucía y Extremadura. En cuanto a variedades, el 65% de la producción se obtiene de variedades de arroz del tipo índica, y el 35% restante, de variedades de arroz del tipo japónica.

Un estudio de Mercasa mostró que durante el 2011 el consumo total de arroz ascendió en España a cerca de 209,5 millones de kilos. El mayor porcentaje de consumo se concentra en los hogares (84,5%), mientras que la restauración comercial supone el 9,3% y la restauración social y colectiva llega al 6,2%

En Navarra la superficie dedicada al cultivo de arroz en el año 2012, según el INTIA, es de 2.220 hectáreas. El rendimiento medio fue de 6.961 kg/ha siendo la variedad Guadamar la más utilizada, ocupando un 90% de la superficie.

Arguedas es la localidad que más arroz cultiva, abarcando el 85% de la producción anual. El 15% restante corresponde a Valtierra, Caparros, Cabanillas, Tudela, Carcastillo, Figarol, Mérida, Murillo el Fruto, Santacara y Fustiñana.

1.1.2 El grano de arroz y sus variedades

El arroz es una especie monocotiledónea anual, perteneciente a la familia de las Poáceas (Gramíneas), que crece con mayor facilidad en los climas tropicales. La mayoría de los cultivares de arroz utilizados corresponden a la especie *Oryza sativa* L. Originariamente, el arroz era una planta cultivada en seco pero con las mutaciones se convirtió en semi-acuática. Aunque puede crecer en medios bastante diversos, crecerá más rápidamente y con mayor vigor en un medio caliente y húmedo.

La estructura de la planta de arroz se representa en la figura 1. Los tallos terminan en una "inflorescencia", una panícula de 20 à 30 cm de largo, siendo una espiguilla la unidad de la panícula. Cada panícula se compone de entre 50 y 300 flores, que son de color verde blanquecino dispuestas en espiguillas cuyo conjunto constituye una panoja grande. A partir de las flores se formarán los granos.

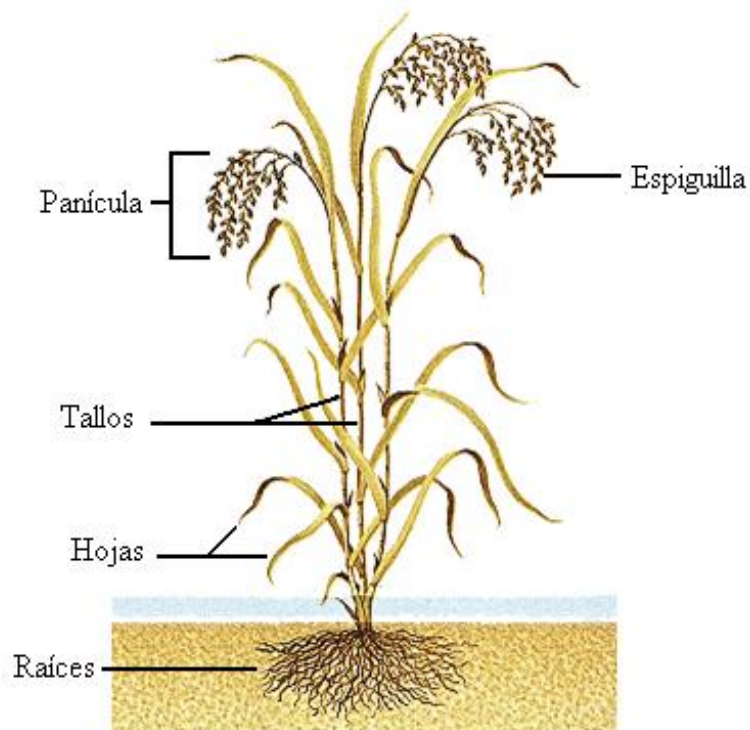


Figura 1. Estructura de la planta de arroz

El grano de arroz es un ovario maduro, seco e indehisciente (Figura 2). Consta de dos partes: la cáscara, formada por la lemma y pálea con sus estructuras asociadas, y la cariósperide. Este último está formado en primer lugar por tres capas de células que constituyen el pericarpio, así como del embrión y el endospermo. Debajo del pericarpio hay dos capas de células que representan la cubierta de la semilla, que son el tegumento y la aleurona.

El endospermo blanco, que es el principal componente de la semilla, está compuesto por gránulos de almidón inmersos en una matriz proteica, así como de azúcares, grasas, fibra cruda y materia inorgánica.

El embrión, por su parte, se encuentra en el lado ventral de la espiguilla, y contiene las hojas embrionarias (plúmulas) y la raíz embrionaria (radícula).

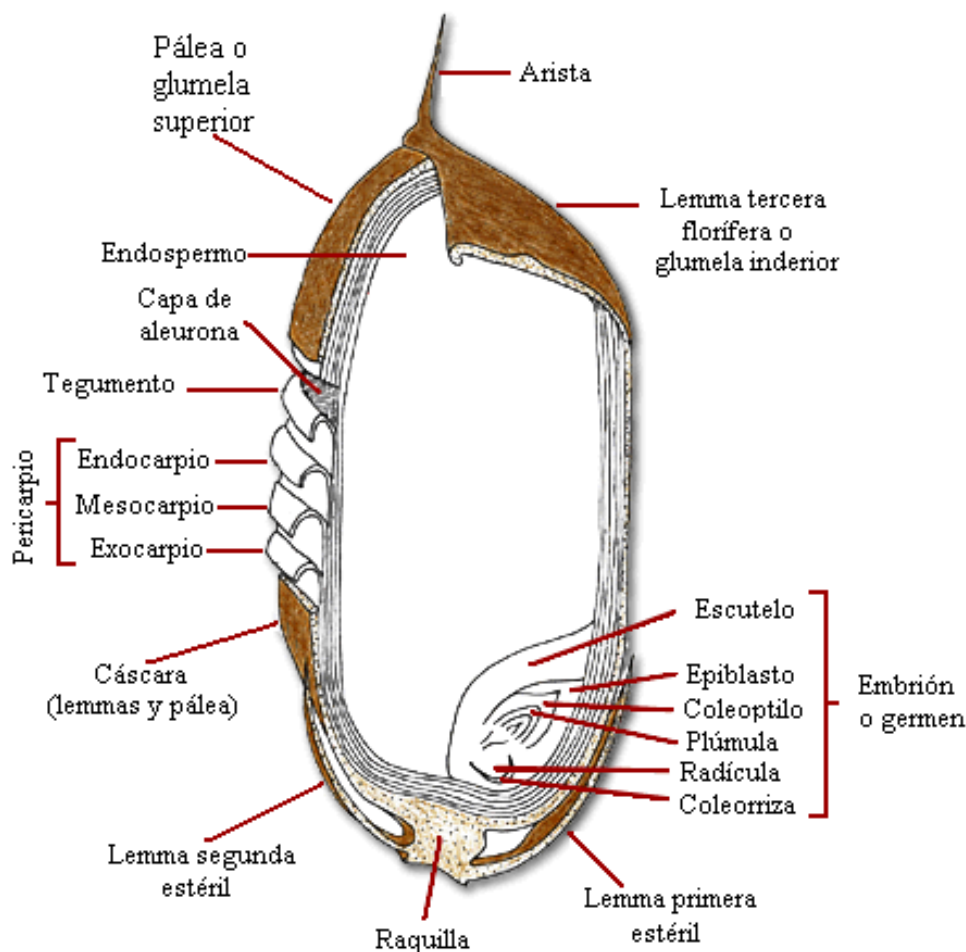


Figura 2. Estructura del grano de arroz

El mejoramiento intensivo y la selección continua de variedades con mejor potencial de rendimiento, buena adaptación, calidad del grano y tolerancia a las principales plagas y enfermedades contribuyeron a la erosión genética y disminución de la variabilidad presente en el arroz cultivado (Gowda *et al.*, 2003; Cuevas-Pérez *et al.*, 1992; Hardgrove *et al.*, 1980).

El género *Oryza* comprende 23 especies conocidas con diez tipos de genomas entre diploides y tetraploides (Ge *et al.*, 1999) distribuidas por todo el mundo, siendo *Oryza Sativa* y *Oryza Glaberrima* las cultivadas mayormente.

La especie *O. Sativa*, originaria de Asia, se obtuvo a través de cruzamientos interraciales y está distribuida por todas las regiones tropicales y templadas del mundo, mientras que *O. Glaberrima*, originaria de África Occidental (delta del río Níger), presenta una menor diversidad y se produjo a partir de dos especies silvestres.

A diferencia de *O. Sativa*, el cultivar africano se caracteriza por tener la capacidad de crecer en suelos poco fértiles, resistiendo mejor a la sequedad, así como a las plagas y enfermedades (Marco A. *et al.*, 2006). Sin embargo, la especie asiática presenta un rendimiento y una producción mucho mayor.

Con el proceso evolutivo y de domesticación al que se sometió la especie *Oryza Sativa*, surgieron innumerables tipos genéticamente divergentes los cuales se fueron adaptando a las más variadas condiciones agroecológicas, estando la especie actualmente subdividida en dos principales subespecies o variedades: *índica* y *japónica*.

La variedad *índica* se cultiva en las zonas tropicales y subtropicales, al sur y sudeste de Asia, como China, India, Filipinas, Indonesia. Esta variedad representa el 80% del arroz cultivado en el mundo. Morfológicamente, se caracteriza por tener un grano largo y fino, tallos largos, alta capacidad de macollamiento, hojas largas y decumbentes y ciclo tardío.

La variedad *japónica* se cultiva en las zonas templadas de Taiwan, Corea, Japón, parte de Australia, California, Europa y Egipto. Posee tallos cortos y rígidos, mediana capacidad de macollamiento, hojas oscuras y ciclo más corto (Pinheiro, 1998). Los

granos son más cortos, redondeados y tienen un menor contenido en amilosa que la variedad *índica*.

Katayama (1997) evaluó diferentes especies silvestres y cultivadas, muestreadas en varios países (India, Sri Lanka, Indonesia, China, Corea y Tailandia). Cinco características fueron empleadas para la clasificación (Tabla 1).

Tabla 1. Principales diferencias entre subespecies *Índica* y *Japónica*.

Caracteres	<i>Índica</i>	<i>Japónica</i>
Forma y color de la hoja	Larga y verde clara	Estrecha y verde oscura
Ángulo (hoja bandera y tallo)	Agudo	Abierto
Forma del grano	Largo y fino	Medio-corto y redondo
Arista	Fina y corta	Gruesa y larga
Distribución geográfica	Zonas tropicales y subtropicales	Regiones templadas

Independientemente de la variedad, la forma más común de clasificar los tipos de arroz es en función del tamaño del grano. El Codex Alimentarius propuso la siguiente clasificación basada en la relación largo/ancho del grano de arroz:

- Grano largo: $\leq 3,1$
- Grano mediano: 2,1-3
- Grano corto: ≤ 2

El arroz de grano largo es propio de la variedad *índica* y se caracteriza por tener una longitud superior a 6 mm. No se pega con facilidad y por su alto contenido en amilosa requiere de mayor tiempo y agua para su cocción. Este tipo de arroz es ideal para ensaladas y guarniciones.

El de grano medio pertenece a la variedad *japónica* y presenta una longitud entre 5,2 y 6 mm. Tiene menos amilosa que el arroz de grano largo, siendo su sabor y textura más suaves, y es utilizado para la elaboración de risottos.

Por último, el arroz de grano corto o redondo, al igual que los de grano medio, es de la variedad *japónica*. Los granos de este tipo de arroz tienen una longitud inferior o igual a 5,2. Sus granos se adhieren entre sí con facilidad y son los más utilizados en paellas.

Por tipos de arroz cultivados en Europa en la campaña 2011/2012, la variedad *japónica* con una producción de 1.953.910 t, representa el 64,3% de la producción total y el tipo *índica* el 35,7% restante. La superficie base para el pago de la ayuda en toda la UE es de 400.699 ha, correspondiendo a España el 26%.

En España la producción de arroz de variedad *índica*, de grano largo, representa el 44,4% y se destina fundamentalmente a exportación, mientras que el 55,6% restante corresponde a la variedad *japónica*, que está destinado mayormente a consumo interno.

En este trabajo se ha elegido una variedad de grano medio (*japónica*), ya que este tipo de arroces han sido poco utilizados en estudios de investigación en comparación a los realizados con cultivares de grano largo (*índica*). Concretamente ha sido el cultivar *Maratelli* el seleccionado para este trabajo, debido también a que es un arroz cultivado en Navarra.

1.1.3 Procesado de arroz

El arroz blanco destinado al consumo es previamente sometido a una serie de procesos para su comercialización, que se detallan a continuación (Figura 3).

➤ **Recepción:**

Consiste en la entrada del arroz cáscara a la planta de elaboración, donde se almacena a la espera de su procesado.

➤ **Limpieza:**

El arroz se somete a un proceso de limpieza, de manera que se eliminan tanto grandes como pequeñas impurezas que acompañan al grano. Este proceso es realizado mediante aspiradores de polvo, tamices, separadores de piedra y separadores magnéticos.

➤ **Secado:**

El secado se realiza para inhibir la germinación de las semillas, reducir el contenido de humedad de los granos hasta un nivel que impida el crecimiento de los hongos, y evitar las reacciones de deterioro. Este proceso se lleva a cabo mediante un secadero y se realiza en varias etapas lentamente para no provocar fisuras en el grano.

➤ **Almacenamiento:**

El arroz es almacenado en silos, en condiciones controladas de humedad y temperatura, de modo que esté preparado para su procesado en las siguientes etapas.

➤ **Descascarillado:**

Este proceso consiste en eliminar la cascarilla dura que protege al grano cuando está en la espiga. Consiste en hacer pasar el arroz limpio a la tolva de descascarillado en donde es dosificado hacia los cilindros en movimiento, en donde por un proceso de abrasión entre la cascarilla del arroz y la superficie de caucho de los rodillos es liberada la capa más externa del arroz o cascarilla. Tras este proceso se obtiene arroz integral.

➤ **Blanqueado y pulido:**

En este proceso tiene lugar la separación del pericarpio y del germen. Se realiza en blanqueadoras de tipo horizontal o vertical, las cuales blanquean el grano por abrasión, con superficies de esmeril-carburo de silicio.. La fase de pulido se realiza mediante la fricción de los granos entre sí.

➤ **Limpieza y clasificación:**

Tras la erosión producida en el blanqueado y pulido, es necesario separar el salvado desprendido de los granos. Después, mediante tamices se separan los granos enteros de los medianos y quebrados, y se clasifica el arroz según el tamaño del grano.

➤ **Envasado:**

Una vez terminadas las etapas anteriores, se procede al envasado del arroz en función de los formatos con los que se comercializa. Este proceso se realiza mediante una envasadora.

A continuación se muestra el porcentaje en peso que corresponde a cada componente en el procesado del arroz blanco (Tabla 2).

Tabla 2. Balance de materiales en el proceso de molienda del arroz.

Producto	% peso
Arroz cáscara	100
Arroz blanco	60-70
Cascarilla	16-21
Salvado	5-12
Germen	1,5-2,5
Medianos	5-15

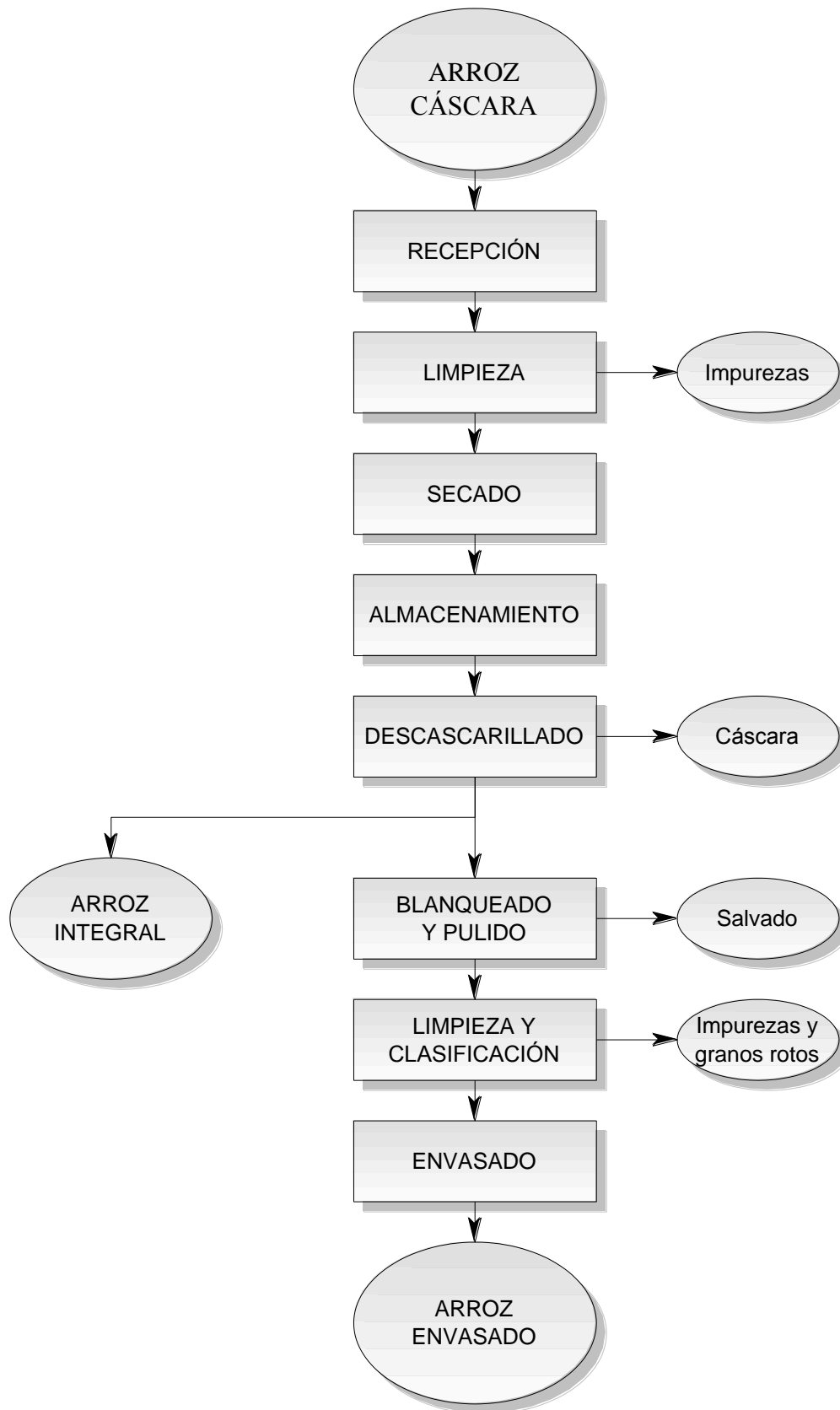


Figura 3. Diagrama del proceso de elaboración de arroz blanco.

En la actualidad el consumidor se inclina por alimentos procesados con alto valor nutritivo y propiedades similares a las del producto fresco, de manera que cada vez se exigen más productos de alta calidad, con sabor auténtico y con bajo contenido en aditivos que puedan perjudicar su salud.

Un ejemplo es el arroz vaporizado o “parboiled”, que se obtiene tras una cocción a vapor con la cáscara, de manera que parte de las vitaminas y de los minerales del salvado pasan al grano de arroz, con lo que este se enriquece en dichos nutrientes.

Además de la búsqueda de alimentos menos procesados por parte del consumidor, el ritmo acelerado de la vida moderna ha promovido nuevas formas de consumir el arroz, tales como el arroz instantáneo, también conocido como arroz de cocción rápida. Éste es un arroz que ha sido cocido para facilitar la entrada de agua durante la cocción y acelerar así el proceso, que pasa de los veinte minutos tradicionales a tan sólo cinco minutos. La reducción de tiempo de cocción final del arroz precocido lo hace más atractivo para consumidores que buscan alimentos de preparación rápida y fácil, y para empresas de catering que ofrecen platos preparados a distintos colectivos.

Si asociamos el concepto de alimentos mínimamente procesados para conservar sus atributos de calidad (olor, sabor, textura), evitando así los tratamientos térmicos, y además se buscan cada vez más platos precocinados de fácil preparación, la tecnología de altas presiones hidrostáticas (APH) resulta muy interesante y es cada vez más empleada en el procesado de alimentos. La tecnología de altas presiones es adecuada para la producción de alimentos mínimamente procesados y además, tiene un uso potencial para el desarrollo de nuevos productos con texturas o sabores únicos con mínimos efectos en el sabor, color y valor nutricional (Pei-Ling *et al.*, 2010).

1.2 APLICACIÓN DE LA APH (ALTA PRESIÓN HIDROSTÁTICA) EN ALIMENTOS

1.2.1 Desarrollo histórico de la tecnología de alta presión

La tecnología de APH ha sido creada para reemplazar el tratamiento térmico tradicional en el procesado de alimentos, desde que Hite en 1899 observara por primera vez el aumento de la vida útil de la leche mediante un tratamiento de alta presión al reducir la carga microbiana. En 1914, este investigador y sus colaboradores estudiaron los efectos de las altas presiones en frutas y hortalizas y observaron también que dichos alimentos se conservaron durante 5 años tras haberles aplicado un tratamiento de APH en un rango de 400 a 820 MPa (Farr, 1990). Casi un siglo más tarde, y gracias a los avances realizados por la industria cerámica y metalúrgica en la utilización de técnicas de alta presión durante los años setenta y ochenta, se ha abierto la posibilidad de tratar los alimentos por este método a nivel industrial (Hoover *et al.*, 1989).

A partir de un proyecto múltiple subvencionado por el gobierno japonés en 1989 y apoyado por las principales empresas de alimentación japonesas, se impulsó el desarrollo de productos tratados por alta presión cuyo fruto fue la comercialización en Abril de 1990 de mermelada por parte de la empresa Meidi-Ya Food Co. Esta iniciativa fue seguida por la comercialización de otros productos de diferentes empresas, apreciándose por parte de los consumidores un creciente interés en los productos de alta calidad por encima de alimentos que hayan sufrido sobrecalentamientos o autoclavados. Este público valora las características organolépticas de los productos tratados por presión, asociándolos a productos naturales con muy poca transformación (Hayashi, 1992). Actualmente algunos de los productos alimenticios procesados por altas presiones comercializados son mermeladas, jaleas, yogurt, jugos de fruta y diversos productos elaborados a base de pescado (Leadley *et al.*, 2003).

Muchos de los estudios realizados con esta tecnología se han llevado a cabo para analizar la inactivación de los microorganismos y la alteración de los comportamientos enzimáticos y/o funcionalidades de proteínas para prolongar la vida útil de los alimentos y/o mejorar sus cualidades finales (Rastoig *et al.*, 2007).

1.2.2 Fundamentos de las altas presiones

La tecnología de altas presiones hidrostáticas (APH) es un método empleado en la conservación de los alimentos, donde el producto está sujeto a presiones que pueden ir desde los 100 hasta los 1000 MPa, con o sin adición de calor. La finalidad del tratamiento es la de eliminar microorganismos patógenos vegetativos, como *Listeria monocytogenes* (Figura 4) y *Salmonella*, reducir microorganismos alteradores e inactivar ciertas enzimas, con efecto mínimo sobre los atributos sensoriales y las propiedades nutricionales de los alimentos. Eso se debe a que las altas presiones tienen un efecto poco significativo en componentes alimenticios de bajo peso molecular, como son los compuestos responsables del sabor, vitaminas y pigmentos, comparado con los procesos térmicos. A su vez, la tecnología APH permite duplicar o triplicar la vida útil de los productos (periodo desde la elaboración hasta el vencimiento) respecto de los sistemas convencionales y su rasgo más distintivo es que no altera la “frescura” del producto. También, la tecnología APH se puede aplicar para el desarrollo de nuevos productos (reducidos en sal, en grasas, etc.) y para la optimización de procesos convencionales de la industria alimenticia (por ejemplo, marinado de carnes, madurado de quesos, etc.)

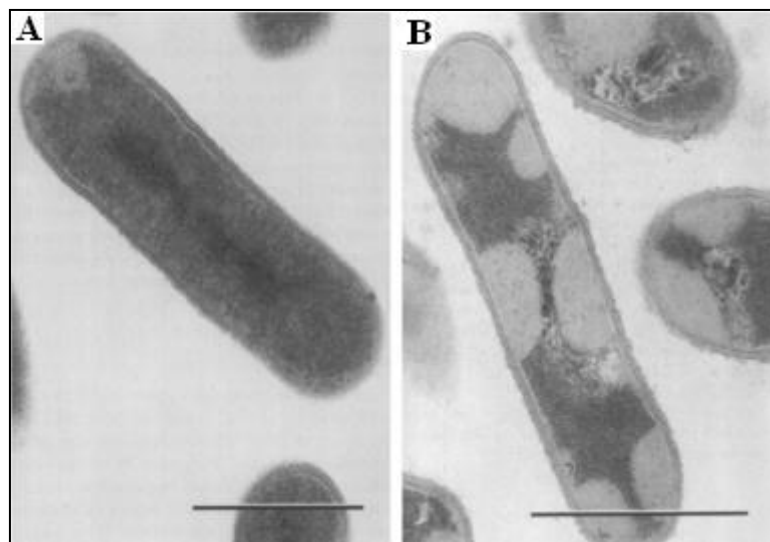


Figura 4. Fotos de microscopía electrónica de *Listeria monocytogenes* (A) y *L. monocytogenes* en jamón serrano tras un tratamiento de APH a 500 MPa durante 10 minutos (B) (Mackey *et al.*, 1994).

Un equipo de APH consta de una cámara de presión, un sistema generador de alta presión, el medio transmisor, un controlador de temperatura y un equipo para el manejo del alimento. El proceso de presurizado de un alimento comienza con la colocación del producto en un recipiente de plástico estéril, donde se sella y se introduce en la cámara de presurización. Una vez cerrada, la cámara se llena con el medio transmisor, normalmente agua y comienza el tratamiento. Según el principio de Pascal, la presión ejercida en cualquier parte de un fluido incompresible, se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido, de manera que no hay posibilidad de que el alimento se deforme. Pasado el tiempo de tratamiento, la cámara se descomprime y se extrae el alimento procesado (Barbosa-Cánovas *et al.*, 1998).

1.2.3 Efectos de las altas presiones

Entre las ventajas que proporciona la tecnología de APH se encuentran:

- Inhibición del desarrollo de microorganismos (*Listeria*, *Salmonella*, etc.).
- Incremento de la vida útil de los productos alimenticios.
- Conservación de las características nutricionales y organolépticas, dando aspecto de producto fresco.
- Reducción de la concentración de conservantes y aditivos utilizados en la formulación del producto.
- Diseño y desarrollo de nuevos productos.
- No se requiere la utilización de procesos térmicos.
- Es una tecnología limpia respecto al cuidado del medioambiente.
- Reducción del consumo energético respecto a los procesos térmicos tradicionales.

A pesar de ser una tecnología en auge, presenta ciertos inconvenientes:

- El coste del equipamiento es excesivamente elevado.
- Presenta inconvenientes para el procesamiento de grandes volúmenes de producto (no se procesa en continuo).
- Escasa difusión y desconocimiento de los beneficios que aporta esta tecnología, lo que puede causar un rechazo del producto por parte de los consumidores.
- En algunos alimentos puede causar una modificación indeseable de su textura y aspecto original, por lo que es recomendable evaluar cada caso en particular.

Una de las aplicaciones más extendidas en el uso de altas presiones en procesos de industria alimentaria se centra en alargar la vida útil del alimento mediante la esterilización no térmica o reducción de la actividad enzimática (Hyun-Seok *et al.*, 2011).

La demanda de alimentos de alta calidad da lugar a las altas presiones hidrostáticas como la tecnología emergente más desarrollada para la preservación suave de los alimentos. Su éxito se debe, además de por su seguridad microbiológica, a que retienen más el sabor original, la textura y el contenido nutricional (Knorr *et al.*, 2011).

Hay un importante ahorro energético en comparación con las técnicas de estabilización térmica, ya que una vez que se alcanza la presión deseada, se puede mantener sin la necesidad de una mayor entrada de energía (Boluda-Aguilar *et al.*, 2013).

Varios estudios han demostrado que en óptimas condiciones de tratamiento a altas presiones se pueden inactivar factores anti-nutricionales. Kato *et al.* (2000) aplicó un tratamiento de APH para eliminar proteínas alergénicas del arroz (principalmente 16kDa albúmina y 33kDa globulina) y observó que una cantidad significativa de proteínas fueron liberadas en el rango de presión entre 300-400 MPa.

La inactivación de los microorganismos por altas presiones puede ser debida a un incremento en la permeabilidad de la membrana, la inhibición de las reacciones productoras de energía y la desnaturalización de las enzimas esenciales para el desarrollo y reproducción de la célula (Pothakamury *et al.*, 1995).

1.2.4 Aplicaciones de las altas presiones en alimentos

En el procesamiento de alta presión aplicada a temperatura ambiente, se obtiene un producto con la mayor parte de los atributos de calidad de los alimentos intactos, por ejemplo, la presurización no afecta a los enlaces covalentes, evitando el desarrollo de sabores extraños en los alimentos (Knorr *et al.*, 2002).

Los productos alimenticios en los que más se utilizan las altas presiones son:

Productos Cárnicos

La tecnología de APH se aplica como etapa final en la elaboración de productos cárnicos, como jamón crudo o cocido fraccionados o enteros, pechugas de pollo o pavo, embutidos, productos listos para consumir, entre otros.

Frutas y Hortalizas

El procesado por altas presiones es una alternativa a los tratamientos térmicos tradicionales utilizados para pasteurizar frutas u hortalizas mínimamente procesadas o productos elaborados como purés y salsas.

Jugos y Bebidas

En la industria de jugos de fruta uno de los mayores inconvenientes es la pérdida de la calidad nutricional y sensorial que se produce cuando estos son pasteurizados por proceso térmico. Por ello, el empleo de altas presiones es una solución efectiva a este problema, ya que permite obtener jugos de características similares a los recién exprimidos, pero con una mayor vida útil.

Algunos estudios en jugo de naranja procesado bajo presión no mostraron cambios importantes en comparación con el producto recién exprimido, conservando la misma calidad durante el almacenamiento de hasta 3 meses a 5°C (Knorr *et al.*, 2002). En pruebas con consumidores cuando se les pide que comparen un jugo de naranja recién exprimido, con otro tratado térmicamente, y otro presurizado, los consumidores prefieren el jugo presurizado (Evans y Cox, 2006).

Pescados y Mariscos

La aplicación de altas presiones (200-350 MPa) sobre moluscos provoca la desnaturalización de la proteína del músculo que mantiene cerrado el caparazón protector, la cual pierde su actividad biológica y el músculo ya no cumple su función. De esta forma, el caparazón se abre facilitando la extracción del molusco y aumentando el rendimiento de este proceso. Además esta tecnología inhibe el crecimiento de muchos microorganismos patógenos como *Salmonella*, *Campylobacter*, *Anisakis* o *E. Coli* y aumenta en gran medida el tiempo de vida útil del producto.

Respecto al procesamiento de crustáceos la tecnología de APH, a excepción de otras técnicas, permite separar toda la carne del caparazón alcanzando rendimientos cercanos al 100%.

Productos Lácteos

Actualmente se procesan mediante tecnologías de altas presiones leche y otros productos derivados, una vez que se encuentran envasados en su empaque final. El tratamiento de leche con tecnología de APH se realiza con el fin de disminuir la carga bacteriana e inhibir el desarrollo de microorganismos patógenos, sin afectar la cepa probiótica preseleccionada. Además permite el diseño de nuevos productos lácteos que se distinguen por presentar texturas y sabores innovadores, como por ejemplo yogures, quesos, salsas y rellenos. Asimismo este tratamiento logra aumentar de 3 a 10 veces la vida útil de los productos presurizados.

En el procesamiento de leche altamente presurizado (> 200 MPa) se encontró un aumento en la solubilidad de la caseína, en el contenido de proteína y agua en cuajada, así como un aumento en el rendimiento de requesón (Knorr *et al.*, 2002). Esta leche a presión ha sido utilizada con éxito en la elaboración de queso y la producción de yogur (San Martín-González *et al.*, 2007; Penna *et al.*, 2007).

Otros avances recientes en el área de la alta presión están relacionados con el uso de almidones en el estudio de características específicas. Por ejemplo, los almidones son presurizados para estudiar la velocidad de gelatinización e hinchado (Barbosa, 2010).

La alta presión se utiliza también para algunos platos “precocinados”, como puede ser el arroz de rápida cocción, y productos cárnicos delicatessen (Clark, 2006).

1.3 EFECTO DE LA APH EN LA GELATINIZACIÓN DEL ARROZ

Para explicar el efecto que tiene la APH sobre la gelatinización del arroz, primeramente hay que definir qué es el almidón y cuál es su estructura. El almidón es un polisacárido de reserva en vegetales procedente de la polimerización de la glucosa, y está presente en semillas, cereales, tubérculos y legumbres fundamentalmente. En el caso del arroz, el almidón representa un 70-80% del grano. Este polímero a su vez está compuesto de otros dos polisacáridos, la amilosa (estructura lineal) y la amilopectina (estructura ramificada), siendo la proporción de cada una la que determina las características culinarias del producto (Figura 5).

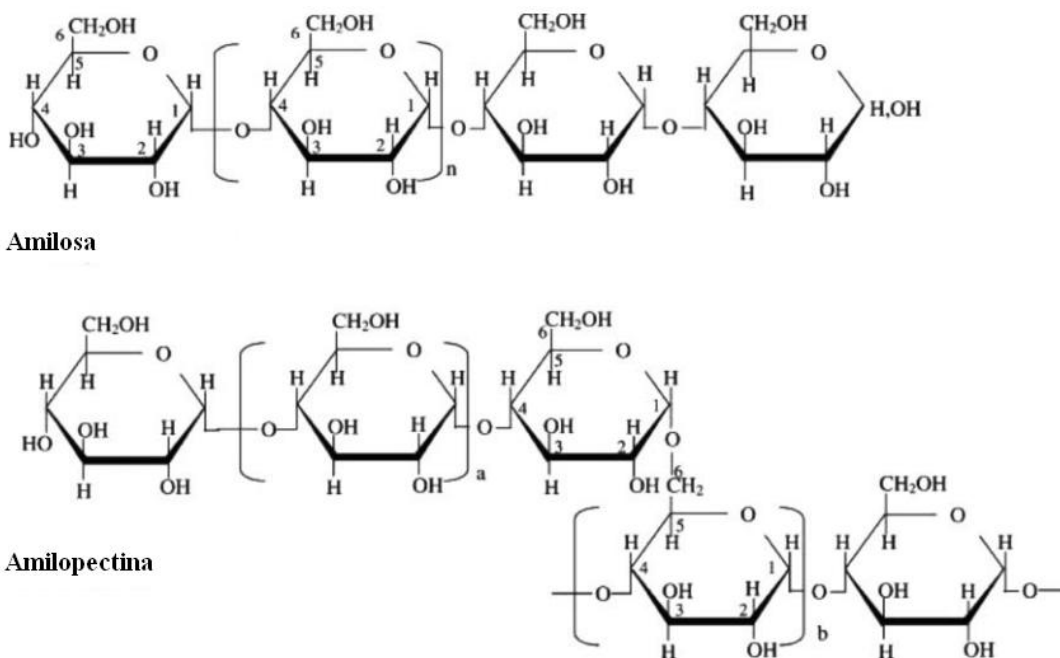


Figura 5. Estructura química de la amilosa y la amilopectina (Tester *et al.*, 2004).

Al igual que ocurre con el tratamiento térmico, numerosos estudios han demostrado la posibilidad de gelatinizar el almidón del arroz mediante el empleo de altas presiones. Durante las dos últimas décadas, la tecnología de altas presiones como proceso de gelatinización y/o modificación física del almidón ha sido investigada con distintos parámetros de tratamiento para dilucidar el mecanismo de gelatinización de los gránulos de almidón producida por la presión y para entender los efectos de la APH en las propiedades fisicoquímicas de los gránulos de almidón.

Rubens *et al.* (1999) propuso el mecanismo que tiene lugar en dos etapas para explicar la gelatinización del almidón inducida por la alta presión. En un primer paso, tiene lugar la hidratación de las partes amorfas de los gránulos de almidón, lo que conduce a la inflamación de los gránulos y distorsión de las regiones cristalinas. Posteriormente, las regiones cristalinas se han vuelto más accesibles a las moléculas de agua, lo que lleva a la ruptura final de la estructura de los gránulos de almidón.

El tratamiento con alta presión causa una distorsión irreversible de la región cristalina en los gránulos de almidón previa a una hidratación reversible de la fase amorfa, que a su vez conduce a la destrucción de la estructura granular. La presión aumenta el proceso de difusión de agua en los gránulos de almidón, especialmente en la fase amorfa, y eso conduzca a romper la estructura cristalina (Figura 6).

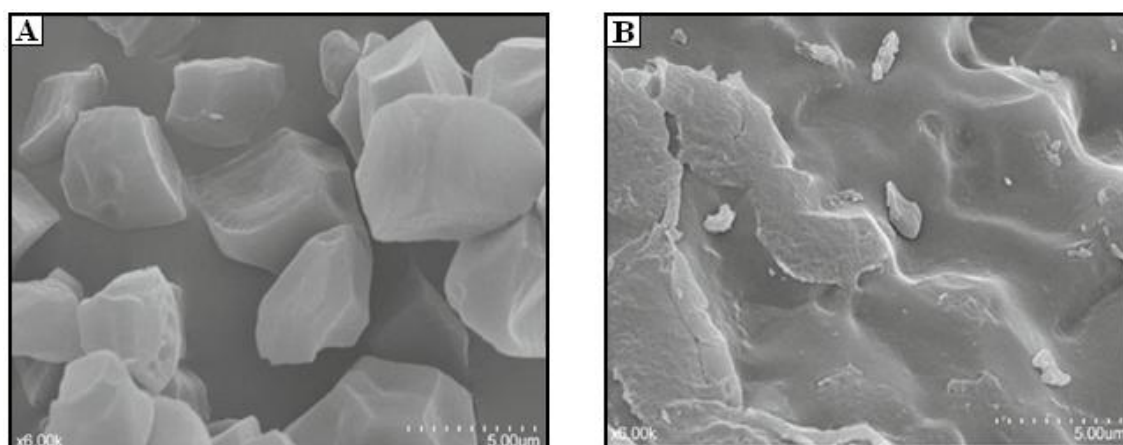


Figura 6. Microscopía electrónica de barrido (SEM) en almidón de arroz sin tratar (A) y arroz tratado con APH a 600 MPa (B) durante 30 minutos (Li *et al.* 2011)

Bauer y Knorr (2005) estudiaron el efecto combinado de la presión y el calor en la gelatinización de una gran variedad de almidones de cereales. Los resultados que obtuvieron indicaron que el grado de gelatinización depende de la presión aplicada, del contenido de humedad, del tiempo de tratamiento, de la temperatura, de la concentración y del tipo de almidón. Los almidones se clasifican en tipo A, B y C según su patrón de difracción de rayos X. Los de tipo A se asocian comúnmente a los almidones de cereales, como es el arroz, los de tipo B a tubérculos y los de tipo C a leguminosas (Liu *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2011). Los almidones de cereales (tipo A) son los más sensibles al tratamiento de APH. El rango de presión en el que se produce la gelatinización es típico para cada tipo de almidón y depende de su estructura cristalina.

El almidón de los cereales (maíz, arroz y trigo) gelatiniza completamente a partir de 600 MPa. El grado de gelatinización aumenta con el aumento de temperatura de tratamiento en el rango de entre 25 °C y la temperatura de gelatinización por calor. También puede verse afectado por el tiempo de presurización, aumentando significativamente con mayor tiempo de tratamiento hasta a 60 min (Pei-Ling *et al.*, 2010).

La presencia de agua es un factor esencial para la gelatinización del almidón mediante alta presión, y el grado de gelatinización es mayor conforme aumenta del contenido de agua (Katopo *et al.*, 2002).

El efecto de la APH en el mecanismo de gelatinización del almidón y en la estructura de gránulo no es igual en comparación con el tratamiento térmico convencional. Se ha demostrado que afectan a los polímeros de alto peso molecular que causan gelatinización de almidón. Básicamente, la alta presión afecta significativamente a la estructura amorfa y ordenada. Podría estar relacionado con el limitado hinchamiento de los gránulos de almidón, y a que la estructura granular aún se mantiene (Figura 7). Sin embargo, el tratamiento térmico cambia las propiedades físico-químicas del almidón, tales como el aumento de solubilidad en agua y el desarrollo de un comportamiento viscoelástico (Pei-Ling *et al.*, 2010).

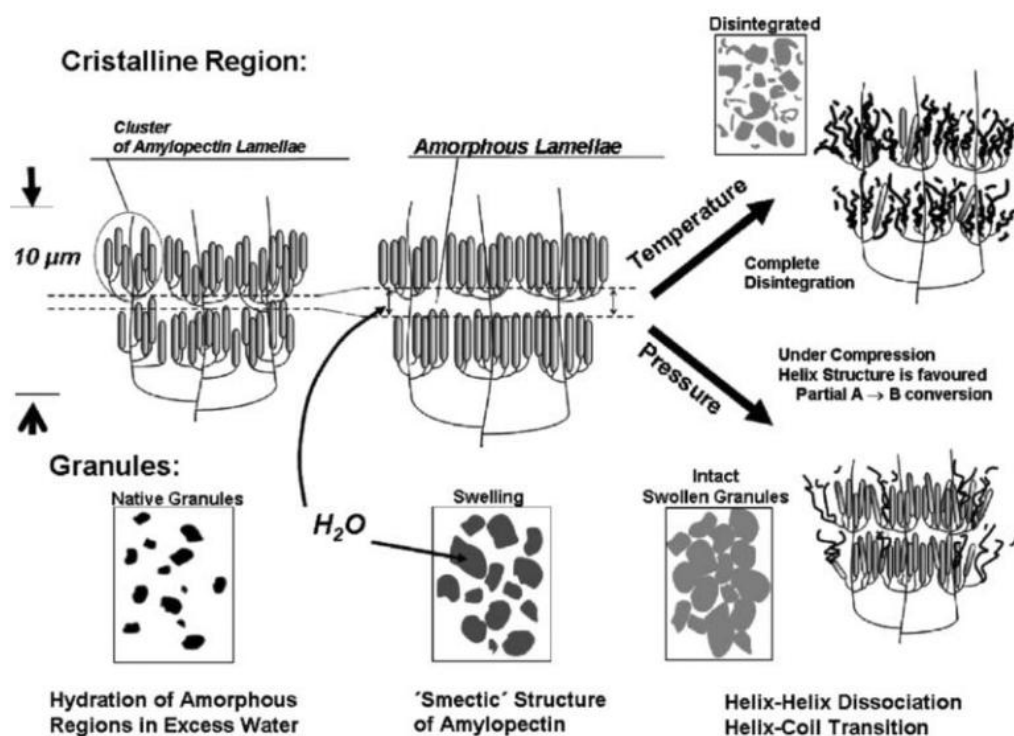


Figure 7. Diagrama esquemático de la gelatinización del los gránulos de almidón tratados por calor y presión (Knorr *et al.*, 2006).

El tratamiento con alta presión en almidón mostró una apariencia de gránulos parcialmente desintegrados, limitado hinchamiento, textura de gel más firme, y menor cantidad de amilosa liberada comparado con el tratamiento térmico del almidón (Stolt *et al.*, 2001; Blaszczyk *et al.*, 2005; Vittadini *et al.*, 2008; Buckow *et al.*, 2009; Vallons and Arendt 2010).

Ahmed *et al.* (2007) vieron que el grado de gelatinización del almidón de arroz alcanzado con 650 MPa durante 15 min, era casi equivalente al tratamiento térmico a 90°C durante 30 min, dando lugar a la gelatinización completa del almidón de arroz, mientras que la harina pura de arroz podría ser gelatinizada a 550 MPa.

Tan *et al.* (2009) realizó una serie de tratamientos en suspensiones de almidón de arroz con un 10% de materia seca para estudiar el efecto entre el tratamiento térmico y el combinado entre calor/presión, todos ellos durante 15 minutos, sobre la gelatinización y propiedades reológicas. El índice máximo de hinchamiento en el tratado térmicamente fue de 12 g de agua por gramo de materia seca, mientras que combinando una presión de 600MPa a 50°C obtuvo un índice de 7 g. Por otro lado, concluyó que para unos tratamientos de 0,1 MPA a 85°C, 500 MPa a 50°C y 600 MPa, durante 15 minutos, se produce la gelatinización completa del almidón de arroz (Figura 8).

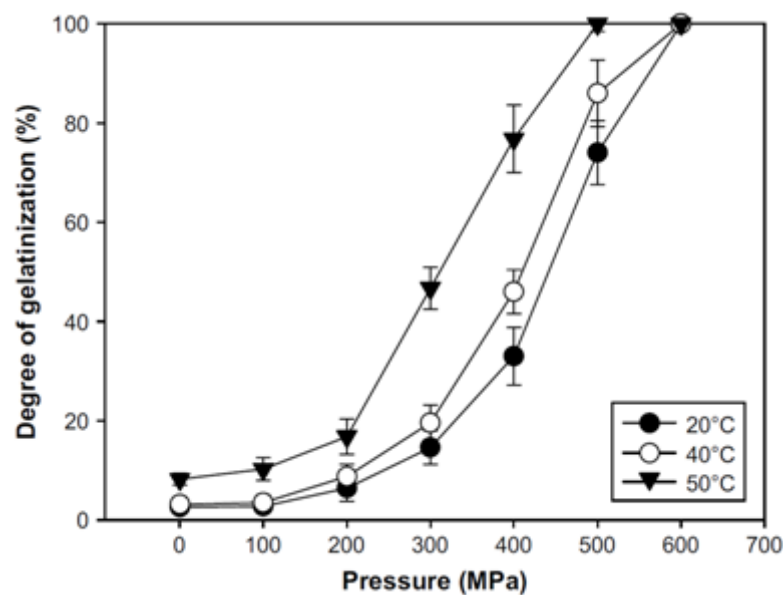


Figura 8. Grado de gelatinización en función de la presión y T^a del tratamiento aplicado durante 15 min. en una suspensión de almidón de arroz al 10% materia seca, medido mediante DSC (Tan, *et al.*, 2009).

Estudios de Li *et al.* (2011) observaron que el tratamiento de gránulos de almidón de arroz a una presión de 600 MPa durante 30 minutos provocó la pérdida completa de birrefringencia y su completa gelatinización. Además, el análisis del DSC (differential scanning calorimeter) mostró una disminución en la temperatura de gelatinización y entalpía de gelatinización con el aumento de los niveles de presión.

Ezaki y Hayashi (1992), observaron que los tratamientos de APH inducen modificaciones irreversibles en suspensiones de almidón de arroz tratadas a 500MPa a una temperatura de 45°C durante una hora.

El objetivo principal de estos trabajos de investigación en el de campo de las altas presiones, en este caso arroz, es el de sustituir los tratamientos térmicos tradicionales por la tecnología de APH para conseguir un arroz procesado en el que sus atributos de calidad se vean menos alterados que los obtenidos térmicamente.

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

2.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es analizar el efecto de la alta presión hidrostática (APH), sobre el grado de gelatinización y las características del gel formado tanto en el grano de arroz como en la harina de arroz de la variedad *Maratelli*.

Este conocimiento permite evaluar su potencialidad para ser empleado por ejemplo en platos “precocinados”.

Para la consecución de estos objetivos generales se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de cinco tratamientos de APH a distinta presión, tiempo y temperatura sobre el grado de gelatinización y propiedades amilográficas del **grano de arroz**.
- Evaluar el efecto de tres tratamientos de APH a distintas presiones sobre el grado de gelatinización y propiedades amilográficas de la **harina de arroz**.

2.2 PLAN DE TRABAJO

Para el logro de los objetivos establecidos anteriormente se han llevado a cabo una serie de actividades que se detallan a continuación.

2.2.1 Revisión bibliográfica

En primer lugar, es necesario realizar una búsqueda de la información que esté relacionada con la aplicación de la tecnología de las altas presiones, más concretamente en el arroz, con el fin de conocer las investigaciones que se han realizado hasta la fecha y así determinar los objetivos del trabajo.

2.2.2 Elección de los tratamientos a aplicar

Tras analizar los distintos tratamientos posibles con las variables de presión, tiempo y temperatura, se opta por la realización de seis tratamientos en el grano de arroz y tres en harina de arroz.

2.2.3 Parámetros a analizar

En el trabajo se analizan una serie de parámetros con los que se pretende evidenciar las diferencias entre unos tratamientos u otros. Los parámetros analizados se agrupan en:

- Caracterización del grano.
- Grado de gelatinización.
- Características amilográficas.

2.2.4 Puesta punto de los métodos de análisis

- Métodos para el descascarillado y pulido del grano.
- Métodos para la caracterización del grano crudo.
- Métodos para determinar el grado de gelatinización.
- Métodos para determinar las características amilográficas.

2.2.5 Diseño experimental

En el diseño experimental quedan reflejados los ensayos que se realizan tanto en el grano de arroz como en la harina, para la obtención de los resultados que se pretenden contrastar en el presente trabajo.

2.2.6 Análisis de los resultados

Es fundamental el análisis estadístico de los resultados obtenidos para poder determinar si existen o no diferencias significativas y obtener las conclusiones oportunas.

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

En este trabajo de investigación se ha seleccionado una única variedad de arroz (*Maratelli*) con la que se realizan los tratamientos, tanto en el grano como en harina de arroz (Tabla 3 y 4). En la Tabla 5 se indican los parámetros analizados.

Tabla 3. Tratamientos de APH en el grano de arroz.

Muestra	Presión (MPa)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
Control	-	-	-
A1	600	10	40
A2	600	20	20
A3	600	20	40
B1	700	10	20
B2	700	10	40
B3	700	20	20

Tabla 4. Tratamientos de APH en harina de arroz.

Muestra	Presión (MPa)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
Control	-	-	-
A	500	10	20
B	600	10	20
C	700	10	20

Tabla 5. Parámetros analizados en las distintas muestras tanto en grano como en harina de arroz.

Arroz en grano	Harina de arroz
<ul style="list-style-type: none"> • Absorción de agua • Grado de gelatinización (DSC) • Características amilográficas: <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura de gelatinización - Propiedades reológicas de masas 	<ul style="list-style-type: none"> • Grado de gelatinización (DSC) • Características amilográficas: <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura de gelatinización - Propiedades reológicas de masas

Cada uno de los tratamientos, así como cada parámetro será analizado por duplicado. En la Figura 8 se muestra esquemáticamente el diseño planteado.

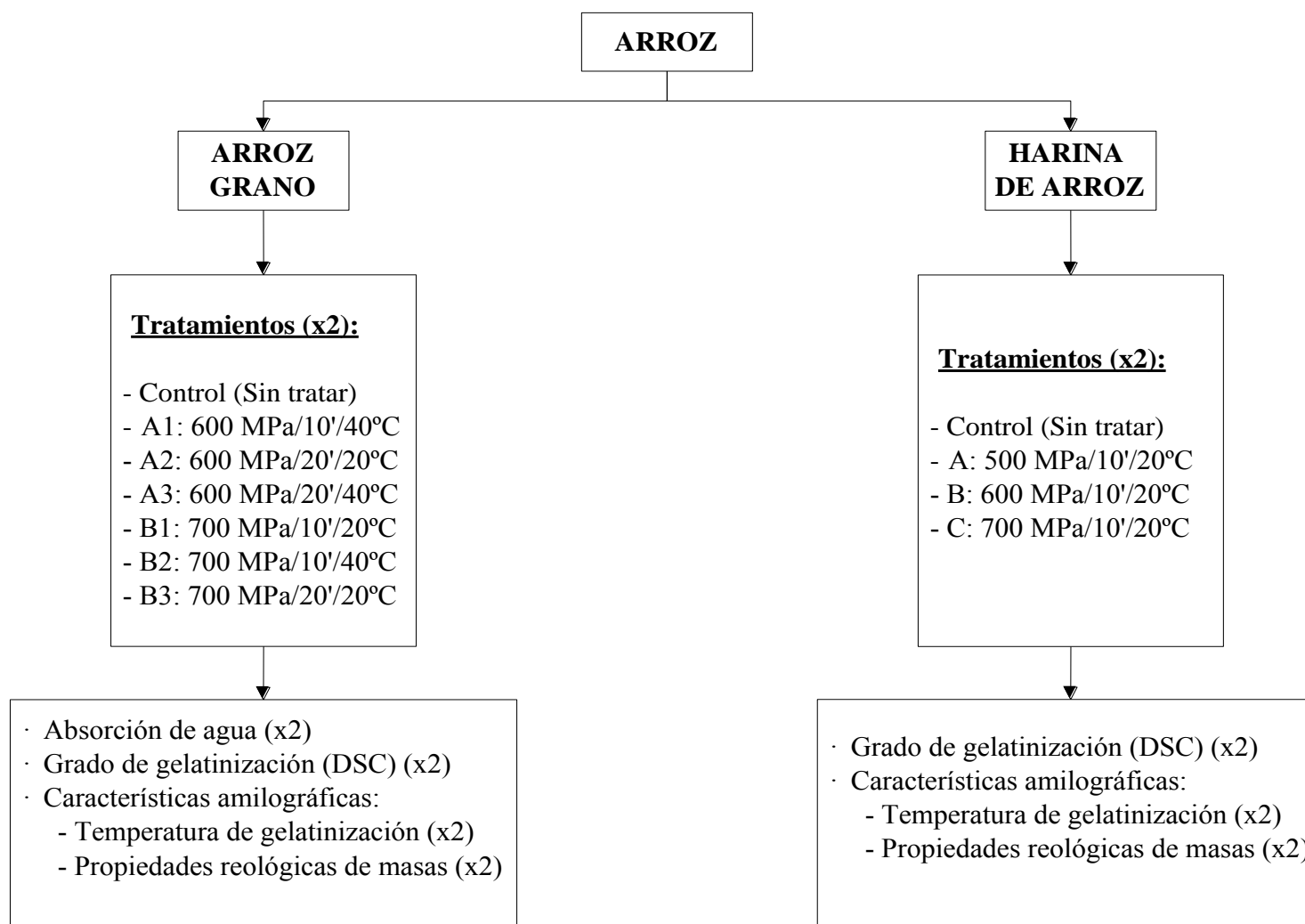


Figura 8. Esquema del diseño experimental

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIALES

4.1.1 Materia prima

Para la realización del presente trabajo se ha seleccionado un cultivar perteneciente a la variedad japónica de grano medio denominado *Maratelli*, cuyo cultivo se extiende por la ribera de Navarra. El arroz ha sido suministrado por la cooperativa San Esteban de Arguedas en forma de arroz cáscara, por lo que ha sido necesario un proceso de descascarillado y pulido en la planta piloto de la Universidad Pública de Navarra.

En la Tabla 6 se muestra los parámetros de la caracterización del grano crudo de este cultivar.

Tabla 6. Caracterización de la variedad *Maratelli* (Gazólaz, 2009).

Humedad (%)	Amilosa (%)	Proteínas (%)	Cenizas (%)
12,06	18,24	11,09	1,47

4.1.2 Otros materiales

Los materiales que han sido utilizados en el análisis de los parámetros estudiados son los siguientes:

- Báscula con una precisión de 0,001 g.
- Bolsas de vacío de PA/PE 20/70 (poliamida/polietileno).
- Termoselladora manual.
- Colador
- Micropipetas.
- Molinillo Moulinex.
- Tamiz de 200 μm .
- Desecador
- Material de vidrio de laboratorio (matraces, vasos de precipitados,...).

4.1.3 Equipos

Los equipos utilizados en el presente trabajo son los siguientes:

- Descascarillador Imcora, modelo Paz 1.
- Estufa J.P. Selecta de 250 W.
- Equipo de altas presiones marca Stansted Fluid Power, modelo FPG 5500 HL.
- Analizador de humedad GRAM, modelo ST H50
- Envasadora al vacío Sammic, modelo V-640 SGA
- Liofilizador Telstar Lyobeta 25, equipado con el software de control SCADA LyoSuite™ (Figura 9).
- DSC modelo DSC 2920, marca TA Instruments.
- Viscosímetro Haake RV1



Figura 9. Liofilizador Telstar Lyobeta 25.

Debido a la importancia del equipo de altas presiones (figura 10) utilizado en este trabajo se detallan a continuación sus características técnicas:

- Dimensiones de la cámara de presión: 65 mm x 220 mm (diámetro x profundidad), Capacidad de 730 cm³.
- Fluido de trabajo: agua / propilenglycol, 4/1.
- Máxima presión de trabajo de 900 MPa y rango de temperatura de 25°C a 90°C.
- Presurización mediante émbolo de presión (“Plunger Press”). La subida de presión se hace por fases (dos etapas de subida y una de tratamiento a la presión y tiempo establecidos). Tiempo de presurización: puede alcanzar hasta 800 MPa en 2 minutos (velocidad de subida ajustable)
- Sistemas de descompresión por fases (2 etapas) y automático (velocidad de bajada ajustable).
- Sistemas de control de presión: transductor de galga extensiométrica.
- Sistemas de control de temperatura: 1 termopar tipo “K” para el control interno del aparato y 2 termopares tipo “T” para control del producto.



Figura 10. Equipo de altas presiones Stansted Fluid Power, FPG 5500 HL.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Preparación de la materia prima

Debido a que el arroz ha sido suministrado con la cáscara, el primer paso antes de empezar con los tratamientos y análisis de las características del arroz es el proceso de descascarillado y pulido. Para ello, se utiliza un descascarillador, marca Imcora (Figura 11) en el que se ajusta primeramente la distancia de los rodillos a través de los cuales va a pasar el arroz. De este modo, se hace pasar el arroz en dos ocasiones vertiéndolo poco a poco para asegurar así que todos los granos se desprendan de su cáscara. Al terminar el proceso de descascarillado se efectúa el pulido de los granos con el mismo equipo. Una vez se ha ajustado el esmeril en la posición adecuada se introduce el arroz durante un minuto en la cámara de pulido. Pasado ese tiempo el arroz ya blanqueado se introduce en un tambor giratorio durante un minuto para desechar los granos que están rotos. Por último, se empaqueta el arroz en bolsas PA/PE 20/70 selladas a vacío y se introducen en la cámara frigorífica a 4 °C para su correcta conservación.

Para los ensayos realizados con harina es necesario moler el grano de arroz durante 2 minutos con un molinillo eléctrico y posteriormente pasar la harina por un tamiz de 200 µm, para que la muestra sea homogénea.



Figura 11. Descascarillador Imcora Paz 1.

4.2.2 Contenido de humedad

Para el cálculo del porcentaje de humedad se utiliza una estufa de infrarrojos con balanza incluida, donde la temperatura de secado es de 130 °C y se determina la humedad cuando el peso es constante en un intervalo de 10 segundos. Las muestras utilizadas son de 8 gramos. El porcentaje de humedad se calcula según la fórmula: (Peso perdido/peso inicial) x 100.

4.2.3 Tratamiento por APH

En primer lugar, tanto para el grano de arroz como para la harina, se prepara la muestra para el remojo introduciendo 60 gramos de arroz/harina con 300 ml de agua (proporción 1:5) en bolsas PA/PE 20/70 manteniéndola durante 45 minutos a una temperatura de 30°C. Este remojo facilita la posterior absorción de agua durante el tratamiento (Figura 12). Las bolsas se cierran con una termoselladora de manera que no quede ninguna burbuja de aire que impida la transmisión uniforme de la presión en el tratamiento. Tras el remojo se introduce la bolsa en la cámara de presión del equipo y dependiendo del tratamiento se seleccionan los valores de los parámetros presión, tiempo y temperatura a aplicar.



Figura 12. Bolsa termosellada con 300ml de agua y 60g de arroz preparada para el remojo.

Los tratamientos de APH en **grano de arroz** son:

- A1: 600 MPa durante 10 minutos a 40 °C de temperatura.
- A2: 600 MPa durante 20 minutos a 20 °C de temperatura.
- A3: 600 MPa durante 20 minutos a 40 °C de temperatura.
- B1: 700 MPa durante 10 minutos a 20 °C de temperatura.
- B2: 700 MPa durante 10 minutos a 40 °C de temperatura.
- B3: 700 MPa durante 20 minutos a 20 °C de temperatura.

Los tratamientos de APH en **harina de arroz** son:

- A: 500 MPa durante 10 minutos a 20 °C de temperatura.
- B: 600 MPa durante 10 minutos a 20 °C de temperatura.
- C: 700 MPa durante 10 minutos a 20 °C de temperatura.

Las condiciones de presurización fueron las siguientes: la presión establecida para cada tratamiento se alcanza en tres rampas de ascenso con una velocidad de 600 MPa/min, estableciendo unos intervalos de presiones equivalentes desde el inicio hasta la presión final a conseguir. Una vez transcurrido el tiempo de tratamiento tiene lugar la descompresión a una velocidad de 3000 MPa/min.

En la figura 13 se representa el esquema del proceso de presurización en el que se observan los parámetros con los que se ha configurado el tratamiento.

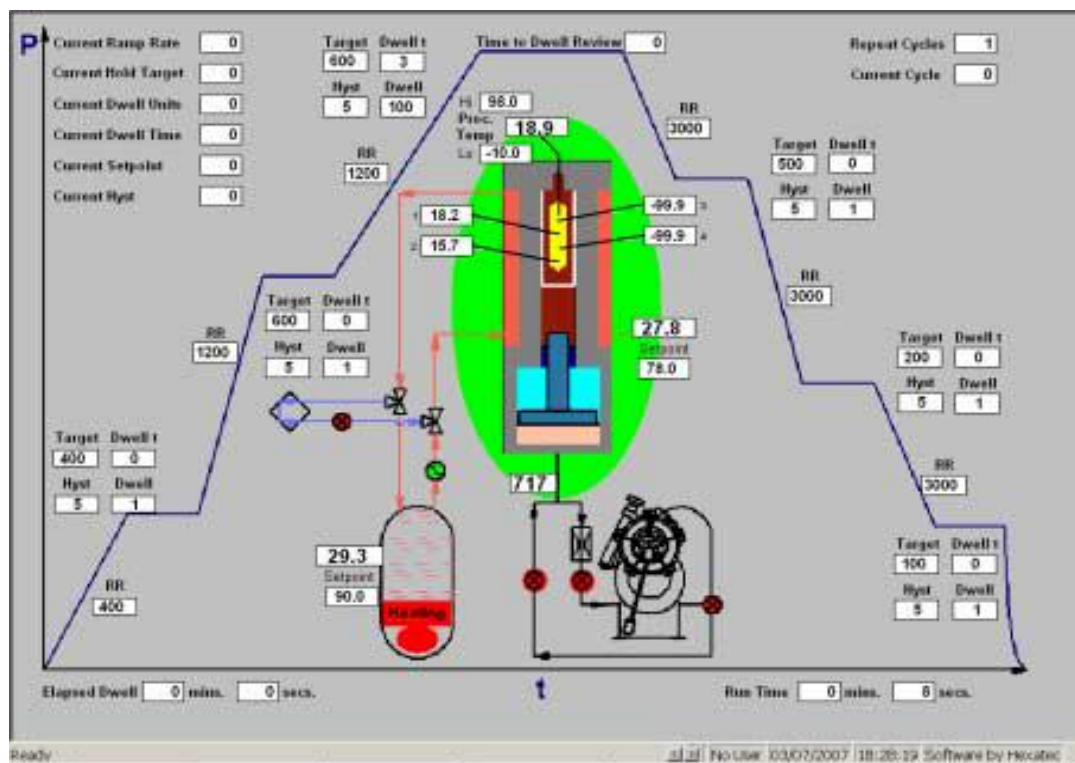


Figura 13. Detalle pantalla de control del tratamiento.

4.2.4 Liofilizado de las muestras

Antes de proceder a la determinación del grado de gelatinización y de las propiedades reológicas de masas, la muestra control y las tratadas por altas presiones se deben liofilizar. Para ello, se introducen en un liofilizador Lyobeta 25. Este proceso se divide en las siguientes fases:

- 1- Fase de congelación: Duración 3h. / Temperatura -45°C.
- 2- Fase de vacío: 0.250mbar.
- 3- Sublimación o desecación primaria: Duración 8h / temperatura 0°C / 0,250 mbar.
- 4- Desecación secundaria: Duración 4 h / temperatura 10°C /0,250 mbar.
- 5- Aireación de la cámara. Duración 20 min / temperatura 10°C / 980,6 mbar.

Una vez liofilizadas las muestras se muelen durante 2 minutos con la ayuda de un molinillo eléctrico y se pasa la harina resultante por un tamiz de 200 µm.

Las muestras desecadas y molidas se envasan a vacío y se almacenan en un desecador hasta que sean requeridas.

4.2.5 Absorción de agua

Para calcular el agua que ha sido absorbida por el grano de arroz tras el proceso de remojado y presurizado, se pesa inicialmente la muestra, que es de 60 g, y se vuelve a pesar una vez realizado el tratamiento de alta presión, para cada uno de los tratamientos. Así pues, la absorción aparente de agua se halla mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción aparente de agua} = \frac{\text{Peso arroz tratado}}{\text{Peso arroz crudo}}$$

4.2.6 Grado de gelatinización por DSC (Calorimetría Diferencial de Barrido)

El grado de gelatinización se determina mediante DSC siguiendo la metodología propuesta por Jaisut (2008). Los análisis térmicos se realizaron con el equipo 2920 DSC V2.6A_TA Instruments. Las muestras a analizar se liofilizan y se muelen posteriormente. La harina obtenida se solubiliza en agua desionizada (1:4, w/w) y se mantiene la suspensión a temperatura ambiente durante 18 a 20 horas. Se toman 2 mg de la muestra preacondicionada y se introduce en una cápsula de aluminio sellada. Se utiliza agua en la cápsula de referencia. Las condiciones del análisis son: calentamiento desde 25 hasta 90 °C, con un ratio de ascenso de temperatura de 5 °C/min. Se realizan dos repeticiones de cada muestra y se toma la media de la energía de gelatinización. En el Anexo 3 se puede ver el termograma de una de las muestras.

El grado de gelatinización se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\text{Grado de gelatinización (\%)} = (1 - (\Delta H_t / \Delta H_c)) \times 100$$

Donde ΔH_t y ΔH_c , son las entalpías de la muestra tratada y la muestra control respectivamente.

Para cada endoterma obtenida en el DSC se ha determinado también la temperatura de gelatinización y así poder compararla con la obtenida mediante el viscosímetro.

4.2.7 Características amilográficas

Para determinar las propiedades amilográficas del arroz se utiliza un viscosímetro Haake RV1 (figura14). Se sigue el método AACC61-02 (1999) con modificaciones. Para ello se utilizan 6,75 gramos de harina de arroz y 56,25 ml de agua destilada.

La harina y el agua destilada se mezclan a 160 rpm, mientras se calienta de 50 a 95°C durante 20 minutos con una rampa de ascenso de temperatura de 2,25 °C/min. Después se mantuvo a 95°C durante 400 segundos y posteriormente se produce el enfriamiento a una velocidad de 3 °C/min durante 15 minutos. Por último se mantiene a una temperatura de 50 °C durante 400 segundos.



Figura 14. Viscosímetro Haake RV1

El uso del amilograma es un análisis estándar para evaluar las características de almidones y harinas en suspensión con agua mediante un viscosímetro (Mariotti N., 2008). Las propiedades amilográficas que se miden son: temperatura de gelatinización, viscosidad máxima, viscosidad mínima, viscosidad final, Breakdown, Setback from peak, Setback from trough tal como se indica en la figura 15.

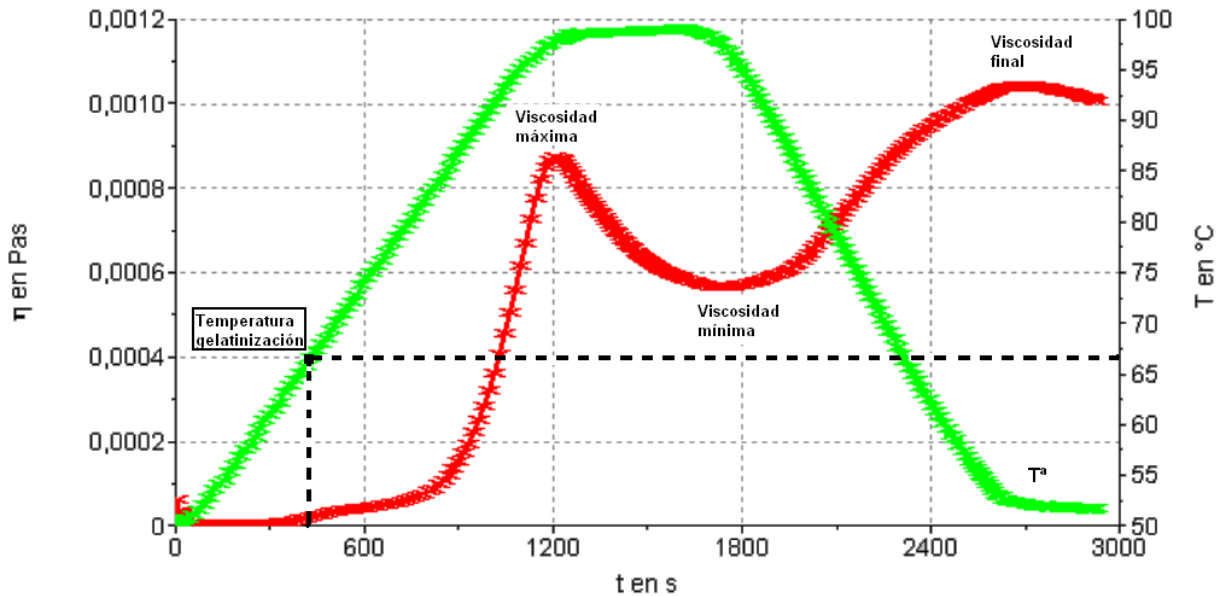


Figura 15. Gráfico del amilograma que superpone la curva de viscosidad con la de temperatura.

Donde:

- T° de Gelatinización: Es la temperatura a la cual empieza a aumentar la viscosidad y designa cambios en el gránulo de almidón. El cálculo de este dato se hizo determinando un “Límite superior máximo” para los valores de viscosidad de los primeros 500 segundos del ensayo. Este valor del límite superior se estableció como parámetro para determinar una variación suficientemente amplia en la viscosidad para de esta manera eliminar posibles errores causados por las fluctuaciones de registro del propio equipo. Hallando el primer valor de viscosidad por encima límite máximo superior de los valores de viscosidad se considera que la viscosidad de la muestra ha empezado a cambiar. La temperatura en ese punto es la temperatura de gelatinización.
- La viscosidad máxima es la máxima viscosidad alcanzada durante el ensayo.
- La viscosidad mínima es la viscosidad más baja después de la viscosidad máxima.
- La viscosidad final es la viscosidad lograda al final de la prueba.
- El índice Breakdown ó Estabilidad es la diferencia entre “viscosidad máxima” y “viscosidad mínima”. El parámetro Breakdown está relacionado con la estabilidad de almidón al calor y al esfuerzo cortante.

- Setback from peak es la diferencia entre “viscosidad final” y “viscosidad máxima”. Es un índice de retrogradación del almidón.
- El índice Setback from trough es la diferencia entre “viscosidad final” y la “viscosidad mínima”. Es un índice de retrogradación del almidón por enfriamiento e indica que a menores valores hay una menor retrogradación.

4.2.8 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se evalúan mediante medidas de tendencia central y dispersión, así como con análisis de varianza de un factor (ANOVA), que consiste en una comparación de medias para establecer diferencias entre tratamientos para cada parámetro analizado, utilizando un nivel de significación $P \leq 0,05$. Para ello se utilizó el paquete estadístico del programa Microsoft Excel 2007.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 GRANO DE ARROZ

5.1.1 Absorción de agua

Al aplicar un tratamiento de presión y/o térmico al almidón del arroz en exceso de agua, se produce una absorción de agua por parte de los gránulos a través de las regiones amorfas de una manera reversible, y la cantidad de agua embebida aumenta con la temperatura hasta alcanzar la temperatura crítica (temperatura de gelatinización) en la que el almidón se hincha de forma irreversible con la pérdida de orden cristalino. Esta hinchazón irreversible viene acompañada de una importante absorción de agua que provoca la expansión del gránulo y la lixiviación de la amilosa en la solución (Pomeranz, 1990). Según Vainnionpaa *et al.* (1993), la reactividad del agua se incrementa durante la presurización. De este modo, se espera que la presión aumente el proceso de difusión del agua al interior de los gránulos de almidón.

A continuación, en la Figura 16 se muestra la absorción de agua por parte del grano de arroz tras la aplicación de los diferentes tratamientos de presión y temperatura.

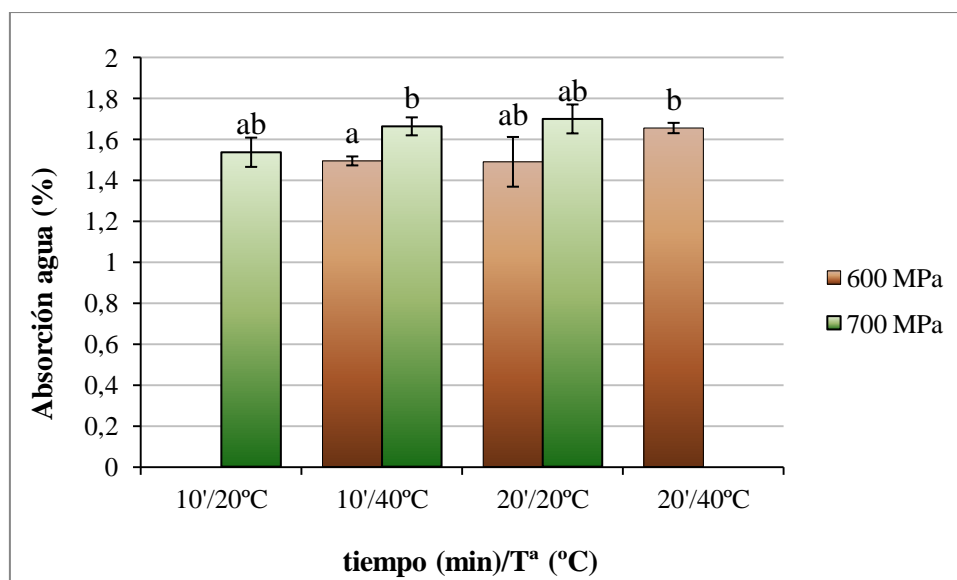


Figura 16. Efecto del tratamiento de alta presión conjugado con distintos tiempos y temperaturas sobre la absorción de agua del grano de arroz. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Los valores medios de absorción de agua de los tratamientos oscilan entre 1,5 y 1,7. Comparando estos valores con los obtenidos en trabajos anteriores para esta misma variedad y en los que tras la presión y la cocción se conseguían valores entre 2,5 y 3 (Pérez, 2012; Irurzun, 2013), se observa que la gelatinización del arroz no es completa en modo alguno.

Al comparar los valores obtenidos de cada una de las muestras procesadas, se observa la diferencia significativa que existe entre los tratamientos de 600 y 700 MPa, aplicados a un mismo tiempo y temperatura de 10 minutos y 40°C. Este resultado corrobora los estudios indicados anteriormente, los cuales afirman que el aumento de la absorción de agua por parte del grano, está directamente relacionado con el aumento de la presión aplicada.

No obstante, hay que tener en cuenta que esta misma afirmación no se ve cumplida en los tratamientos de 20 minutos a 20 °C, que parece ser debido a la alta desviación de los valores obtenidos en el proceso a 600 MPa.

En cuanto al tiempo de procesado, existen diferencias significativas entre el tratamiento de 600 MPa/40°C durante 10 y 20 minutos, lo que hace indicar que el aumento de tiempo de tratamiento produce un incremento en la absorción de agua. Esta relación tiempo/absorción de agua también fue estudiada por Huang *et al.* (2009), y, al igual que en este trabajo se demuestra que para distintos tratamientos combinados de presión y temperatura se produce un aumento exponencial de la absorción de agua conforme aumenta el tiempo, hasta llegar a los 40 minutos de tratamiento, donde la absorción se hace constante. Sin embargo, este hecho no se cumple en el tratamiento de 700 MPa a temperatura de 20°C.

El hecho de mejorar la absorción de agua por parte del grano acelera la cocción final y la obtención de un arroz de textura más blanda, lo que puede interesar a determinados sectores de población, como son la tercera edad y los niños pequeños (Muthukumarappan *et al.*, 1992).

5.1.2 Grado de gelatinización (DSC)

La gelatinización es el término usado para describir eventos moleculares asociados con el calentamiento de almidón en agua, el cual cambia de una forma semi-cristalina (la cual no es digerible), a una forma eventualmente amorfa (digerible) (Tester y Debon, 2000).

Las técnicas calorimétricas se han utilizado para entender la estructura y las transiciones de fase en el almidón tanto puro como en sistemas alimenticios. Gracias a la calorimetría diferencial de barrido (DSC) es posible evaluar las propiedades térmicas del almidón. Las medidas de DSC proporcionan información respecto a las temperaturas de transición y entalpía, con la cual se obtiene el grado de gelatinización.

La presencia en el gránulo de almidón de las regiones molecularmente ordenadas, su carácter metaestable (de no equilibrio) y sus interacciones con los constituyentes alimenticios pueden comprobarse por DSC a través de cambios en el flujo de calor durante el calentamiento de una muestra en un rango de temperatura (Biliaderis, 1992).

El grado de gelatinización del almidón depende de la presión del tratamiento, la temperatura, y la duración del mismo, de manera que diferentes combinaciones de estos factores podría dar lugar al mismo grado de gelatinización (Li *et al.*, 2011).

En la Figura 17 se muestra el grado de gelatinización (GG) de las muestras de arroz sometidas a cada uno de los tratamientos combinados de presión y temperatura.

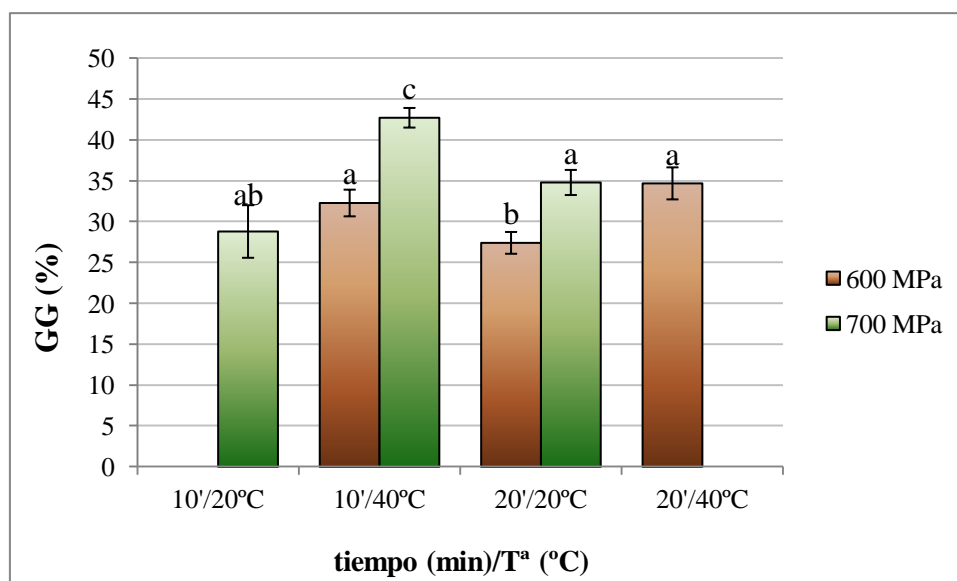


Figura 17. Efecto del tratamiento de alta presión conjugado con distintos tiempos y temperaturas sobre el grado de gelatinización del grano de arroz. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

5.1.2.1 Efecto de la presión sobre el grado de gelatinización.

Tras haber realizado un análisis de la varianza para comprobar si el nivel de presión aplicado influye en el grado de gelatinización conseguido, se puede determinar que existen diferencias significativas.

Estas diferencias se pueden observar en los tratamientos de 10 min/40°C y 20 min/20°C aplicados a distintas presiones, donde el grado de gelatinización del tratamiento de mayor presión (700 MPa) es claramente superior alcanzando un valor de 42,74% respecto al 32,3% obtenido con el de menor presión (600 MPa). Estos resultados son los esperados y están relacionados con otros estudios como los realizados por Yamakura *et al.* (2005), donde mostraron que los tratamientos realizados de altas presiones alcanzaban un mayor grado de gelatinización que los no procesados, debido a la alta inclusión de agua al interior de los granos de arroz a los que se les ha aplicado la presión.

En otro estudio, Liu *et al.* (2009) explica el fundamento de esta relación entre presión y grado de gelatinización, en donde el tratamiento de presurización produce la destrucción de la estructura granular del almidón seguida de la hidratación de la fase amorfa, dando como resultado la disminución de la entalpía de gelatinización. Aunque la entalpía de gelatinización corresponde a la cristalinidad global de la amilopectina, se considera que

la pérdida del orden de la doble hélice es responsable de la transición de la entalpía en los termogramas obtenidos por DSC (Altay & Gunasekaran, 2006).

5.1.2.2 Efecto de la temperatura y tiempo sobre el grado de gelatinización.

Atendiendo a las diferencias producidas en el grado de gelatinización en función de la temperatura del tratamiento, se observa que también existen diferencias significativas en los tratamientos de 600 MPa/20 min y 700 MPa/10 min para las temperaturas de 20 y 40°C. Esta diferencia indica que a mayor temperatura, mayor será el grado de gelatinización obtenido en el tratamiento, lo cual coincide con el trabajo realizado por Huang *et al.* (2009) para el grano de arroz, donde obtiene esa misma conclusión.

Por el contrario, no sucede lo mismo con el tiempo de tratamiento, ya que no existen diferencias significativas entre los mismos tratamientos de presión y T^a (600 MPa/40°C y 700 MPa/20°C) a diferentes tiempos de 10 y 20 minutos de procesado.

Finalmente, se observa que se obtiene prácticamente el mismo grado de gelatinización cuando se aplican tratamientos de la misma duración pero con combinación de presiones/temperaturas distintas. Parece ser que el efecto de aumentar la presión de tratamiento se compensa con el del aumento de temperatura para un mismo tiempo de aplicación. Este hecho se constata al comparar el tratamiento de 700 MPa/20 min/ 20°C con el de 600 MPa/20 min/40°C.

5.1.3 Temperatura de gelatinización (Amilograma)

La temperatura de gelatinización es la temperatura crítica a la cual los gránulos de almidón pierden irreversiblemente su birrefringencia y estructura cristalina ordenada durante el calentamiento o tratamiento a altas presiones.

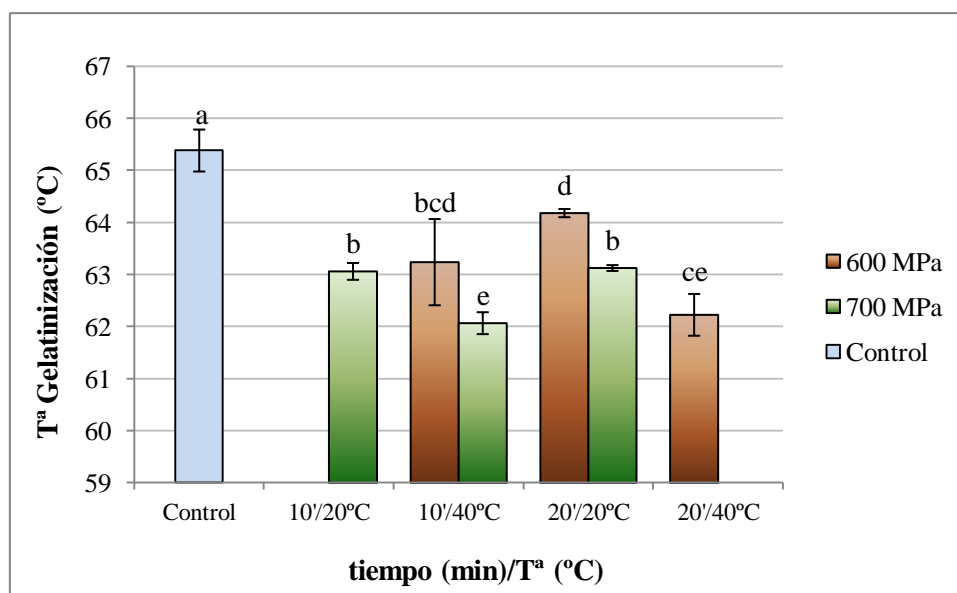


Figura 18. Efecto del tratamiento de alta presión conjugado con distintos tiempos y temperaturas sobre la temperatura de gelatinización del grano de arroz y su control. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Como se puede observar en la figura 18, después de haber realizado un análisis de la varianza para comprobar si el nivel de presión aplicado influye en la temperatura de gelatinización conseguida, se puede determinar que existen diferencias significativas entre la muestra Control (sin tratar) y el resto de muestras tratadas bajo condiciones de presión y temperatura, (10min/20°C-10min/40°C-20min/20°C-20min/40°C), acentuándose esta diferencia entre el Control, con una temperatura de gelatinización de 65,39°C y la muestra sometida al tratamiento más severo (10min/40°C/700MPa), con una temperatura de gelatinización de 62,23°C.

También podemos observar como existen diferencias significativas entre la temperatura de gelatinización conseguida con mismos tratamientos de tiempo y temperatura pero distinta presión.

Estas diferencias se pueden observar en los tratamientos de 10 min/40°C y 20 min/20°C, en donde la temperatura de gelatinización del tratamiento de mayor presión (700 MPa) es claramente inferior alcanzando un valor de 62,23°C respecto al 64,18°C obtenido a 600 MPa. Estos resultados son los esperados y están relacionados con otros estudios como los realizados por Blaszczak *et al.*(2005), donde afirma que la disminución de la temperatura de gelatinización conforme aumenta la presión ha sido atribuida a algún tipo de alteración en la estructura cristalina del grano.

También podemos observar diferencias significativas en la temperatura de gelatinización de muestras sometidas a tratamientos de igual presión y tiempo con distintas temperaturas durante el proceso.

Pasando de valores de 64,18°C (600MPa/20min/20°C) a 62,23°C (600MPa/20min/40°C) y 63,06°C (700MPa/10min/20°C) a 62,07 (700MPa/10min/40°C).

Observamos claramente como la acción de la temperatura influye en la temperatura de gelatinización. Al aumentar la temperatura del tratamiento disminuye la temperatura de gelatinización de la muestra.

Así como la temperatura del proceso influye en la temperatura de gelatinización de la muestra para unas mismas condiciones de presión y tiempo, observamos que no hay diferencias significativas en la temperatura de gelatinización para muestras sometidas a tratamientos de misma presión y temperatura variando el tiempo del proceso.

5.1.3.1 Comparación de la Temperatura de gelatinización del grano de arroz según la metodología aplicada.

Tabla 7. Temperatura de gelatinización según el método aplicado. Análisis de la varianza (media \pm SD).

Muestra	T ^a de gelatinización		p-valor
	Viscosímetro	DSC	
Control	65,39 \pm 0,40 ^a	62,98 \pm 0,02 ^b	0,0137
600 MPa/10'/40°C	63,24 \pm 0,83 ^a	59,26 \pm 0,33 ^b	0,0001
600 MPa/20'/20°C	64,18 \pm 0,08 ^a	59,89 \pm 0,25 ^b	1,2 x 10 ⁻⁷
600 MPa/20'/40°C	62,23 \pm 0,40 ^a	59,52 \pm 0,31 ^b	0,0001
700 MPa/10'/20°C	63,06 \pm 0,16 ^a	60,06 \pm 0,22 ^b	1,01 x 10 ⁻⁶
700 MPa/10'/40°C	62,07 \pm 0,21 ^a	59,58 \pm 0,16 ^b	2,06 x 10 ⁻⁶
700 MPa/20'/20°C	63,13 \pm 0,06 ^a	59,91 \pm 0,03 ^b	9,3 x 10 ⁻¹¹

Letras diferentes en una misma fila indican que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los métodos empleados.

Como podemos observar en la tabla 7, los valores obtenidos de temperatura de gelatinización, de la serie de muestras sometidas a tratamientos de presión, por el método AACCC61-02 y por el método DSC, son significativamente distintos en todos los casos.

Estos resultados corroboran los estudios realizados por Bao (2008), en los que afirma, que los valores de temperatura de gelatinización obtenidos por el método AACCC61-02 son siempre más altos que los obtenidos por DSC, ya que los primeros están sobrestimados.

5.1.4 Propiedades reológicas de la masa

5.1.4.1 Índice Breakdown

El índice Breakdown está relacionado con la estabilidad de almidón al calor y al esfuerzo cortante. Los valores obtenidos de las pruebas amilográficas se han representado en el siguiente gráfico.

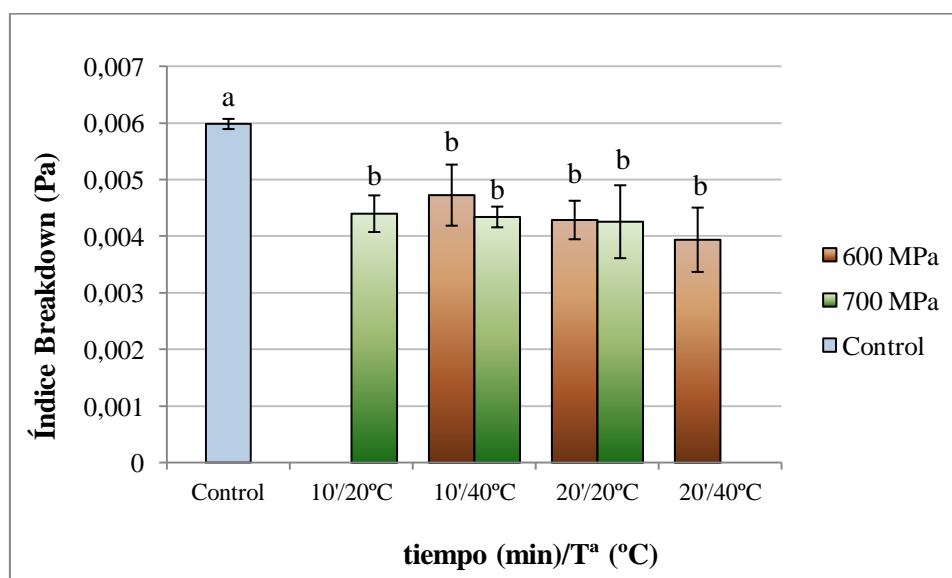


Figura 19. Efecto del tratamiento de alta presión conjugado con distintos tiempos y temperaturas sobre el Índice Breakdown del grano de arroz y su control. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Como podemos observar en el gráfico representado en la figura 19, existen diferencias significativas entre el índice breakdown del Control y el índice breakdown de las muestras sometidas a tratamientos de presión y temperatura, pero no existen diferencias entre los índices breakdown de las distintas muestras tratadas entre sí.

Las muestras sometidas a tratamientos de presión son más estables al tener el índice más bajo.

Este parámetro es un índice que da idea de la fragilidad de los gránulos de almidón durante el calentamiento y frente a determinadas fuerzas de corte. Los gránulos muy frágiles producen un pico de viscosidad seguido por una caída bien definida de esta, ya que se destruyen fácilmente con la pérdida de viscosidad. En este sentido, un valor elevado del índice Breakdown indica menor estabilidad frente a las fuerzas de corte durante el periodo de calentamiento (Lawal Os; Adebowake KO,2005).

5.1.4.2 Setback from peak

El término de asentamiento (Setback) está relacionado con la tendencia de los elementos presentes en la pasta caliente a asociarse o retrogradar cuando la temperatura de la pasta disminuye. Es un índice que permite estimar el grado de retrogradación que ha sufrido la suspensión de almidón. Así, a mayor valor de este índice mayor tendencia del almidón a retrogradar. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, la cual está relacionada con el contenido de amilosa, la longitud de esta molécula y el estado de dispersión de las cadenas lineales (Bou Rached L; Viscarrondo C; Ricon AM; Padilla F, 2006). Por lo tanto a mayor contenido de amilosa mayor posibilidad de retrogradar. El asentamiento indica una mayor estabilidad a los procesos de enfriamiento y sugieren una estabilidad de sus pastas a los esfuerzos mecánicos tal como indican Matos y Pérez(1996).

El Setback from peak (viscosidad final - viscosidad máxima) es un índice de retrogradación del almidón. Cuanto mayor sea este índice, mayor será la tendencia a la retrogradación y menos estable será el almidón a procesos de enfriamiento.

Esto se debe tener en cuenta cuando se piense incorporar este tipo de almidón en un producto que necesite enfriamiento durante su preparación.

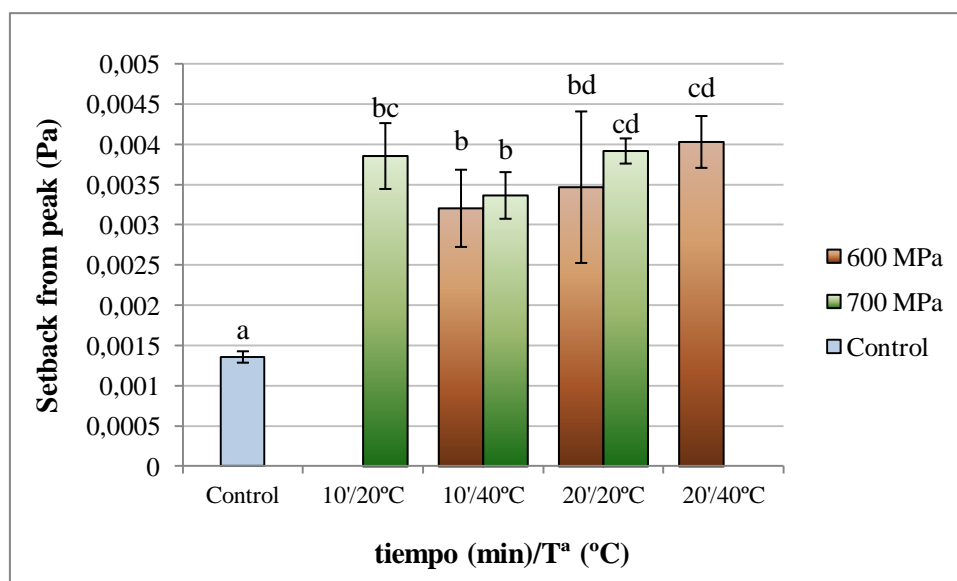


Figura 20. Efecto del tratamiento de alta presión conjugado con distintos tiempos y temperaturas sobre el Setback from peak del grano de arroz y su control. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

En la figura 20 se observa la representación de los valores de Setback from peak para las diferentes combinaciones de presión, temperatura y tiempo de tratamiento.

Tras haber realizado un análisis de la varianza para comprobar si el nivel de presión aplicado influye en el índice Setback from peak conseguido, se puede determinar que existen diferencias significativas.

Se observa que el tratamiento de presión tanto a 600MPa como a 700MPa aumenta la retrogradación del almidón durante el enfriamiento del mismo al existir diferencias significativas entre los valores de las muestras tratadas con altas presiones y el control.

En el gráfico queda reflejado que conforme el tratamiento al que está sometido la muestra es más severo en cuanto a presión, temperatura y duración, el índice Setback from peak aumenta, aunque no existen diferencias significativas entre diferentes presiones con temperaturas y duración de tratamientos iguales.

5.1.4.3 Setback from trough

El índice Setback from trough (viscosidad final - viscosidad máxima) es un índice de retrogradación del almidón e indica que a menores valores hay una menor retrogradación.

El incremento gradual de la viscosidad durante el periodo de enfriamiento se debe al restablecimiento de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de amilosa y amilopectina, dando lugar a la consistencia de tipo gel, por la pérdida de calor en el

sistema y al proceso de retrogradación que se genera. Este incremento de la viscosidad indica la tendencia de varios constituyentes presentes en la pasta caliente (gránulos hinchados, fragmentos de gránulos hinchados, moléculas de almidón coloidal y dispersas) para asociarse o retrogradar mientras la temperatura de la pasta disminuye.

Los almidones con baja sinéresis, es decir, que expulsan poco agua durante la reorganización de las moléculas de almidón como consecuencia de la refrigeración (Betancur-Ancona, et al., 2001), pueden ser utilizados en productos como rellenos de pasteles, alimentos infantiles y sopas.

Los almidones que presentan una baja estabilidad a la refrigeración o congelación pueden ser utilizados en alimentos que requieren ser almacenados en refrigeración y necesitan cierta exudación de humedad para proporcionar una apariencia fresca, como los flanes o salsas.

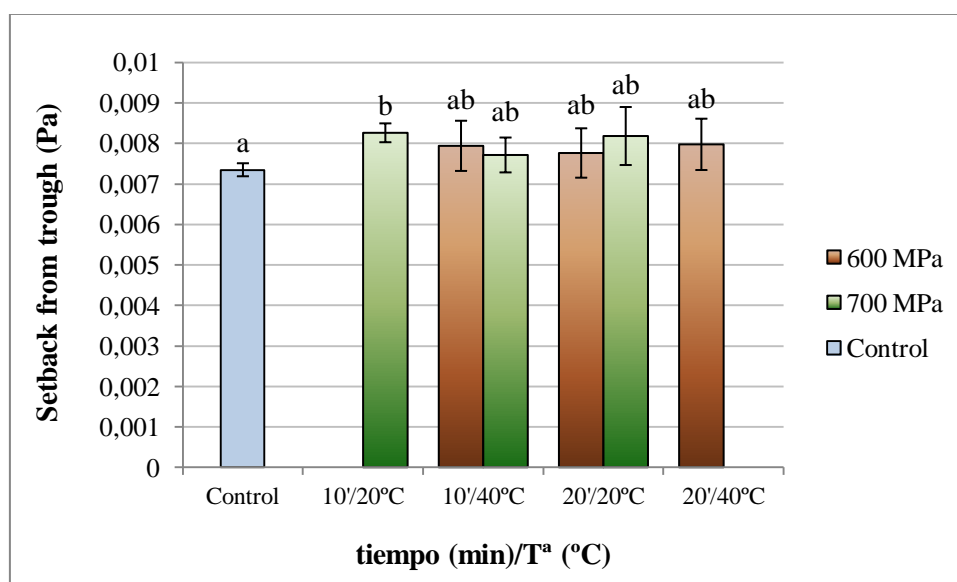


Figura 21. Efecto del tratamiento de alta presión conjugado con distintos tiempos y temperaturas sobre el Setback from trough del grano de arroz y su control. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

En la figura 21 se observa la representación de los valores de Setback from trough para las diferentes combinaciones de presión, temperatura y tiempo de tratamiento.

Después de realizar el análisis de varianza, podemos afirmar que no existen diferencias significativas entre el valor del índice Setback from trough de la muestra Control y el valor del índice de las demás muestras tratadas, excepto con la muestra sometida a 700Mpa/10min/20°C que el valor del índice es ligeramente superior.

5.2 HARINA DE ARROZ

5.2.1 Grado de gelatinización (DSC)

En la Figura 22 se muestra el grado de gelatinización (GG) de cada uno de los tratamientos para un mismo tiempo y T^a de tratamiento, variando el nivel de presión.

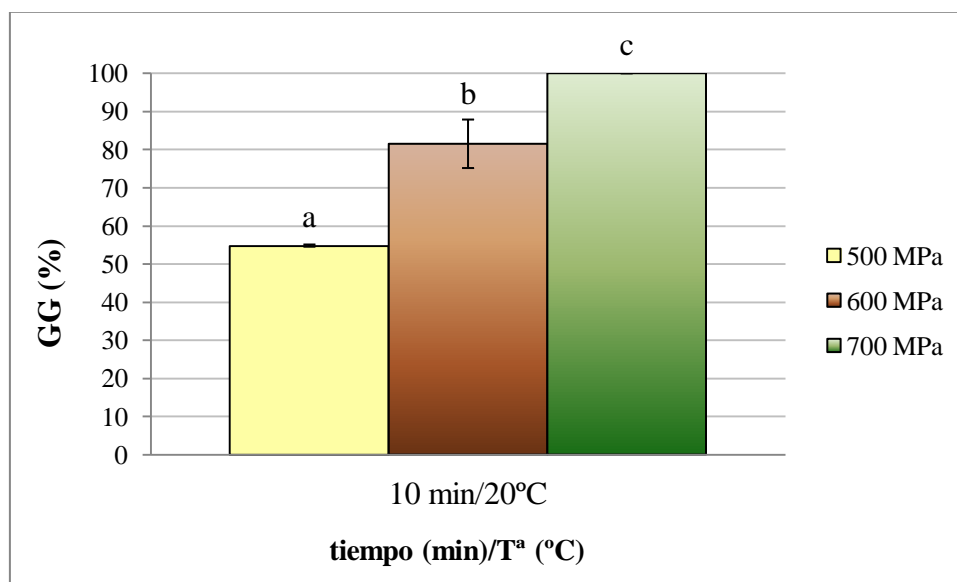


Figura 22. Efecto del tratamiento de alta presión conjugado con distintos tiempos y temperaturas sobre el grado de gelatinización de la harina de arroz. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Estudios anteriores, como los de Bauer *et al.* (2005) y Buckow *et al.* (2007), en suspensiones de almidón, demostraron que la gelatinización de almidones comenzó a 300 MPa y se completó por encima de 500 MPa.

Al igual que en el grano, para la harina de arroz también hay estudios (Ahmed *et al.* (2007) que muestran que el grado de gelatinización aumenta al elevar los niveles de presión del tratamiento. En dicho estudio, se observó que una suspensión de harina de arroz sometida a 650 MPa durante 15 minutos no mostró ningún pico en el termograma del DSC, por lo tanto no hay valor de la entalpía, de modo que se ha producido el 100% de la gelatinización.

El gráfico muestra que en el presente trabajo el grado de gelatinización también aumenta conforme lo hace la presión, ya que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Se observa que para una presión de 700 MPa se alcanza el 100% de la gelatinización del almidón en la harina, duplicando el valor del tratado a 500 MPa.

5.2.2 Temperatura de gelatinización (Amilograma)

La temperatura de gelatinización es la temperatura crítica a la cual los gránulos de almidón pierden irreversiblemente su birrefringencia y estructura cristalina ordenada durante el calentamiento o tratamiento a altas presiones.

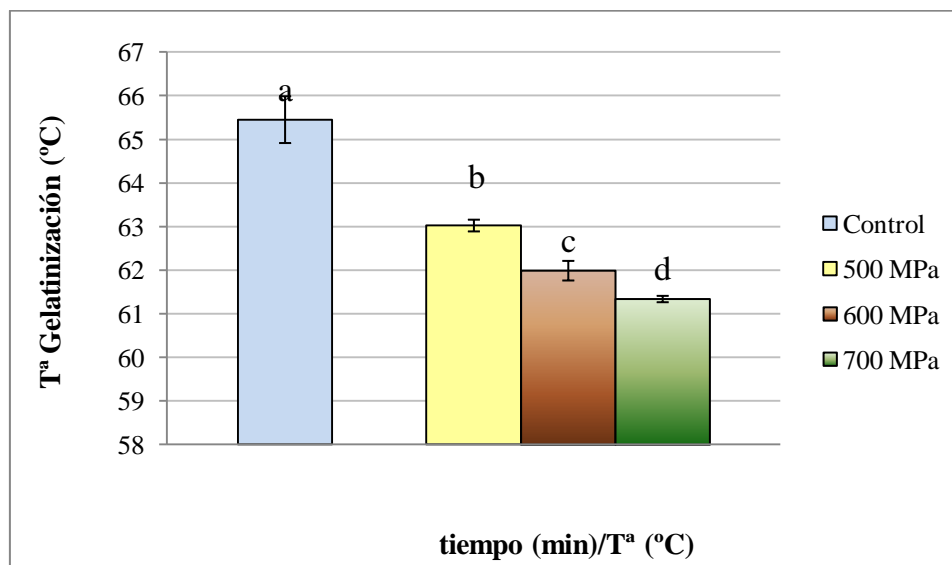


Figura 23. Efecto del tratamiento de alta presión conjugado con distintos tiempos y temperaturas sobre la temperatura de gelatinización de la harina de arroz y su control. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Como se puede observar en la figura 23, después de haber realizado un análisis de la varianza para comprobar si el nivel de presión aplicado influye en la temperatura de gelatinización conseguida, se puede determinar que existen diferencias significativas entre la muestra Control (sin tratar) y el resto de muestras tratadas bajo condiciones de presión (500MPa-600MPa-700MPa).

Queda reflejado como a medida que aumenta la presión disminuye la temperatura de gelatinización, pasando de 63,025°C a 500MPa a 61,34°C a 700MPa.

A continuación se muestran los resultados de temperatura y grado de gelatinización para el único tratamiento comparable entre grano y harina, el de 700MPa/10min/20°C.

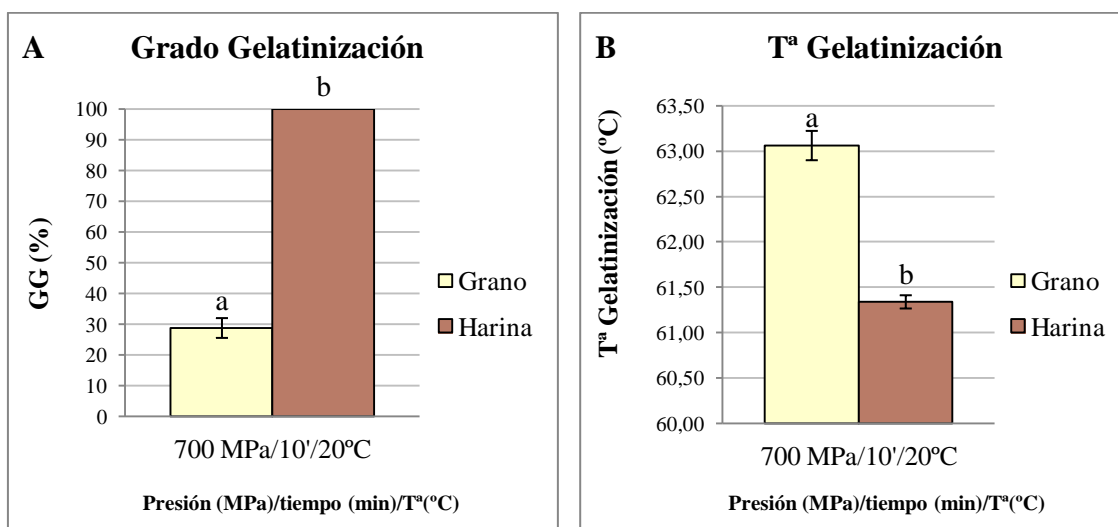


Figura 24. Diferencia del grado de gelatinización (A) y de la Tª de gelatinización (B) entre el grano y la harina de arroz para un mismo tratamiento de 700 MPa/10 min/20°C. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el grano y la harina.

Como se puede observar en la figura 24, existe diferencia significativa en la obtención del grado de gelatinización de una muestra de harina y otra de grano de arroz sometidas al mismo tratamiento.

El grado de gelatinización de la muestra de harina es claramente superior, alcanzando un valor de 100% respecto al 27,4% obtenido en la muestra de grano de arroz.

En el caso de la temperatura de gelatinización la diferencia entre las dos muestras también es significativa, pero sucede lo contrario, la temperatura de gelatinización de la muestra de arroz grano (63,06°C) es superior con respecto a la muestra de harina (61,34°C).

Los resultados de Huang *et al.* (2009) con grano entero y de Tan *et al.* (2009) con suspensiones de almidón de arroz mostraron que las condiciones necesarias para la gelatinización de los granos enteros son más severas que las de las suspensiones de almidón.

5.2.3 Propiedades reológicas de la masa

5.2.3.1 Índice Breakdown

El índice Breakdown está relacionado con la estabilidad de almidón al calor y al esfuerzo cortante. Los valores obtenidos de las pruebas amilográficas se han representado en el siguiente gráfico.

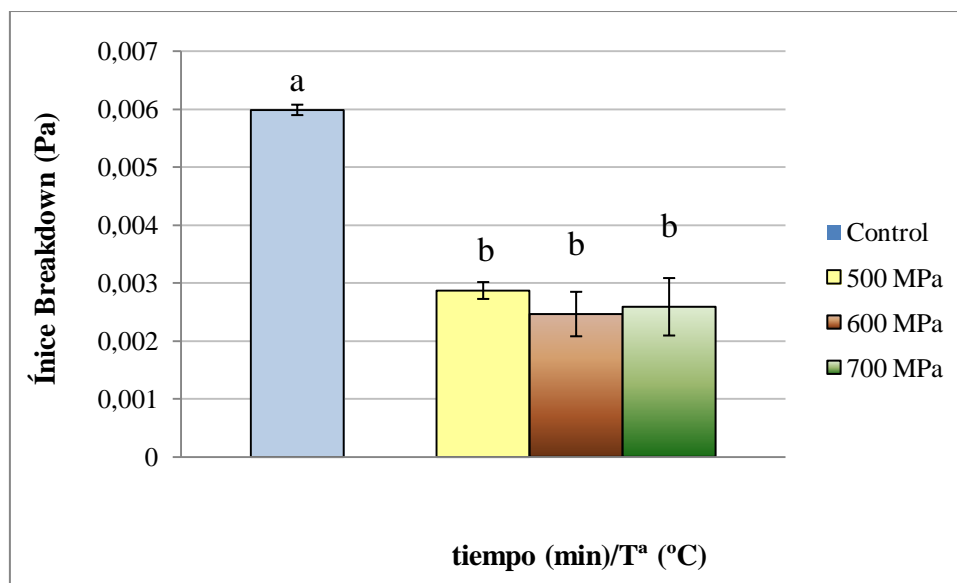


Figura 25. Efecto del tratamiento de alta presión sobre el Índice Breakdown de la harina de arroz y su control. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Como podemos observar en la figura 25, existen diferencias significativas entre el índice breakdown del Control y el índice Breakdown de las muestras sometidas a tratamientos a distintas presiones. Pasando de 0,006 en la muestra control a 0,0028 en la muestra sometida a 500MPa, evidenciando que las muestras sometidas a tratamientos de presión son más estables al tener el índice más bajo.

El gráfico nos refleja que el aumento de presión no influye significativamente en el índice Breakdown de las muestras de harina analizadas entre sí.

5.2.3.2 Setback from peak

El Setback from peak (viscosidad final - viscosidad máxima) es un índice de retrogradación del almidón. Cuanto mayor sea este índice, mayor será la tendencia a la retrogradación y menos estable será el almidón a procesos de enfriamiento.

Los valores obtenidos de las pruebas amilográficas se han representado en el siguiente gráfico.

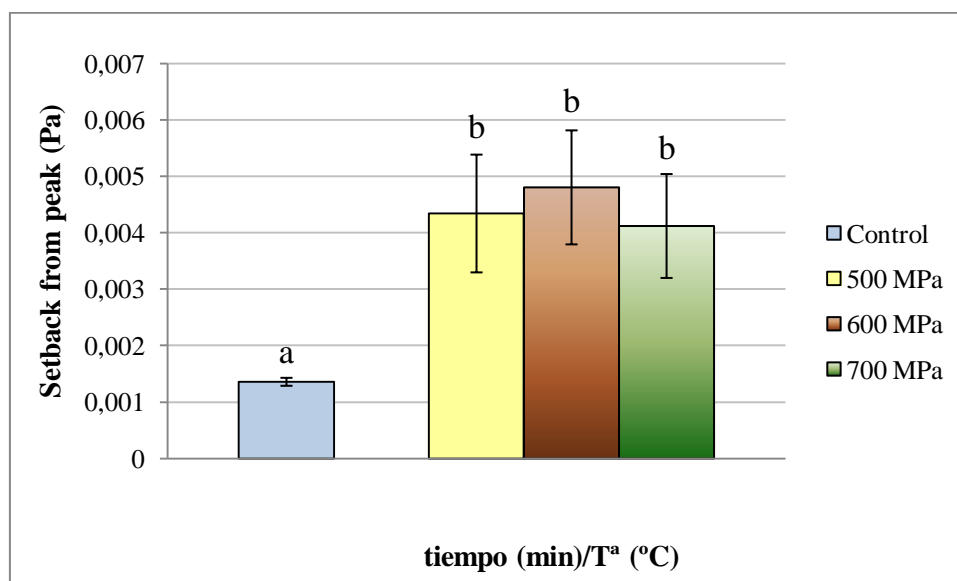


Figura 26. Efecto del tratamiento de alta presión sobre el Setback from peak de la harina de arroz y su control. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Tras haber realizado un análisis de la varianza para comprobar si el nivel de presión aplicado influye en el índice Setback from peak conseguido, se puede determinar que existen diferencias significativas.

Se observa que el tratamiento de presión tanto a 500MPa, 600MPa como a 700MPa aumenta la retrogradación del almidón durante el enfriamiento del mismo al existir diferencias significativas entre los valores de las muestras tratadas con altas presiones y el control.

5.2.3.3 Setback from trough

El índice Setback from trough (viscosidad final - viscosidad máxima) es un índice de retrogradación del almidón e indica que a menores valores hay una menor retrogradación.

Los valores obtenidos de las pruebas amilográficas se han representado en el siguiente gráfico.

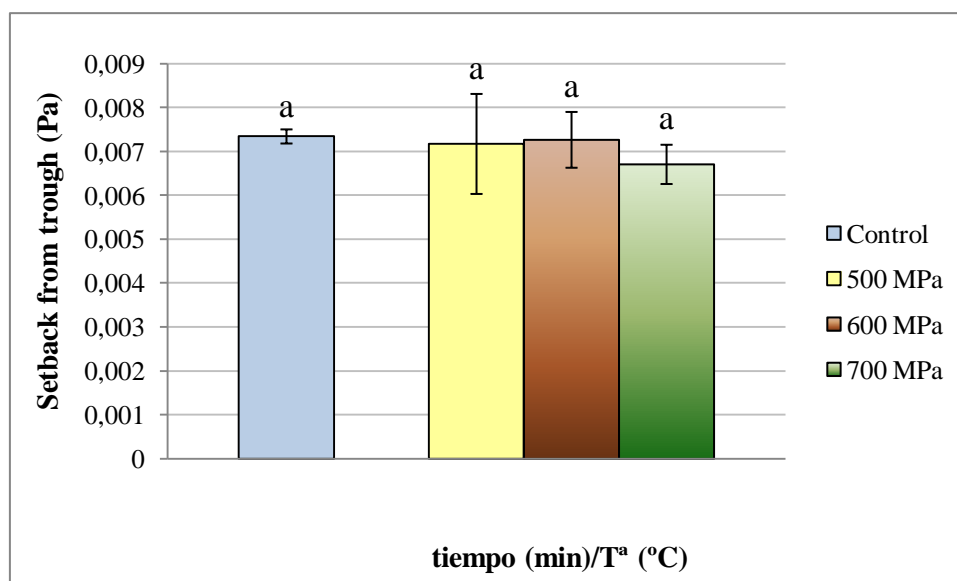


Figura 27. Efecto del tratamiento de alta presión sobre el Setback from trough de la harina de arroz y su control. Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Después de realizar el análisis de varianza, podemos afirmar que no existen diferencias significativas entre el valor del índice Setback from trough de la muestra Control y el valor del índice de las demás muestras tratadas.

El gráfico nos refleja que el aumento de presión no influye significativamente en el índice Setback from trough de las muestras de harina tratadas con presión entre sí.

5.3 CORRELACIONES ENTRE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS

Tabla 8. Matriz de correlaciones de los distintos parámetros analizados en el grano de arroz.

	T ^a Gelatinización	Grado Gelatinización	Índice Breakdown	Setback from peak	Setback from trough	Absorción de agua
T ^a Gelatinización	1					
Grado Gelatinización	-0,820	1				
Breakdown	0,341	-0,145	1			
Setback from peak	-0,235	-0,124	-0,761	1		
Setback from trough	0,033	-0,360	-0,014	0,659	1	
Absorción de agua	-0,696	0,735	-0,591	0,527	0,127	1

En la tabla 8 se indica el grado de correlación existente entre cada uno de los parámetros analizados en el presente trabajo para las muestras de grano de arroz.

En primer lugar se observa que hay una relación inversa entre la temperatura y el grado de gelatinización, con un valor de $-0,82$, indicando que cuanto mayor sea el grado de gelatinización de una muestra, menor será la temperatura a la que gelatiniza.

Por otro lado, observamos como los parámetros de absorción de agua y grado de gelatinización están directamente relacionados, con un valor de $0,735$, lo cual era de esperar, ya que, cuanto más gelatinizada esté la muestra mayor cantidad de agua habrá absorbido y menor será la temperatura a la que gelatiniza, como se muestra en la tabla con un valor de $-0,696$.

También observamos la relación inversa que existe entre los índices setback from peak, setback from trough y la absorción de agua, con el índice breakdown, siendo $-0,761$, $-0,014$ y $-0,591$ respectivamente, indicando que con el aumento de cada uno de los parámetros disminuye el índice breakdown, consiguiendo muestras de mayor estabilidad.

6. CONCLUSIONES

6.1 Efecto de altas presiones sobre el grano de arroz

Tras evaluar los parámetros analizados se concluye, que el efecto combinado de presión, tiempo y temperatura influye significativamente sobre el grado de gelatinización, temperatura de gelatinización, absorción de agua y las propiedades reológicas de la masa.

Se consigue una absorción de agua entre 1,49 y 1,69, un grado de gelatinización entre un 27,42% y un 42,74 % con niveles de presión entre 600 y 700 MPa, tiempos de 10 y 20 minutos y temperaturas de 20 y 40°C aumentando de menor a mayor conforme lo hace la intensidad del tratamiento.

La temperatura de gelatinización disminuye conforme lo hace la intensidad del tratamiento, pasando de 64,18°C para un tratamiento de 600MPa/20min/20°C a 62,07°C para un tratamiento de 700MPa/10min/40°C.

En cuanto a las propiedades reológicas de la masa, se observa que el índice breakdown se ve reducido con los tratamientos, lo que significa que las muestras tratadas son más resistentes al tratamiento térmico, a los esfuerzos mecánicos y a la retrogradación que el control.

Para todos ellos, la presión y la temperatura son los factores más influyentes, mientras que el tiempo de tratamiento no es tan significativo.

6.2 Efecto de altas presiones sobre la harina de arroz

Al igual que en el caso del grano de arroz, el grado de gelatinización aumenta conforme lo hace la presión, siendo de 54,79% a 500MPa, de 81,48% a 600MPa y llegando a la gelatinización completa de la muestra con una presión de 700MPa manteniendo la temperatura de 20°C y el tiempo de 10 minutos constantes en todos los tratamientos.

La relación entre la presión del tratamiento y la temperatura de gelatinización es inversa, ya que al aumentar la presión disminuye la temperatura de gelatinización.

Se observó que el índice breakdown, que nos hace referencia a la estabilidad, es menor en las muestras tratadas con presión que el del control, lo que demuestra que las muestras tratadas con altas presiones presentan una mayor estabilidad a la cocción.

El índice setback from peak es mayor en las muestras tratadas con presión que en las muestras sin tratar, lo que nos determina que las muestras tratadas tienen mayor tendencia a la retrogradación y su almidón es menos estable a procesos de enfriamiento.

7. BIBLIOGRAFÍA

AACC (1999). Determination of the pasting properties of rice with the Rapid Visco Analyser. American Association for Clinical Chemistry. Referencia 61-02.

Ahmed, J., Ramaswamy, H. S., Ayad, A., Alli, I., Alvarez, P., (2007). Effect of high-pressure treatment on rheological, thermal and structural changes in Basmati rice flour slurry. *Journal of Cereal Science*, 46, 148 – 156.

Altay, F., & Gunasekaran, S. (2006). Influence of drying temperature, water content, and heating rate on gelatinization of corn starches. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54 (12), 4235-4245.

Bao, J. (2008). Accurate measurement of pasting temperature by Rapid Visco Analyser: a case study using rice flour. *Rice Science*, 15(1): 69-72

Barbosa, G. V., Bermudez, D., (2010). An update on high hydrostatic pressure, from the laboratory to industrial applications. *Food Eng Rev*. Published online: 12 December 2010.

Barbosa-Cánovas, G. V., Pothakamury, U. R., palou, E., Swanson, B. G. (1998). Procesado de alimentos con alta presión. En: *Conservación no térmica de alimentos*, pp. 9-48.

Bauer, B. A., & Knorr, D. (2005). The impact of pressure, temperature and treatment time on starches: pressure-induced starch gelatinization as pressure time temperature indicator for high hydrostatic pressure processing. *Journal of Food Engineering*, 68, 329-334.

Biliaderis, C. G. (1992). Structures and phase transitions of starch in food systems. *Food technology*. P. 98-109.

Blaszczak, W., Valverde, S., & Fornal, J. (2005). Effect of high pressure on the structure of potato starch. *Carbohydrate Polymers*, 59, 377–383

Boluda-Aguilar, M., Taboada-Rodríguez, A., López-Gómez, A., Marín-Iniesta, F., Barbosa-Cánovas, G. V., (2013). Quick cooking rice by high hydrostatic pressure processing. *LWT - Food Science and Technology*, 51, 196 – 204.

Buckow, R., Jankowiak, L., Knorr, D., & Versteeg, C. (2009). Pressure–temperature phase diagrams of maize starches with different amylose contents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 11510–11516.

Clark, J. P. (2006). High pressure processing research continues. *Food Technology*. 60(2), 63

Cuevas-Pérez, F.E., Guimaraes E.P., Berrío L.E., González D. I. (1992). Genetic base of irrigated rice in Latin America and the Caribbean, 1971 to 1989. *Crop Sci* 32: 1054-1059.

Evans, G., Cox, D.N. (2006) Australian consumers' antecedents of attitudes towards foods produced by novel technologies. *British Food Journal*, 108(11): 916-930.

Farr, D. (1990). High pressure technology in the food industry. *Trends Food Sci Technol* 1:14-6.

Ezaki, S., Hayashi, R. (1992). High pressure effects on starch: structural changes and retrogradation. *High Pressure and Biotechnology*. Vol 224, pp 163-165.

Gazólaz Sanz, M., (2009). Caracterización de diferentes cultivares de arroz respecto a sus atributos de calidad. Memoria de investigación presentada para optar a la superación de la prueba de suficiencia investigadora en el programa de doctorado. Universidad Pública de Navarra.

Ge, S., Sang, T., Lu, B., Hong D. (1999). Phylogeny of rice genomes with emphasis on origins of allotetraploid species. *Proceedings of the National Academy of Science*. 96: 14400-14405.

Gowda, M., Venu. R.C., Roopalakshmi. K., Sreerekha. M.V., Kulkarni. R.S. (2003). Advances in rice breeding, genetics and genomics. *Molecular Breeding*. 11: 337-352.

Hargrove, T.R., Coffman W.R., Cabanilla V.L. (1980). Ancestry of improved cultivars of Asian rice *Oryza sativa*. *Crop Sci* 20: 721-727.

Hoover, D. G., Metrick, C., Papineau, A. M., Farkas, D. F. and Knorr, D. (1989). Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms. *Food Technology*. March, p. 99-107.

Huang, S. L., Jao, C. L., Hsu, K. C., (2009). Effects of Hydrostatic Pressure/Heat Combinations on Water Uptake and Gelatinization Characteristics of Japonica Rice Grains: A Kinetic Study. *Journal of Food Science*, 74, 442 – 448.

Hyun-Seok Kim, Byung-Yong Kim & Moo-Yeol Baik (2011). Application of Ultra High Pressure (UHP) in Starch Chemistry. Department of Food Science and Biotechnology , Andong National University , Andong ,Korea

Irurzun, M. (2013). Efecto de la aplicación de altas presiones hidrostáticas sobre las características de cocción del arroz. Trabajo fin de Máster. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Pública de Navarra.

Katayama, T. (1997). Relationships between chromosome numbers and genomic constitutions in genus *Oryza*. In: T. Matsuo, Y. Futsuhara, F. Kikuchi, and H. Yamaguchi eds. *Science of the rice plant*. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokyo.

Kato, T., Katayama, E., Matsubara, S., Omi, Y., Matsuda, T. (2000). Release of allergenic proteins from rice grains induced by high Hydrostatic pressure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 3124-3126.

Katopo, H., Song, Y., and Jane, J. L. (2002). Effect and mechanism of ultrahigh Hydrostatic pressure on the structure and properties of starches. *Carbohydrate Polymers*. 47: 233-244.

Knorr, D., Ade-Omowaye, B.I.O., Heinz, V. (2002) Nutritional improvement of plant foods by non-thermal processing. *Proceedings of the Nutrition Society*, 61: 311-318.

Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O., Schoessler, K., (2011). Emerging technologies in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2, 203 – 35.

Li, W., Bai, Y., Mousaa, S., Zhang, Q., Shen, Q., (2011). [Effect of High Hydrostatic Pressure on Physicochemical and Structural Properties of Rice Starch](#). *Food and Bioprocess Technology*. Published online: 01 March 2011.

Liu, H. S., Yu, L., Dean, K., Simon, G., Petinakis, E., & Chen, L. (2009). Starch gelatinization under pressure studied by high pressure DSC. *Carbohydrate polymers*, 75, 395-400.

Lu, J.J. y Chang, T.T. (1980). Rice in its temporal and spatial perspective. En B.S. Luh, ed. *Rice: production and utilization*. Westport, CT, EE.UU., AVI Publishing Company, Inc., 1-74

Marco A., William A., Uira C. (2006). Origen, evolución y diversidad del arroz. *Agronomía tropical*. 56: 151-170.

Muthukumarappan, K., Jindal, V. K., Gunasekaran, S., (1992). Volumetric changes in rice kernels during desorption and adsorption. *Transactions of the Asae*, 35, 1, 235 – 241.

Pei-Ling, L., Xiao-Song, H., Qun, S., (2010). Effect of high hydrostatic pressure on starches: A review. *Starch Stärke*, 62, 615 – 628.

Penna, A.L.B., Gurram, S., Barbosa-Cánovas, G.V. (2007) High hydrostatic pressure

processing on microstructure of probiotic low-fat yogurt. *Food Research International*, 40 (4): 510-519.

Pérez Urtasun, B. (2012). Efecto del tratamiento de altas presiones sobre la calidad de cocción del arroz (*Oryza Sativa* L., cultivar Maratelli). Trabajo fin de carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Pública de Navarra.

Pinheiro, B. S. (1998). *Morfologia e crescimento da planta de arroz*. Goiânia.

Pothakamury, U. R., Barbosa-Canovas, G., Swanson, B. G. (1995). The pressure builds for better food processing. *Chem. Eng. Progress*. March. 45-53.

Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Balasubramaniam, V. M., Niranjan, K., and Knorr, D. (2007). Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 47: 69-112.

Rubens, P., Snauwaert, J., Heremans, K., & Stute, R. (1999). In situ observation of pressure-induced gelation of starches studied with FTIR in the diamond anvil cell. *Carbohydrate polymers*, 39, 231-235.

San Martín-González, M.F., Rodríguez, J.J., Gurram, S., Clark, S., Swanson, B.G., Barbosa-Cánovas, G.V. (2007) Yield, composition and rheological characteristics of cheddar cheese made with high pressure processed milk. *LWT – Food Science and Technology*, 40(4): 697-705.

Stolt, M., Oinonen, S. and Autio, K. (2001). Effect of high pressure on the physical properties of barley starch, *Innovative Food Science Emerging Technology*, 1, 167–175.

Tan, F., Dai, W. and Hsu, K. (2009). Changes in gelatinization and rheological characteristics of japonica rice starch induced by pressure/heat combinations. *Journal of Cereal Science*, 49, 285-289.

Tester, R. F., Debon, S. J. (2000). Annealing of starch: a review. *International journal of biological macromolecules*. Vol. 27, p. 1-12.

Tester, R. F., Karkalas, J., and Qi, X. (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*. 39: 151–165.

Vainnionpaa, J., Forsell, P., & Virtanen, T. (1993). High-pressure gelatinization of barley starch at low moisture levels and elevated temperatura. *Starch-Stärke*, 45(1), 19-24.

Vallons, K. J. R., & Arendt, E. K. (2010). Understanding high pressure-induced changes in wheat flour–water suspensions using starch–gluten mixtures as model systems. *Food Research International*, 43, 893–901.

Vittadini, E., Carini, E., Chiavaro, E., Rovere, P., & Barbanti, D. (2008). High pressure-induced tapioca starch gels: physico-chemical characterization and stability. *European Food Research and Technology*, 226, 889–896

Yamakura, M., Haraguchi, K., Okadome, H., Suzuki, K., Tran, U. T., Horigane, A., Yoshida, M., Homma, S., Sasagawa, A., Yamazaki, A., Ohtsubo, K., (2005). Effects of soaking and high-pressure treatment on the qualities of cooked rice. *The Japanese Society of Applied Glycoscience* 52, 85-93.

8. ANEXOS

ANEXO 1: VALORES DE LA ABSORCIÓN DE AGUA PARA CADA TRATAMIENTO APLICADO

Tabla A.1 Absorción de agua

TRATAMIENTO	Absorción de agua
600MPa/10'/40°C	1,49 ± 0,02
600MPa/20'/20°C	1,49 ± 0,12
600MPa/20'/40°C	1,66 ± 0,03
700MPa/10'/20°C	1,54 ± 0,07
700MPa/10'/40°C	1,66 ± 0,04
700MPa/20'/20°C	1,70 ± 0,07

ANEXO 2: VALORES DE GRADO DE GELATINIZACIÓN Y TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS OBTENIDOS POR DSC

Tabla A.2.1 Grano de arroz. Grado de gelatinización y temperatura de gelatinización

TRATAMIENTO	Entalpía de gelatinización (J/g)	Grado Gelatinización (%)	T ^a gelatinización (°C)
Control	8,79 ± 0,15	—	62,98 ± 0,02
600MPa/10'/40°C	5,95 ± 0,14	32,31 ± 1,63	59,26 ± 0,33
600MPa/20'/20°C	6,38 ± 0,12	27,43 ± 1,33	59,89 ± 0,25
600MPa/20'/40°C	5,74 ± 0,17	34,71 ± 1,96	59,52 ± 0,31
700MPa/10'/20°C	5,96 ± 0,56	32,13 ± 6,39	60,06 ± 0,22
700MPa/10'/40°C	5,03 ± 0,11	42,74 ± 1,20	59,58 ± 0,16
700MPa/20'/20°C	5,73 ± 0,14	34,82 ± 1,54	59,91 ± 0,03

Tabla A.2.2 Harina de arroz. Grado de gelatinización y temperatura de gelatinización

TRATAMIENTO	Entalpía de gelatinización (J/g)	Grado Gelatinización (%)	T ^a gelatinización (°C)
Control	7,29 ± 0,06	—	62,88 ± 0,26
500MPa/10'/20°C	3,17 ± 0,12	54,79 ± 0,28	60,98 ± 0,13
600MPa/10'/20°C	1,35 ± 0,46	81,48 ± 6,35	63,38 ± 1,7
700MPa/10'/20°C		100 ± 0	

ANEXO 3: VALORES DE TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN Y PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA MASA OBTENIDOS POR EL METODO AACCC61-02(1999) MODIFICADO

Tabla A.3.1 Grano de arroz.

TRATAMIENTO	T ^a Gelatinizacion (°C)	Viscosidad máxima Pa	Viscosidad mínima Pa	Viscosidad Final Pa	Breakdown	Setback from peak	Setback from trough
Control	65,38 ± 0,40	0,0147 ± 0,0005	0,0087 ± 0,0004	0,0160 ± 0,0006	0,0060 ± 0,0001	0,0014 ± 0,0001	0,0073 ± 0,0002
600MPa/10'/40°C	63,24 ± 0,82	0,0145 ± 0,0003	0,0097 ± 0,0003	0,0177 ± 0,0005	0,0047 ± 0,0005	0,0032 ± 0,0005	0,0079 ± 0,0006
600MPa/20'/20°C	64,18 ± 0,07	0,0123 ± 0,0003	0,0080 ± 0,0003	0,0158 ± 0,0008	0,0043 ± 0,0003	0,0035 ± 0,0009	0,0078 ± 0,0006
600MPa/20'/40°C	62,22 ± 0,40	0,0140 ± 0,0010	0,0100 ± 0,0006	0,0180 ± 0,0008	0,0039 ± 0,0006	0,0040 ± 0,0003	0,0080 ± 0,0006
700MPa/10'/20°C	63,06 ± 0,16	0,0137 ± 0,0014	0,0093 ± 0,0010	0,0176 ± 0,0010	0,0044 ± 0,0003	0,0039 ± 0,0004	0,0083 ± 0,0002
700MPa/10'/40°C	62,06 ± 0,21	0,0144 ± 0,0003	0,0101 ± 0,0004	0,0178 ± 0,0006	0,0043 ± 0,0002	0,0034 ± 0,0003	0,0077 ± 0,0004
700MPa/20'/20°C	63,12 ± 0,05	0,0135 ± 0,0010	0,0092 ± 0,0005	0,0174 ± 0,0011	0,0043 ± 0,0006	0,0039 ± 0,0002	0,0082 ± 0,0007

Tabla A.3.2 Harina de arroz

TRATAMIENTO	T ^a Gelatinizacion (°C)	Viscosidad máxima Pa	Viscosidad mínima Pa	Viscosidad Final Pa	Breakdown	Setback from peak	Setback from trough
Control	65,45 ± 0,53	0,0147 ± 0,0005	0,0087 ± 0,0004	0,0160 ± 0,0006	0,0060 ± 0,0001	0,0014 ± 0,0001	0,0073 ± 0,0002
500MPa/10'/20°C	63,02 ± 0,13	0,0098 ± 0,0013	0,0069 ± 0,0012	0,0507 ± 0,0738	0,0029 ± 0,0001	0,0043 ± 0,0010	0,0072 ± 0,0011
600MPa/10'/20°C	61,99 ± 0,22	0,0100 ± 0,0008	0,0075 ± 0,0012	0,0148 ± 0,0018	0,0025 ± 0,0004	0,0048 ± 0,0010	0,0073 ± 0,0006
700MPa/10'/20°C	61,34 ± 0,07	0,0085 ± 0,0005	0,0059 ± 0,0004	0,0126 ± 0,0008	0,0026 ± 0,0005	0,0041 ± 0,0009	0,0067 ± 0,0004

ANEXO 4: ANÁLISIS ANOVA

Tabla A.4.1 Valores de absorción de agua entre los diferentes tratamiento aplicados

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,9507E-05	1	1,9507E-05	0,00255932	0,96425053	18,5128205
Dentro de los grupos	0,01524385	2	0,00762192			
Total	0,01526335	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,02586736	1	0,02586736	46,3342124	0,02090785	18,5128205
Dentro de los grupos	0,00111656	2	0,00055828			
Total	0,02698392	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,00178506	1	0,00178506	0,63776749	0,50828559	18,5128205
Dentro de los grupos	0,00559785	2	0,00279892			
Total	0,00738291	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,02853284	1	0,02853284	23,6507641	0,03977627	18,5128205
Dentro de los grupos	0,00241285	2	0,00120642			
Total	0,03094569	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,04209336	1	0,04209336	15,361139	0,05936182	18,5128205
Dentro de los grupos	0,0054805	2	0,00274025			
Total	0,04757386	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,02730756	1	0,02730756	3,54657423	0,20036442	18,5128205
Dentro de los grupos	0,0153994	2	0,0076997			
Total	0,04270697	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,00217778	1	0,00217778	0,21908468	0,68579068	18,5128205
Dentro de los grupos	0,01988069	2	0,00994035			
Total	0,02205847	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,03004444	1	0,03004444	3,59906496	0,19825347	18,5128205
Dentro de los grupos	0,01669569	2	0,00834785			
Total	0,04674014	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,04392517	1	0,04392517	4,4451148	0,16952577	18,5128205
Dentro de los grupos	0,01976335	2	0,00988167			
Total	0,06368852	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,01406201	1	0,01406201	4,88824005	0,15759269	18,5128205
Dentro de los grupos	0,0057534	2	0,0028767			
Total	0,01981541	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	6,534E-05	1	6,534E-05	0,05088009	0,84249158	18,5128205
Dentro de los grupos	0,0025684	2	0,0012842			
Total	0,00263374	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,00196544	1	0,00196544	0,69745389	0,49151197	18,5128205
Dentro de los grupos	0,00563606	2	0,00281803			
Total	0,0076015	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,01604444	1	0,01604444	4,55181273	0,16648877	18,5128205
Dentro de los grupos	0,00704969	2	0,00352485			
Total	0,02309414	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,02654184	1	0,02654184	5,24679833	0,14910867	18,5128205
Dentro de los grupos	0,01011735	2	0,00505867			
Total	0,03665919	3				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,00131406	1	0,00131406	0,37911041	0,60081377	18,5128205
Dentro de los grupos	0,00693235	2	0,00346617			
Total	0,00824641	3				

Tabla A.4.2 Valores de grado de gelatinización obtenidos por DSC en harina de arroz entre los tratamientos aplicados

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3816,136819	2	1908,068409	98,5431103	7,601E-07	4,25649473
Dentro de los grupos	174,2650058	9	19,36277842			
Total	3990,401824	11				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1250,95968	1	1250,95968	43,0709427	0,00059955	5,98737758
Dentro de los grupos	174,2650058	6	29,04416763			
Total	1425,224685	7				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	685,268566	1	685,268566	25,4315305	0,002349926	5,98737758
Dentro de los grupos	161,6737693	6	26,94562822			
Total	846,9423353	7				

Tabla A.4.3 Valores de grado de gelatinización obtenidos por DSC en grano de arroz entre los tratamientos aplicados

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	47,6611463	1	47,6611463	16,0758483	0,00704265	5,98737758
Dentro de los grupos	17,7886027	6	2,96476711			
Total	65,449749	7				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	20,9095196	1	20,9095196	2,50406749	0,17439882	6,60789097
Dentro de los grupos	41,7511104	5	8,35022208			
Total	62,66063	6				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	217,765246	1	217,765246	79,400624	0,00011135	5,98737758
Dentro de los grupos	16,4556827	6	2,74261379			
Total	234,220929	7				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	12,6197666	1	12,6197666	3,76141054	0,10052052	5,98737758
Dentro de los grupos	20,1303737	6	3,35506228			
Total	32,7501403	7				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3,30838366	1	3,30838366	0,43307143	0,53957355	6,60789097
Dentro de los grupos	38,1967435	5	7,6393487			
Total	41,5051272	6				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	469,18057	1	469,18057	218,201264	6,0506E-06	5,98737758
Dentro de los grupos	12,9013159	6	2,15021931			
Total	482,081886	7				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	59,5419267	1	59,5419267	6,40855315	0,05243324	6,60789097
Dentro de los grupos	46,4550463	5	9,29100925			
Total	105,996973	6				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	129,080102	1	129,080102	36,601823	0,00092344	5,98737758
Dentro de los grupos	21,1596186	6	3,5266031			
Total	150,239721	7				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,02461836	1	0,02461836	0,00594783	0,94103383	5,98737758
Dentro de los grupos	24,8343095	6	4,13905159			
Total	24,8589279	7				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	125,539477	1	125,539477	49,4149821	0,0004139	5,98737758
Dentro de los grupos	15,2430868	6	2,54051447			
Total	140,782564	7				

Tabla A.4.4 Valores de temperatura de gelatinización tanto en harina como en grano de arroz entre los tratamientos aplicados y el control

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,4283	1	1,4283	33,67639257	0,00438601	7,708647421
Dentro de los grupos	0,16965	4	0,0424125			
Total	1,59795	5				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3,785633333	1	3,785633333	444,7146353	2,98886E-05	7,708647421
Dentro de los grupos	0,03405	4	0,0085125			
Total	3,819683333	5				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,845	1	0,845	30,25059666	0,001514792	5,987377584
Dentro de los grupos	0,1676	6	0,027933333			
Total	1,0126	7				

Tabla A.4.5 Valores de las propiedades reológicas de la masa tanto en harina como en grano de arroz entre los tratamientos aplicados y el control

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,2946E-05	1	1,2946E-05	725,0444941	1,13094E-05	7,708647421
Dentro de los grupos	7,1422E-08	4	1,7855E-08			
Total	1,3017E-05	5				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,6542E-05	1	1,6542E-05	147,2944984	0,000264468	7,708647421
Dentro de los grupos	4,4921E-07	4	1,123E-07			
Total	1,6991E-05	5				

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,5384E-05	1	1,5384E-05	82,61828388	0,000812349	7,708647421
Dentro de los grupos	7,4482E-07	4	1,862E-07			
Total	1,6129E-05	5				