



EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE COCCIÓN DEL ARROZ

Presentado por

MAYTE IRURZUN ECHAURI

Septiembre, 2013

Dirigido por:

Dra. Cristina Arroqui Vidaurreta

Codirigido por:

Dra. M^a José Noriega Domínguez

RESUMEN

Este trabajo de investigación se centra en el uso potencial de la tecnología de las altas presiones hidrostáticas (APH) para la obtención de un arroz de cocción rápida, sobre tres variedades locales de tipo *Japónica*: Nuevo Maratelli, Guadiamar y Bomba. El objetivo del estudio es evaluar el efecto de dos niveles de presión sobre las características de cocción, el grado de gelatinización y la calidad del grano cocido.

Para ello, se analizan por un lado las características de cocción (tiempo de cocción, absorción de agua, pérdida de sólidos, dimensiones del grano y volumen de expansión) de las muestras control y de las sometidas a tratamientos de presión de 600 y 800 MPa a temperatura ambiente y durante 10 minutos. Por otro lado, se evalúa el efecto del tratamiento por presión sobre el grado de gelatinización del arroz, con la finalidad de poder determinar de qué modo afecta el tratamiento de APH.

A su vez, se realiza un análisis de textura instrumental como un indicador de calidad del arroz cocido, en el que se estudian los parámetros de dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad.

El análisis de los resultados obtenidos demuestra que el empleo de las altas presiones hidrostáticas reduce el tiempo de cocción y afecta a características de cocción, aumentando la absorción de agua, las dimensiones del grano y la pérdida de sólidos. Sin embargo, la aplicación de los tratamientos de presión ensayados no produce una variación significativa en los atributos de textura estudiados en el arroz presurizado con respecto al elaborado de forma tradicional.

Por todo ello, se puede pensar en la posible aplicación de esta tecnología de cara a obtener un arroz de rápida preparación.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. EL ARROZ	8
1.1.1. El arroz como base de la alimentación humana.....	8
1.1.2. El grano de arroz.....	11
1.1.3. Variedades de arroz.....	14
1.1.4. Procesado del arroz	17
1.2. APLICACIÓN DE ALTA PRESION HIDROSTÁTICA (APH) EN ARROZ	19
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	24
2.1. OBJETIVOS.....	24
2.2. PLAN DE TRABAJO.....	25
3. DISEÑO EXPERIMENTAL	27
4. MATERIAL Y MÉTODOS	29
4.1. MATERIAL	29
4.1.1. Materia prima.....	29
4.1.2. Otros materiales.....	29
4.1.3. Equipos.....	30
4.2. MÉTODOS	32
4.2.1. Caracterización del grano crudo	32
4.2.1.1. Tiempo de remojo.....	32
4.2.1.2. Dimensiones del grano.....	32
4.2.1.3. Contenido en humedad.....	32
4.2.1.4. Contenido en amilosa.....	32
4.2.1.5. Temperatura de gelatinización.....	34
4.2.2. Tratamiento por alta presión	35
4.2.3. Características de cocción	36
4.2.3.1. Tiempo de cocción.....	36
4.2.3.2. Volumen de expansión.....	36
4.2.3.3. Absorción aparente de agua y pérdida de sólidos.....	36
4.2.3.4. Dimensiones del grano.....	37
4.2.4. Determinación del grado de gelatinización	37
4.2.4.1. Método colorimétrico.....	37
4.2.4.2. Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	38

4.2.5. Análisis instrumental de textura.....	39
4.2.6. Análisis estadístico.....	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
5.1. ESTUDIOS PRELIMINARES: CARACTERIZACIÓN DEL GRANO CRUDO Y TIEMPO DE REMOJO.....	41
5.1.1. Caracterización del grano crudo.....	41
5.1.2. Tiempo de remojo.....	44
5.2. EFECTO DE LA APH SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE COCCIÓN.....	46
5.2.1. Arroz tratado por APH.....	46
5.2.2. Arroz tratado por APH con cocción final.....	48
5.3. EFECTO DE LA APH SOBRE LA GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN.....	51
5.4. EFECTO DE LA APH Y LA VARIEDAD SOBRE LA CALIDAD DEL GRANO COCIDO.....	54
6. CONCLUSIONES.....	57
7. BIBLIOGRAFÍA.....	59
8. ANEXOS.....	63

FIGURAS

Figura 1. Exportación de arroz por los principales países productores (FAO, 2012).....	9
Figura 2. Sección longitudinal de un grano de arroz (Juliano, 2003).....	11
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del arroz blanco.....	17
Figura 4. Esquema del diseño experimental.....	28
Figura 5. Equipo de alta presión Stansted Fluid Power.....	30
Figura 6. Espectrofotómetro Cintra 20 UV-Visible.....	31
Figura 7. Ejemplo de resultado de determinación del tiempo mínimo de cocción: la imagen de la derecha representa una muestra en la que el 90% aproximadamente de los granos no presenta centro opaco	36
Figura 8. Texturómetro TA-XT.Plus.....	39
Figura 9. Esquema del ensayo de textura TPA	40
Figura 10. Variedades de arroz en el transcurso del test de álcali (a) Control Maratelli, (b) Control Guadamar, (c) Control Bomba, (d) Maratelli 2, (e) Guadamar 2, (f) Bomba 1.....	43
Figura 11. Curvas de absorción de agua por variedades (%).....	44
Figura 12. Grado de gelatinización según tratamiento de APH aplicado. Análisis de la varianza....	51

TABLAS

Tabla 1. Superficie cultivada de arroz en España (MAGRAMA, Campaña 2012).....	10
Tabla 2. Consumo de arroz en los hogares de España (MAGRAMA, 2012).....	10
Tabla 3. Valor nutricional de los cultivares seleccionados.....	16
Tabla 4. Preparación de los patrones.....	33
Tabla 5. Escala para determinar la Tª gelatinización.....	34
Tabla 6. Caracterización del grano crudo. Análisis de la varianza (media \pm SD).....	41
Tabla 7. Características de cocción del grano tratado por APH. Análisis de la varianza (media \pm SD).....	46
Tabla 8. Características de cocción del grano presurizado y cocido. Análisis de la varianza (media \pm SD).....	48
Tabla 9. Grado de gelatinización según el método aplicado. Análisis de la varianza (media \pm SD).....	53
Tabla 10. Efecto del tratamiento por APH y de la variedad sobre los parámetros de textura. Análisis de la varianza (media \pm SD).....	56

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL ARROZ

1.1.1. EL ARROZ COMO BASE DE LA ALIMENTACIÓN HUMANA

El arroz (*Oryza sativa* y *Oryza glaberrima*) 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 difundiéndose desde aquí a la Europa mediterránea y más tarde al continente americano.

La superficie mundial del arroz alcanza unos 180 millones de hectáreas, de las que un 90% se sitúa en Asia, con una producción de arroz cáscara de unos 750 millones de toneladas (equivalente a 450 millones de arroz blanco), superando en producción al trigo (650) y ligeramente por debajo del maíz (800).

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 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 del 30%, respectivamente, debido al mayor rendimiento agronómico del arroz en España (MAGRAMA, 2013).

El arroz es uno de los productos básicos más protegidos, tanto en los países en vías de 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, por lo que el comercio mundial del arroz representa un porcentaje relativamente pequeño de la producción mundial, tal y como se puede observar en la figura 1.



Figura 1. Exportación de arroz por los principales países productores (FAO, 2012).

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.

Desde hace años, la superficie cultivada de arroz en España, se ha mantenido en niveles estables, que oscilan en torno a la superficie de base nacional, que está establecida en 104.973 hectáreas (Tabla 1).

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, siendo el rendimiento medio de 7,3 t/ha. En cuanto a variedades, el 65% de la producción se obtiene de variedades de arroz del tipo indica, producido prácticamente en su totalidad en Andalucía y Extremadura y el 35% restante, de variedades de arroz del tipo japónica, siendo este último tipo de arroz el más utilizado en España.

Tabla 1. Superficie cultivada de arroz en España (MAGRAMA, Campaña 2012).

COMUNIDAD AUTÓNOMA	SUPERFICIE	
	Hectáreas (has)	Porcentaje (%)
Andalucía	34.795	33,1
Aragón	12.017	11,4
Islas baleares	50	0,05
Castilla-La Mancha	370	0,4
Cataluña	20.850	19,9
Extremadura	20.486	19,5
Murcia	400	0,4
Navarra	1.580	1,5
La Rioja	75	0,1
C. Valenciana	14.350	13,7
TOTAL ESPAÑA	104.973	100,0%

España es un exportador neto de arroz, fundamentalmente elaborado, resultado de la transformación de la producción nacional así como de las importaciones de arroz descascarillado procedentes de terceros países, mayoritariamente extracomunitarios.

El consumo de arroz en España se sitúa en torno a los 209,55 millones de kg y en términos per cápita se llegó a 3,9 kg de consumo. El consumo más notable se asocia al arroz normal tipo Japónica (2 kg por persona y año), seguido del arroz largo tipo Índica (0,8 kg per cápita), tal y como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Consumo de arroz en los hogares de España (MAGRAMA, 2012).

CONSUMO (millones de kg)	TOTAL	PER CÁPITA
Largo	38,9	0,8
Normal	91,9	2,0
Vaporizado	16,1	0,4
Plato preparado en conserva	1,1	0,0
Plato preparado congelado	16,1	0,3
Resto de platos preparados	2,0	0,0
Otros tipos	12,6	0,3
TOTAL ARROZ	178,8	3,9

1.1.2. EL GRANO DE ARROZ

La morfología del grano de arroz (arroz con cáscara o arroz) consiste en una cubierta exterior de protección, la cáscara y la carióspside o fruto de arroz comestible (pardo, integral o arroz descascarillado). El arroz integral se compone de las capas externas del pericarpio, testa, nucela, y germen o embrión, que son los tejidos maternos, y el endospermo. El endospermo consiste en la capa de aleurona y el endospermo amiláceo o interior. La capa de aleurona encierra el embrión (Juliano, 2003). Dicha estructura se puede ver en la figura 2.

La cáscara no comestible constituye un 16-28% (media 20%) del peso. El arroz integral se compone de 1-2% del pericarpio, 4-6% de la aleurona más nucela y tegumento, 1% embrión, 2% escutelo y 90-91% endospermo. La aleurona y las células embrionarias son ricas en cuerpos lipídicos (esferosomas, 0,2 a 1,5 μm) y en cuerpos proteicos (granos de aleurona) que contienen inclusiones de ácido fítico (1-3 μm).

Las células del endospermo son de pared delgada y llena de amiloplastos poliédricos que contienen gránulos de almidón de 3-9 μm de tamaño. La proteína se encuentra principalmente en forma de grandes (1-2 μm) y pequeños (0,5-0,8 μm) cuerpos esféricos y como cuerpos cristalinos (2-4 μm).

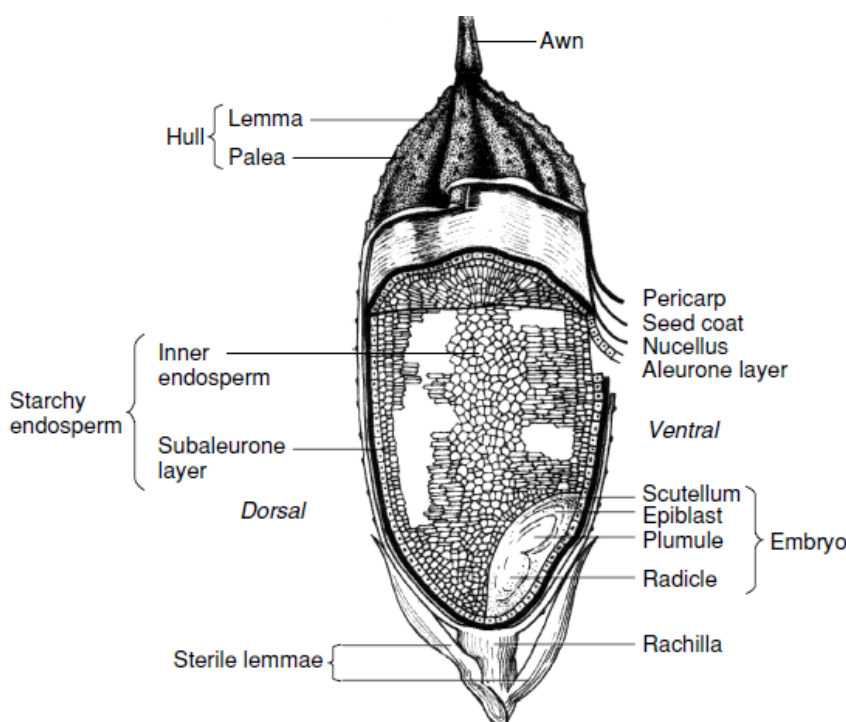


Figura 2. Sección longitudinal de un grano de arroz (Juliano, 2003).

Para determinar la calidad del grano crudo, se realizan una serie de medidas que sirven para clasificar el arroz. Cabe señalar que no existe una norma internacional para clasificarlo por tamaño y forma. El Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI, Filipinas) utiliza la siguiente escala para el tamaño, según la longitud del grano:

- Extra largo > 7,50 mm
- Largo 6,61 a 7,50 mm
- Medio 5,51 a 6,60 mm
- Corto < 5,50 mm.

La forma del grano en base a la relación longitud/anchura, se utiliza la siguiente escala para clasificarlo:

- Largo > 3,0
- Medio 2,1-3,0
- Redondo 1,1-2,0
- Redondo \leq 1,0

Por otro lado, también se mide el contenido en amilosa, siendo el principal índice de calidad. El arroz de grano largo tiene un alto contenido en amilosa, presentando así una mayor resistencia a la cocción, por lo que requieren un mayor contenido de agua y más tiempo de cocción. Este alto contenido en amilosa provoca que los granos queden sueltos, absorban poco el sabor del caldo y el arroz quede más consistente tras la cocción, haciéndolo ideal para que sea consumido en ensaladas y guarniciones. Por otro lado, está el arroz de grano medio, con un menor contenido en amilosa. Es de forma ligeramente redondeado y tiende a empastarse cuando se someten a una cocción demasiado prolongada, aunque a diferencia del anterior, absorbe bien los sabores del caldo. Por último, el arroz de grano corto se caracteriza por ser prácticamente redondo en su forma. Es el más utilizado en el norte de China, Japón y Corea, entre sus usos culinarios destacan las elaboraciones de sushi, ya que los granos quedan pegados y blandos (Pérez-Urtasun, 2012).

Aunque el contenido de amilosa es el principal determinante de la calidad culinaria del arroz blanco, variedades con contenidos similares pueden diferir en la

calidad. La viscosidad del arroz cocido da mejor correlación con el contenido de amilosa que la dureza. Las diferencias en la dureza de arroces con similar contenido en amilosa, generalmente están relacionadas con diferencias en la consistencia del gel, temperatura final de gelatinización, o ambos (Pérez *et al.*, 1985).

Una propiedad importante del grano cosechado es su contenido en humedad: un 14% en base de peso húmedo se considera un valor de almacenamiento seguro; los granos se vuelven susceptibles a la fisuración por debajo de contenidos críticos de humedad de entre 12-16%, dependiendo de la variedad. El envejecimiento del arroz con cáscara 2 meses después de la cosecha, a temperatura ambiente < 15 °C, mejora el rendimiento del descascarillado y hace que el arroz elaborado se expanda más durante la cocción y se vuelva más escamoso. El calor durante el secado del grano acelera el envejecimiento (Juliano, 2003).

Las características más importantes que se miden para determinar la calidad culinaria, engloban parámetros que evalúan de forma directa la textura del grano cocido y algunos atributos de composición y propiedades físico-químicas que condicionan las propiedades de cocción del grano y su calidad posterior (Gazólaz, 2009).

- Contenido en amilosa: su valor da una medida indirecta de la textura del grano cocido dada su elevada correlación con el valor de adhesividad (a mayor amilosa, menor adhesividad) y el de consistencia (a mayor amilosa, mayor consistencia).
- Consistencia del gel: su valor indica la tendencia del almidón del arroz a la retrogradación (a menor consistencia, mayor tendencia). Este proceso determina la dureza del grano tras la cocción.
- Comportamiento del grano: mediante el test de álcali se refleja la desintegración y la extensión del arroz.
- Temperatura de gelatinización: es la temperatura a la cual el granulo de almidón absorbe agua y aumenta su tamaño de forma irreversible.

- **Propiedades reológicas:** mediante un perfil de textura se determinan los parámetros de dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad.

Por último, es necesario proporcionar medidas de la calidad de cocción que definan el comportamiento del arroz durante la cocción. Los métodos de cocción varían según el país, localidad, el tipo de plato y por otra parte, el comportamiento durante la cocción dependerá del método empleado. Entre los atributos calidad se encuentran el tiempo de cocción, la absorción de agua, pérdida de sólidos en el agua de cocción, dimensiones del grano y aumento de volumen después de la cocción.

1.1.3. VARIEDADES DE ARROZ

Entre las variedades de arroz cultivadas comúnmente en España se pueden encontrar las siguientes (SEK, 2013):

- **Senia y Bahía:** son variedades muy similares hasta el punto que la reglamentación permite mezclarlas para su venta. Son del grupo japónica y con un contenido de amilosa bajo que ronda el 18-19%. Es el auténtico arroz valenciano, sobre todo el Senia ya que el Bahía se cultiva en menos cantidad.
- **Bomba:** es un arroz de grano perlado o redondeado tipo japónica pero con un contenido en amilosa alto, sobre el 23-24%, por lo que su resistencia a la cocción se asemeja a las variedades índica de grano largo. La resistencia a la sobrecocción le hace muy apreciado porque requiere menos atención para quedar bien de aspecto.
- **Balilla x Solana:** la otra variedad que se puede vender bajo Denominación de Origen "Calasparra" es un híbrido denominado Balilla x Solana. Es una variedad de grano redondo, con un 20,5% de amilosa y, por tanto, menos resistente al empastado que el Bomba.

- **Puntal y Thaibonnet:** son los dos arroces de tipo indica más cultivados en España. Ambos son de grano largo. El puntal tiene un contenido de amilosa de 23-24% similar al Bomba, y el Thaibonnet llega hasta el 28%, uno de los porcentajes más altos en arroces de cultivo habitual.

En cambio, existen otras muchas variedades que se consumen pero que no se producen, por lo que se importan:

- **Arborio:** procede de la localidad de Arborio situada en el Piamonte italiano. Es un arroz japónica de grano grande y de forma intermedia entre los perlados y los largos. Su contenido en amilosa es de los más bajos, sobre el 17-18%.
- **Carnaroli:** es el arroz típico del risotto italiano. El Carnaroli es, en Italia, lo que el Bomba en España. Un arroz perla, con buena absorción de sabores, pero resistente a la cocción debido a su relativamente alto contenido de amilosa, entre el 22-24%.
- **Basmati:** es un arroz originario de las estribaciones del Himalaya en la India y Pakistán. Pertenece al grupo indica, de grano largo y alto contenido en amilosa, alrededor del 24%. Su característica distintiva es el aroma que desprende, el cual recuerda al de las nueces.
- **Jazmín o Thai:** es otro arroz aromático, en este caso cultivado en Tailandia. Tiene un contenido de amilosa algo inferior al Basmati, sobre el 24%, por lo que queda algo menos suelto y más blando.

En cuanto a las variedades de arroz cultivadas en Navarra, destaca con más del 90% de la superficie el de tipo Guadiamar. El arroz Nuevo Maratelli representa un 4% del cultivo y el porcentaje restante lo componen las variedades Sirio CL, Lido, Gleva y otros tipos menos representativos entre los que se encuentra Bomba (INTIA, 2011).

Para el presente trabajo, se han seleccionado las siguientes variedades: Guadamar, Nuevo Maratelli y Bomba. Las dos primeras son las más cultivadas en Navarra y las que poseen mayor disponibilidad, además Guadamar aguanta muy bien la cocción y resulta muy vistoso en las presentaciones al quedar suelto y entero, y Maratelli posee la capacidad de absorber los sabores. Por otro lado, Bomba es uno de los más cotizados en el mercado local debido a su menor productividad agrícola y se caracteriza por su mayor expansión y resistencia a la cocción (Arrocera del pirineo).

En la tabla 3 se puede ver el valor nutricional de las variedades seleccionadas para la investigación.

Tabla 3. Valor nutricional de los cultivares seleccionados.

Cada 100 g	MARATELLI	GUADIAMAR	BOMBA
Valor energético	354 kcal	354 kcal	354 kcal
Proteínas	7.0 g	7.0 g	7.0 g
Hidratos de carbono	79.7 g	79.7 g	79.7 g
Grasas	0.8 g	0.8 g	0.8 g

1.1.4. PROCESADO DEL ARROZ

El arroz sufre una serie de etapas de procesado, que abarca las operaciones desde la cosecha de la panícula hasta la producción del arroz blanco clasificado y pulido. A continuación, se muestran en el diagrama de flujo las fases generales quedando reflejado el orden en el que se llevan a cabo (Figura 3) (FAO, 1985).

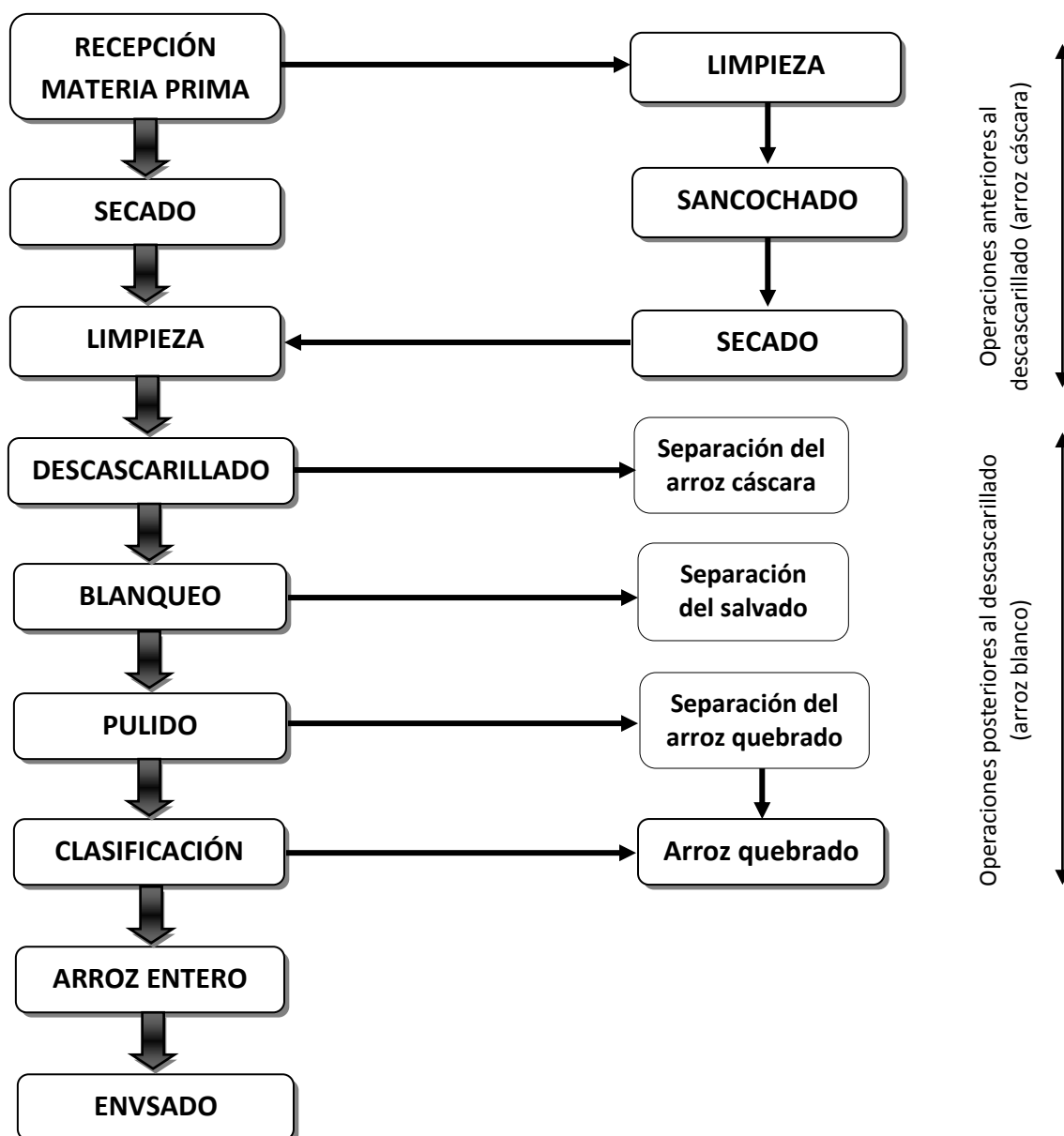


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del arroz blanco.

Hay que destacar la etapa de sancochado, que consiste en remojar el arroz cáscara, tratarlo con vapor y secarlo. El sancochado mejora la calidad nutricional del arroz, facilita la operación de descascarado, y permite obtener una mayor proporción de arroz blanco de grano entero. El arroz cáscara sancochado debe secarse antes de elaborarlo. El arroz elaborado a partir de arroz cáscara sancochado se conserva mejor que el arroz no sancochado, y su sabor, color y propiedades de cocción son diferentes. El sancochado es una operación costosa, pero los beneficios generalmente compensan con creces el costo.

Por otro lado, existen diferentes tratamientos que diferencian al arroz blanco, uno de ellos es el arroz vaporizado o parboiled, el cual ha recibido un tratamiento consistente en remojarlo con su cáscara y a someterlo posteriormente a vapor a alta presión. Con este proceso se concentran en el grano parte de las vitaminas y sales minerales que se pierden normalmente al descascararlo. El proceso le comunica un color dorado y un ligero sabor a cereal, y fija el almidón de la superficie del grano haciéndolo muy resistente al empastado.

También es posible encontrar los llamados arroces rápidos o instantáneos, a los que se les somete a un proceso de cocción y secado para su conservación que además, facilita la entrada de agua durante la cocción y acelera el proceso, que pasa de los 20 minutos tradicionales a tiempos de 1 a 5 minutos.

Una alternativa para producir arroz instantáneo es mediante el tratamiento de este producto a altas presiones hidrostáticas (APH), de manera que se consiga pregelatinizar el arroz y así se reduzca el tiempo de cocción. Este proceso comienza con el remojo del arroz, que sirve para incrementar la profundidad y uniformidad de migración del agua en el grano de arroz, lo cual produce una hidratación suficiente para que el almidón se pregelatinice en el tratamiento posterior. Después se procede al tratamiento con APH, variando los parámetros de presión, tiempo y temperatura en función de la muestra a tratar. Por último, se escurre la muestra y ya queda lista para su cocción final, ya sea de forma tradicional o en microondas.

1.2. APLICACIÓN DE ALTA PRESIÓN HIDROSTÁTICA (APH) EN ARROZ

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).

Durante más de dos décadas, la alta presión hidrostática ha sido investigada como una tecnología alternativa al tratamiento térmico tradicional de alimentos. Además de la inactivación microbiana y enzimática, la modificación de proteínas y de almidón ha recibido gran atención y se ha demostrado que da lugar a cambios conformacionales y funcionales. Por lo tanto, cada vez es más posible obtener productos con la textura deseada y con los mejores atributos sensoriales y nutricionales (Boluda-Aguilar *et al.*, 2013).

Durante el procesamiento por APH, la presión aplicada se distribuye instantánea y uniformemente dentro del producto, sin que el tamaño de la muestra influya en el tiempo de procesamiento. Además, 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).

El alimento envasado se dispone en un vehículo y se carga automáticamente en la cabina de presurización. El medio de transmisión de presión, normalmente agua, se bombea en el recipiente desde uno o ambos lados. Después de alcanzar la presión máxima deseada, el bombeo se detiene para mantener la presión durante el tiempo de permanencia. Todas las moléculas se someten a la misma cantidad de presión en el mismo momento a causa del principio de transmisión de presión isostática.

El impacto de las APH en macromoléculas, microorganismos y sistemas complejos es múltiple (Knorr *et al.*, 2011):

- **Impacto en las células biológicas.** El efecto letal de las APH en los microorganismos vegetativos se atribuye a la inactivación de las enzimas y a la ruptura de la

membrana celular. Las esporas tienen mayor barotolerancia que las bacterias vegetativas y sobreviven a presiones por encima de 1.200 MPa a temperatura ambiente.

- **Impacto sobre las enzimas.** Los cambios en las proteínas y enzimas aplicando presión entre 100 y 300 MPa a temperatura ambiente son reversibles, mientras que por encima de 400 MPa causa un despliegue irreversible, lo que conduce a la inactivación de la enzima.
- **Impacto sobre los componentes alimenticios.** La estructura primaria de moléculas de bajo peso molecular tales como péptidos, lípidos, vitaminas e hidrocarburos raramente se ve afectada por las APH debido a la baja compresibilidad de los enlaces covalentes a presiones inferiores a 2 GPa. Por el contrario, pueden cambiar la estructura nativa de macromoléculas, como por ejemplo la del almidón.

Entre los diversos métodos de modificación físicos, la tecnología de la alta presión hidrostática es un proceso no térmico. Su aplicación puede ser considerada técnicamente 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).

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. 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).

El rango de presión en el que se produce la gelatinización es típico para cada tipo de almidón y depende en parte de su estructura cristalina. El grado de gelatinización aumenta con el aumento de la presión de tratamiento: la mayoría de los almidones

(maíz, arroz y trigo) gelatinizan completamente a partir de 600 MPa (Pei-Ling *et al.*, 2010).

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.

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).

En cuanto al arroz como alimento, el ritmo acelerado de la vida moderna ha promovido nuevas formas de consumirlo, tales como el arroz instantáneo, también conocido como arroz de cocción rápida, el cual está total o parcialmente cocido y deshidratado y tarda sólo unos minutos en prepararse para el consumo después de la rehidratación. Todavía da problemas que incluyen el tiempo de rehidratación y la calidad inferior en comparación con el arroz cocido de forma tradicional (Boluda-Aguilar *et al.*, 2013).

La gelatinización del almidón normalmente se produce bajo el efecto del agua y el calor durante la cocción del arroz. Se produce en un intervalo de temperaturas de entre 55 y 80 °C dependiendo la variedad (Ahromrit *et al.*, 2007).

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.

Por otro lado, Li *et al.* (2012) comprobaron que la presurización del almidón de arroz a 600 MPa durante 30 minutos provocó una ruptura completa de los gránulos, y que existía un nivel crítico de presión entre 480 y 600 MPa para comenzar la

gelatinización. El proceso fue acompañado por la conversión de la estructura cristalina y la variación de las propiedades fisicoquímicas, de empaste, térmicas y de retrogradación del almidón de arroz.

Eustina *et al.* (2008) observaron que tanto el almidón de arroz normal y el almidón de arroz céreo siguieron curvas de gelatinización inducidas por presión de forma sigmoidea. El grado de gelatinización del almidón en ambos casos, fue dependiente de la presión, de la temperatura y de la duración del tratamiento, y que diferentes combinaciones de estos factores dieron lugar al mismo grado de gelatinización.

En el caso de arroz cocido, el proceso de APH permite una gelatinización homogénea y reduce el porcentaje de granos rotos. Leelayuthsoontorn *et al.* (2006) mostraron los efectos de la presurización en la mejora de las propiedades del arroz cocido, como por ejemplo, el brillo, sabor y textura. También, Yamakura *et al.* (2005) afirmaron que el tratamiento por APH del arroz aumentó la digestibilidad y palatabilidad del almidón para todos los cultivares estudiados.

Otra ventaja de tratar el arroz con APH es la reducción de la alergenicidad. Estrada-Girón *et al.* (2005) demostraron que la aplicación de 500 MPa de presión disminuía el potencial alérgico de la albumina 16 kDa y α -globulina 26 kDa, consideradas como los mayores alérgenos del arroz, aunque añaden que este tipo de proteínas no pueden ser eliminadas totalmente mediante la presurización.

Por su parte, Huang *et al.* (2009) comprobaron cómo una combinación apropiada de presión y temperatura puede ser utilizada para facilitar la absorción de agua y la gelatinización. El aumento en volumen de los granos de arroz mostró una alta correlación con el contenido de humedad. Sin embargo, la gelatinización no se observó en presiones inferiores a 300 MPa a temperaturas de 20 y 40 °C. Por otro lado, el mayor grado de gelatinización (75%) en este estudio se observó a 500 MPa y 50 °C durante 120 min.

Ahromrit *et al.* (2007) encontraron que la presión necesaria para iniciar la gelatinización en arroz Thai, es de al menos 200 MPa a temperatura ambiente. Por

otro lado, para completar la gelatinización se necesitan entre 500 y 600 MPa a 70 °C, cuando el arroz se remoja previamente en agua durante 120 min.

Pérez-Urtasun (2012) estudió el efecto de dos niveles de alta presión hidrostática (400 MPa/10min/20 °C y 600 MPa/10min/40 °C) sobre la calidad de cocción del arroz de la variedad Maratelli. Tras la presurización del arroz, comparó la cocción de forma tradicional y por microondas. Los resultados mostraron cómo el empleo de la tecnología de APH reducía el tiempo de cocción y que, además, no se producía una variación significativa en los atributos de calidad del arroz con respecto al elaborado de forma tradicional.

Hasta la fecha, existen numerosos estudios acerca del efecto de la aplicación de APH sobre el almidón de arroz, pero apenas se encuentran referencias sobre su aplicación en grano entero y las pocas encontradas se basan en variedades de grano largo, más destinadas al consumo en países asiáticos. Por ello, es interesante realizar el estudio en las variedades locales de arroz, que se diferencian en su contenido en amilosa, de las cuales apenas hay investigaciones publicadas.

2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

2.1. OBJETIVOS

El objetivo general de este proyecto es evaluar el efecto de la aplicación de altas presiones hidrostáticas a dos niveles de presión (600 y 800 MPa) sobre tres variedades de arroz: Nuevo Maratelli, Guadamar y Bomba, con el fin de estudiar la potencialidad de esta tecnología para la obtención de un arroz de cocción rápida.

Para llegar a este objetivo general se han propuesto los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la APH sobre las características de cocción del arroz a través de los siguientes parámetros: tiempo de cocción, absorción de agua, pérdida de sólidos, dimensiones del grano y volumen de expansión.
- Evaluar el efecto de la APH sobre el grado de gelatinización.
- Evaluar el efecto de la APH sobre la textura, como parámetro de calidad tras una cocción tradicional.

2.2. PLAN DE TRABAJO

Para la realización de este trabajo se han llevado a cabo una serie de actividades indispensables para la consecución de los objetivos establecidos.

2.2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El trabajo comienza con la búsqueda de información relacionada con la aplicación de las altas presiones hidrostáticas sobre el arroz, con el fin de conocer las investigaciones que se han realizado hasta ahora y así determinar los objetivos del presente trabajo.

2.2.2 ELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS A APLICAR

Se han seleccionado tres variedades diferentes de arroz y dos tratamientos de alta presión hidrostática a aplicar, uno a presión moderada y otro de mayor intensidad para conseguir la pregelatinización del almidón.

2.2.3 PARÁMETROS A ANALIZAR

Existen una serie de parámetros que hay que analizar para poder ver las diferencias entre los distintos tratamientos y así poder compararlos y establecer cuál es el que más se ajusta a los objetivos perseguidos. Las variables a estudiar se agrupan en:

- Caracterización del grano crudo.
- Características de cocción.
- Grado de gelatinización.
- Caracterización de la calidad del grano cocido.

2.2.4 PUESTA PUNTO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS

- Métodos para la caracterización del grano crudo.
- Métodos para determinar las características de cocción.
- Métodos para determinar el grado de gelatinización.
- Método para determinar la calidad del grano cocido.

2.2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se planteará un diseño experimental para la realización de los ensayos que permitan llevar a cabo los estudios programados.

2.2.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos serán analizados mediante un programa estadístico con el objetivo de determinar si existen o no diferencias significativas y obtener las conclusiones oportunas.

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo este trabajo de investigación, se han seleccionado tres variedades de arroz, Nuevo Maratelli, Guadiamar y Bomba, a las cuales se les realizan los ensayos para la caracterización del grano crudo:

- Tiempo de remojo
- Contenido en amilosa
- Relación largo/ancho
- Humedad
- Temperatura de gelatinización

Posteriormente se les ha sometido a dos tratamientos específicos de APH de diferente intensidad:

- 600 MPa durante 10 minutos a 20 °C de temperatura.
- 800 MPa durante 10 minutos a 20 °C de temperatura.

Cada ensayo se realiza por duplicado, tal y como se observa en la figura 4, contando con una cierta cantidad de muestra sin tratar, pero cocinada térmicamente, a modo de control.

Por último, en las muestras tratadas por APH se determinan los siguientes parámetros:

- Grado de gelatinización
- Características de cocción y de calidad del grano cocido
 - ✓ Tiempo de cocción
 - ✓ Absorción de agua
 - ✓ Volumen de expansión del grano
 - ✓ Dimensiones del grano
 - ✓ Pérdida de sólidos
 - ✓ Textura instrumental

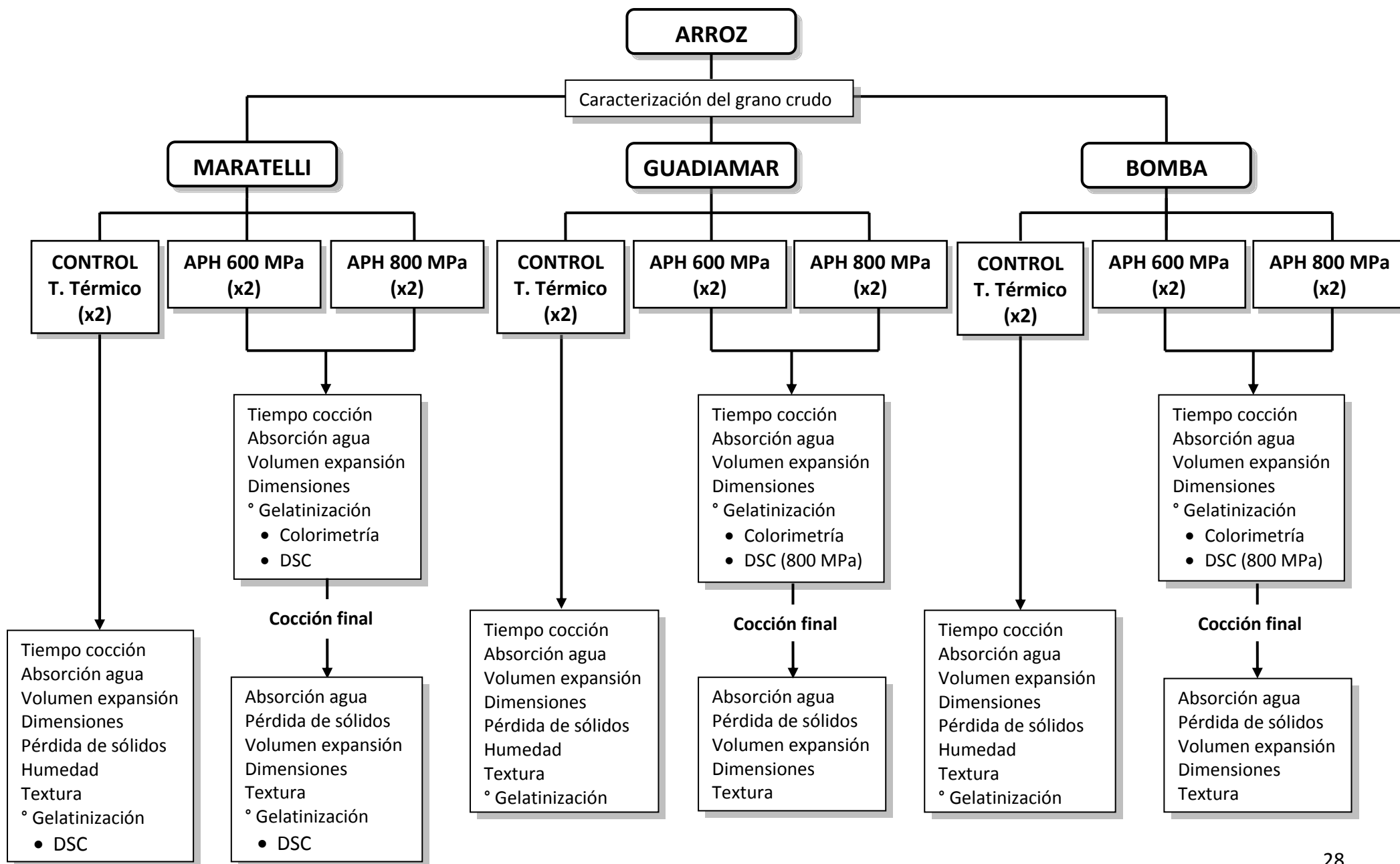


Figura 4. Esquema del diseño experimental.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. MATERIAL

4.1.1. MATERIA PRIMA

Para la realización del presente trabajo se han utilizado tres cultivares de arroz blanco tipo Japónica: *Nuevo Maratelli*, *Guadamar* y *Bomba*. Los tres fueron adquiridos de la “Arrocera del Pirineo” (Huesca), que es una cooperativa de segundo grado constituida por cooperativas arroceras de Aragón y Navarra.

- **Maratelli:** arroz redondo y perlado producido en Navarra.
- **Guadamar:** arroz semilargo cristalino producido en Navarra.
- **Bomba:** arroz de grano redondo y perlado. Posee alta calidad culinaria e importancia económica (hasta 3 veces más caro que el resto).

4.1.2. OTROS MATERIALES

Entre los materiales utilizados para llevar a cabo los diferentes ensayos se pueden encontrar los siguientes.

- Microcalibre de marca Mitutoyo con una precisión de 1 μm .
- Baño termostático Indelab y Julabo F12.
- Tamiz Analysensieb Retsch de 200 μm .
- Cazo metálico de 1,5 litros de capacidad.
- Colador.
- Placa calefactora.
- Balanza de precisión 0,001 g Denver Instrument.
- Bolsas de vacío de PA/PE 20/70 (poliamida/polietileno).
- Material de vidrio de laboratorio (pipetas, matraces, vasos de precipitados, etc.).

4.1.3. EQUIPOS

Los equipos necesarios para la realización del trabajo son los siguientes:

- Equipo de altas presiones hidrostáticas Stansted Fluid Power, “Food Lab 900” modelo FPG 5500 HL (Figura 5).
 - ✓ 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 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 en 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 5. Equipo de alta presión Stansted Fluid Power.

- Texturómetro Texture Analyser, modelo TA-XT.Plus equipado con la sonda SMSP/75 y con el programa Texture Expert.
- Liofilizador Telstar Lyobeta 25, equipado con el software de control SCADA LyoSuite™.
- DSC modelo DSC 2920, marca TA Instruments.
- Espectrofotómetro Cintra 20 UV-Visible (Hucaa-Elröss) (Figura 6).



Figura 6. Espectrofotómetro Cintra 20 UV-Visible.

- Equipos auxiliares:
 - Molinillo Moulinex Super Junior “s”.
 - Termoselladora manual SK-410 Lovero.
 - Centrífuga Sigma 3K30.
 - Estufa de vacío Binder.
 - Estufa J. P. Selecta S.A.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. CARACTERIZACIÓN DEL GRANO CRUDO

4.2.1.1. Tiempo de remojo

Se sumergen 10 mg de arroz en 50 ml de agua destilada en un vaso de precipitados y se mantienen a 30 °C en una estufa durante diferentes tiempos (30, 45, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos). Se secan al aire durante 2 minutos y se pesan. Por diferencia de peso se obtiene el porcentaje de agua absorbida, de forma que cuando alcancen el equilibrio se pueda establecer el tiempo óptimo de remojo. El ensayo se realiza por triplicado para cada variedad.

4.2.1.2. Dimensiones del grano

Para determinar las características físicas de cada variedad, se toman entre 4 y 7 medidas de la longitud y la anchura de los granos, para así determinar el cociente de la relación largo/ancho.

4.2.1.3. Contenido en humedad

El contenido en humedad se ha determinado siguiendo el método oficial de la AOAC (934.06). En discos metálicos se colocan 5 g de muestra y se mantienen a 70 °C y <100 mmHg durante 6 horas. Para asegurar que se el secado es completo, se pueden mantener 24 horas. Por diferencia de peso de la muestra antes y después del secado se determina el contenido en humedad. Se realiza por triplicado.

4.2.1.4. Contenido en amilosa

Se aplicó el método simplificado propuesto por Juliano *et al.* (1971), en el cual se muelen los granos y se tamizan (luz de malla 200 µm). Se pesan 100 mg de harina en un erlenmeyer de 50 ml, a continuación se añade 1 ml de etanol (95%) y 9 ml de NaOH

(1 N). Se calienta la mezcla en baño maría con agua en ebullición durante 10 minutos para conseguir la gelatinización del almidón. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se trasvasa el contenido a un matraz de 100 ml y se enrasa con agua destilada. Se pipetea 5 ml y se llevan a un nuevo matraz de 100 ml. Se añade 1 ml de ácido acético (1 N) y 2 ml de reactivo de yodo (0,2 g I + 2 g IK en 100 ml de agua destilada), se enrasa y se deja reposar en oscuridad durante 20 minutos.

Se determinó el contenido de amilosa sabiendo la curva patrón, cuya ecuación fue $y = 0,1931x + 0,0693$ ($r^2 = 0,999$) (Anexo 1). Para la preparación de los patrones de la recta de calibrado se parte de 40 mg de amilosa de patata, a la que se añade 1 ml de etanol (95%) y 9 ml de NaOH (1 N). Se calienta durante 10 minutos en agua hirviendo y se dejan enfriar a temperatura ambiente. Se enrasa a 100 ml y ésta sería la solución madre.

A partir de ella se hacen diluciones para obtener los patrones de diferentes concentraciones. En la tabla 4 se muestra la forma de preparación.

Tabla 4. Preparación de los patrones.

SOLUCIÓN MADRE (ml)	ÁCIDO ACÉTICO (ml)	REACTIVO I (ml)
0,1	0,05	0,1
0,5	0,1	0,2
1	0,2	0,4
2	0,4	0,8
3	0,6	1,2
4	0,8	1,6
5	1	2

Por último se enrasan con agua destilada hasta llegar a un volumen de 100 ml y se dejan reposar durante 20 minutos en ausencia de luz.

Finalmente se mide la absorción de color en un espectrofotómetro con una longitud de onda de 620 nm, utilizando como blanco de referencia una disolución compuesta por 1 ml de etanol (95%), 9 ml de NaOH (1 N) y 2 ml del reactivo de yodo.

4.2.1.5. Temperatura de gelatinización

Se determinó indirectamente mediante el método propuesto por Bhattacharya *et al.* (1972) para realizar el test de álcali.

Se ponen en contacto 6 granos de arroz con 10 ml de KOH (1,1%) en un vaso de precipitados de forma que se cubran los granos completamente. Se realizan los análisis visualmente tras 23 horas, cuando ya no se observan cambios. Como muestra control, se realiza el mismo ensayo pero utilizando agua destilada en vez de hidróxido potásico.

Los resultados se expresan mediante valores numéricos, teniendo en cuenta la “dispersión” y “transparencia” del grano al final de la reacción, es decir, se valora en una escala de 1 a 7 (Tabla 5) según el grano esté disgregado, haya aumentado de volumen o se haya vuelto gelatinoso o casi transparente.

Tabla 5. Escala para determinar la Tª gelatinización.

PUNTUACIÓN	DISPERSIÓN	TRANSPARENCIA
1	Sin afectar	Aspecto yesoso
2	Hinchado	Aspecto yesoso, halo polvoriento
3	Hinchado, halo incompleto	Aspecto yesoso, halo turbio
4	Hinchado, halo completo	Centro algodonoso, halo turbio
5	Fragmentado, halo completo	Centro algodonoso, halo transparente
6	Disperso (se confunde con el halo)	Centro turbio, halo transparente
7	Todos dispersos y entremezclados	Centro y halo transparentes

Para interpretar los resultados de la escala numérica y con ellos proporcionar la estimación de la temperatura de gelatinización, se siguen las siguientes categorías proporcionadas por el Instituto Nacional de Semillas de Argentina (INASE, 2003):

PUNTUACIÓN	Tª GELATINIZACIÓN	
1 – 2	Alta	> 74 °C
3 – 4	Alta-Intermedia	72 – 74 °C
5	Intermedia	70 – 72 °C
6	Baja-Intermedia	68 – 70 °C
7	Baja	< 68 °C

Los granos con valores más altos son los que presentan una menor temperatura de gelatinización, por lo que son los mejores desde este punto de vista.

4.2.2. TRATAMIENTO POR ALTA PRESIÓN

En primer lugar, se prepara la muestra para el remojo introduciendo 50 g de arroz con 100 ml de agua en una bolsa de PA/PE 20/70 manteniéndola durante 60 minutos a una temperatura de 30 °C, y así facilitar la posterior absorción de agua durante el tratamiento. 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 presión, tiempo y temperatura a aplicar.

Los tratamientos de HHP son:

- 600 MPa durante 10 minutos a 20 °C de temperatura.
- 800 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:

- 600 MPa: 200 – 400 – 600
- 800 MPa: 270 – 530 – 800

Una vez transcurrido el tiempo de tratamiento, tiene lugar la descompresión a una velocidad de 3000 MPa/min. En el anexo 2 se puede ver un esquema del proceso de presurización aplicado.

4.2.3. CARACTERÍSTICAS DE COCCIÓN

4.2.3.1. Tiempo de cocción

Se siguió el método establecido por Juliano *et al.* (1985). Se mezclan 5 gramos de arroz con 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitados de 250 ml y se coloca en un baño a maría ($98\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$). El tiempo mínimo se halla cuando, sacando unos granos y presionándolos entre dos placas, el 90% del grano no tiene centro opaco (Figura 7). El tiempo óptimo es el tiempo mínimo más dos minutos.

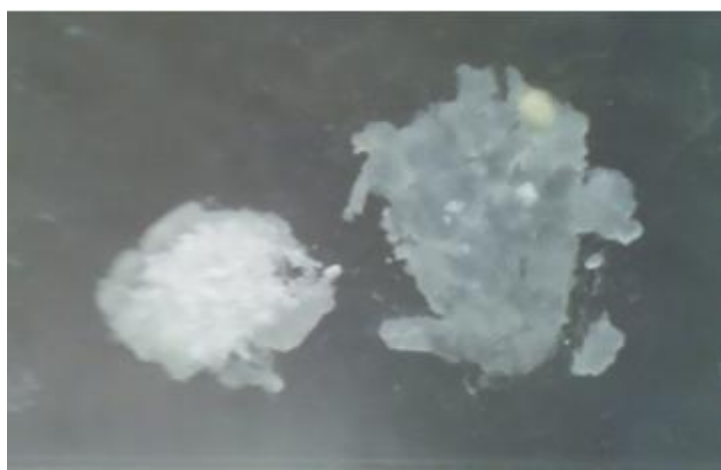


Figura 7. Ejemplo de resultado de determinación del tiempo mínimo de cocción: la imagen de la derecha representa una muestra en la que el 90% aproximadamente de los granos no presenta centro opaco.

4.2.3.2. Volumen de expansión

Se determina mediante diferencia de volumen al introducir 10 g de arroz en 30 ml de agua destilada en una probeta de 100 ml. El volumen de expansión se hallará mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Volumen aparente} = \text{Volumen arroz cocido} / \text{Volumen arroz crudo}$$

4.2.3.3. Absorción aparente de agua y pérdida de sólidos

Se aplicó el método de Juliano *et al.* (1971), en el cual, se mezclan 10 g de arroz con 50 ml de agua destilada en un vaso de precipitados de 100 ml, y se colocan en un

baño maría (durante el tiempo óptimo). Tras la cocción se pasa la muestra por un tamiz y se pesan, expresando el resultado en (g/g).

$$\text{Absorción aparente de agua} = \text{Peso arroz cocido} / \text{Peso arroz crudo}$$

Una vez cocido el arroz, se escurre y el agua se pesa en un erlenmeyer. Se coloca en una estufa a 105 °C durante 24 horas, después se enfría en un desecador y se pesa (método basado en IRRI, 1979).

La diferencia de peso del erlenmeyer antes y después del secado en la estufa entre el peso de la muestra de arroz será definida como la pérdida de sólidos (%).

4.2.3.4. Dimensiones del grano

Se determina de igual forma que en el apartado 4.2.1.2.

4.2.4. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE GELATINIZACIÓN

4.2.4.1. Método colorimétrico

Se ha seguido el método propuesto por Birch y Priestley (1973), basado en la formación del complejo amilosa-yodo. Se colocan 0,2 g de harina de arroz, 98 ml de agua destilada y 2 ml de KOH 10 M en un matraz de 250 ml. Se agita durante 5 minutos y se centrifuga a 3.500 rpm/15 min. En un tubo de ensayo se coloca 1 ml del sobrenadante, 0,4 ml de HCl 0,5 M y se llevan a 10 ml con agua destilada. Se le añade 0,1 ml de reactivo de yodo (1 g I + 4 g IK en 100 ml), se mezcla y se determina la absorbancia a 600 nm (Absorbancia A).

El procedimiento se repite, pero en este caso se añaden 95 ml de agua destilada y 5ml de KOH 10 M en un matraz de 250 ml para asegurar la solubilización completa de toda la amilosa presente en la muestra, y el mililitro de sobrenadante se neutraliza con 1 ml de HCl 0,5 M. Después de añadir 0,1 ml del reactivo de yodo, se mide la absorbancia a 600 nm (Absorbancia B).

El blanco de referencia se prepara con 10 ml de agua destilada y 0,1 ml del reactivo de yodo.

El porcentaje de gelatinización se expresa como la relación entre las absorbancias A y B.

$$\text{Gelatinización (\%)} = \frac{\text{Absorbancia A}}{\text{Absorbancia B}} \times 100$$

Se realiza el ensayo por triplicado.

4.2.4.1. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

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:

$$\text{Gelatinización (\%)} = 100 - A_t$$

Siendo A_t el porcentaje de muestra no gelatinizada, que se obtiene por comparación del cambio de entalpía (ΔH) del arroz tratado con respecto al del arroz sin tratar (muestra control):

$$A_t = \text{Almidón no gelatinizado (\%)} = (\Delta H_{\text{muestra}} / \Delta H_{\text{control}}) \times 100$$

4.2.5. ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE TEXTURA

Se utiliza el analizador de textura TA-XT.Plus con la sonda P/75 (Figura 8) que tiene una superficie circular de 4.417 mm^2 . Aplicando el método descrito por Lyon *et al.* (1999), se toman 2 g de la muestra y se distribuyen de forma que no se solapen los granos de arroz formando una capa simple sobre la base de muestreo. Como se indica en la figura 9, se realiza una compresión de doble ciclo, con un émbolo que presiona la muestra realizando un recorrido de 3,6 mm hasta situarse a 0,4 mm de la base con una velocidad de 1 mm/s.



Figura 8. Texturómetro TA-XT.Plus.

Se realizan entre seis y diez análisis por muestra y se grafican los resultados fuerza vs tiempo, obteniéndose dos curvas por muestra y a partir de ellas se obtienen los atributos de textura (Figura 9):

- *TA-dureza* (altura del pico de la primera curva: máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión).
- *TA-adhesividad* (área bajo la curva de fuerza de cualquier pico negativo de compresión: fuerza negativa que representa el trabajo para separar el émbolo de la muestra).
- *TA-cohesividad* (relación entre el área bajo la curva de fuerza de la 2ª compresión y la de la 1ª compresión: A2da compresión/A1ra compresión).
- *TA-elasticidad* (altura que recupera la muestra durante el tiempo entre el final del primer golpe y el principio del segundo).
- *TA-gomosidad* (el producto de la dureza y la cohesividad)
- *TA-masticabilidad* (el producto de la elasticidad y la gomosidad).

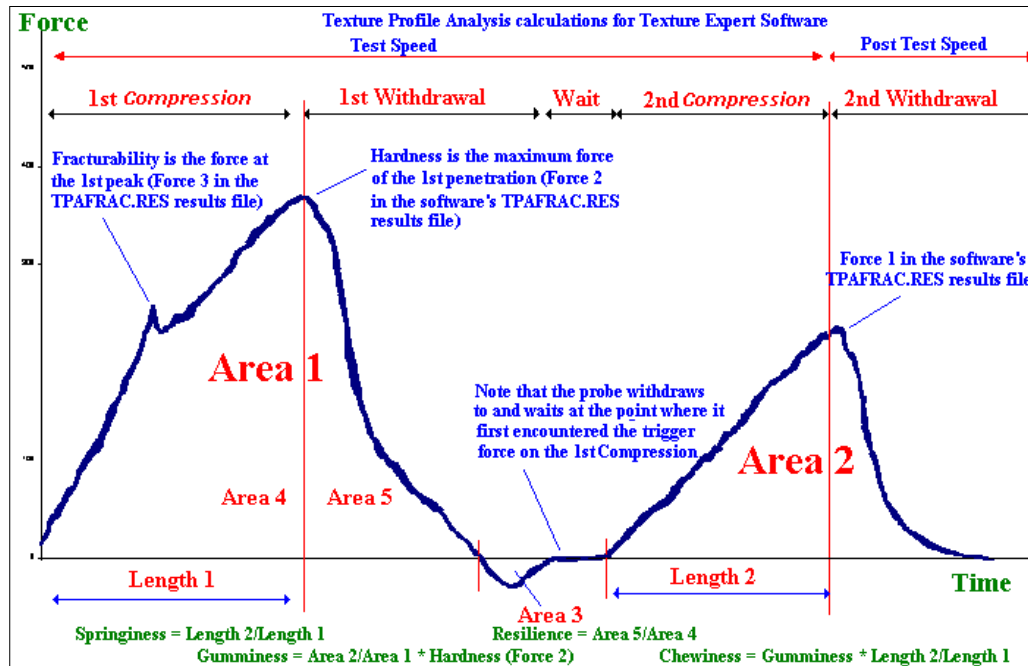


Figura 9. Esquema del ensayo de textura TPA.

4.2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos se evalúan mediante medidas de tendencia central y dispersión, así como con análisis de la varianza que consisten 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 programa estadístico Statgraphics Centurión XVI.I (Statcal Graphics Corporation, Rockville, MD).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ESTUDIOS PRELIMINARES: CARACTERIZACIÓN DEL GRANO CRUDO Y TIEMPO DE REMOJO

5.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL GRANO CRUDO

En la tabla 6 se encuentran recogidos todos los resultados obtenidos para la caracterización del grano crudo, habiendo realizado previamente un análisis de la varianza para comprobar si existen diferencias significativas, a un nivel de confianza del 95%, entre variedades para cada parámetro estudiado.

Tabla 6. Caracterización del grano crudo. Análisis de la varianza (media \pm SD).

Variedad	Amilosa (%)	Humedad (%)	Largo/Ancho	Temperatura Gelatinización	Tiempo de cocción (min)
MARATELLI	27,53 \pm 0,17 ^b	11,75 \pm 0,52 ^a	2,95 \pm 0,22 ^b	Intermedia (70 – 72 °C)	18
GUADIAMAR	22,63 \pm 0,18 ^a	12,64 \pm 0,08 ^b	3,12 \pm 0,16 ^b	Alta (> 74 °C)	20
BOMBA	28,02 \pm 0,06 ^c	11,92 \pm 0,21 ^a	2,42 \pm 0,09 ^a	Alta-Intermedia (72 – 74 °C)	16

Letras diferentes en la misma columna indican que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades para el parámetro analizado.

Según Tuaño *et al.* (2011), el contenido en amilosa es el parámetro que más influye en la textura del arroz cocido, y a medida que el porcentaje aumenta, se favorece la retrogradación del almidón, lo cual supone que haya una menor retención de caldo en el grano dando lugar a la pérdida de sabores y aromas.

La clasificación del arroz en función del contenido en amilosa se divide en cuatro grupos: céreo (0-2%), bajo (12-18%), intermedio (18-25%) y alto (> 25%). De esta forma, la variedad Guadiamar tendría un contenido intermedio y Maratelli y Bomba un contenido alto (Pérez y Juliano, 1978).

Los resultados de este estudio son ligeramente superiores a los valores determinados por Gazólaz (2009) para estas variedades.

Las diferencias encontradas entre los presentes resultados y los de estudios previos pueden deberse, además de a la variabilidad entre cosechas, lotes y zonas de producción, a que se utilizaron diferentes métodos de determinación de amilosa. En este caso, se ha empleado una variante del método propuesto por Juliano *et al.* (1971).

En cuanto al contenido en humedad, el rango comercial permitido se encuentra entre un 10 y un 14%. Por otro lado, la reglamentación española (BOE, 1980) indica que el nivel máximo permitido para garantizar la calidad es del 15%. En este caso, los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de calidad permitido, no habiendo diferencias entre las variedades Maratelli y Bomba, ya que ambos tienen un contenido cercano al 11%. Sin embargo, la variedad Guadamar presenta un contenido diferente a los anteriores, con un porcentaje de humedad superior (12,64%).

El arroz se puede clasificar por tamaño y forma según el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI, Filipinas) teniendo en cuenta la relación largo/ancho. De esta manera, se puede ver que la variedad Bomba pertenece al grupo de grano medio, con un valor de $2,42 \pm 0,09$. En cambio, Maratelli y Guadamar se podrían considerar granos largos con un valor de $2,95 \pm 0,22$ y $3,12 \pm 0,16$ respectivamente, no observándose diferencias significativas entre ambos en este parámetro. Ambas variedades están en el límite para considerarse granos medios, sobre todo Maratelli, lo cual encaja con las especificaciones aportadas por la empresa suministradora de las muestras (Arrocera del Pirineo), en las que Maratelli está considerado como grano medio y Guadamar como semilargo.

El siguiente parámetro estudiado para caracterizar el grano crudo es la temperatura de gelatinización mediante el Test de Alkali. Gracias a la escala establecida por el Instituto Nacional de Semillas de Argentina (INASE, 2003), se ha podido identificar la temperatura para cada variedad, la cual está considerada como un importante índice de calidad, ya que una menor temperatura de gelatinización está asociada con una reducción concomitante del tiempo de cocción (Bocevska, 2009). Por su parte, Pérez *et al.* (1978) apuntan que una menor temperatura de gelatinización está asociada a variedades de arroz con un porcentaje alto de amilosa y que a su vez, poseen una mayor dureza en su textura. Se puede ver como la menor temperatura la

posee el arroz Maratelli (70 – 72 °C), seguido por la variedad Bomba (72 – 74 °C) y destacando Guadamar por tener la mayor temperatura de gelatinización con un valor superior a los 74 °C. Estos resultados se encuentran dentro de lo esperado, ya que Maratelli y Bomba son las que mayor amilosa contienen, y por lo tanto, han dado lugar a la menor temperatura de gelatinización.

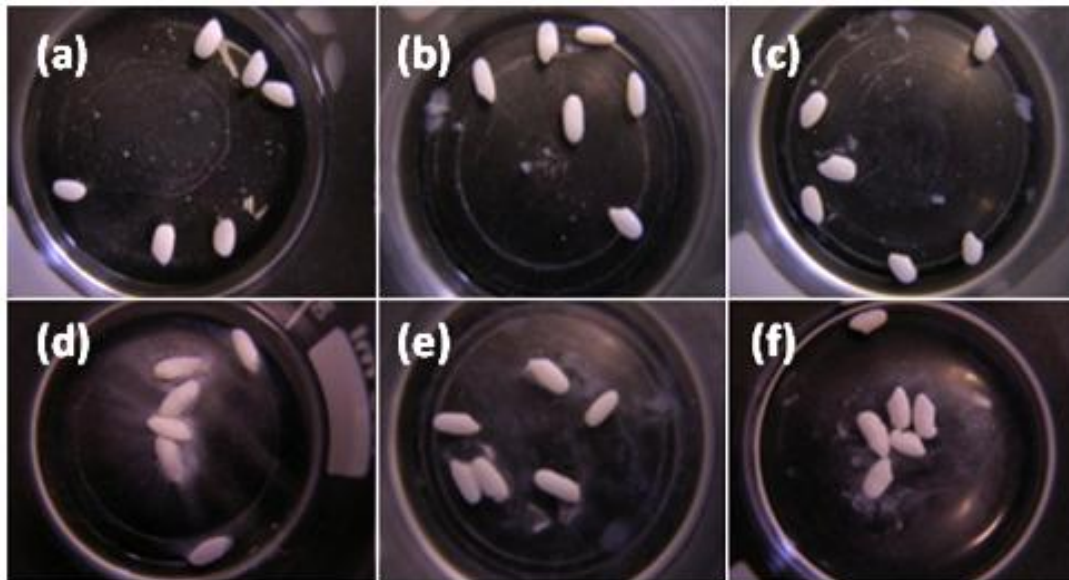


Figura 10. Variedades de arroz en el transcurso del test de álcali (a) Control Maratelli, (b) Control Guadamar, (c) Control Bomba, (d) Maratelli 2, (e) Guadamar 2, (f) Bomba 1.

En la figura 10 se pueden observar los resultados. Las tres imágenes superiores corresponden a los controles, sumergidos en agua destilada, y las tres inferiores corresponden a las muestras propiamente dichas. En ellas se puede ver como alrededor de los granos existe un halo blanquecino, en comparación con los controles, debido a la degradación del núcleo, según el cual se le da un valor u otro en la escala de temperatura de gelatinización. La imagen (d) posee un valor de dispersión de 6 puntos y 4 de transparencia, la (e) 2 y 1, y por último, la imagen (f) 3 y 4 puntos de dispersión y transparencia respectivamente.

Por último, se ha determinado el tiempo óptimo de cocción para cada variedad. En la tabla 6 se observa que para Maratelli el tiempo obtenido es de 18 minutos, para Guadamar 20 minutos y finalmente, para Bomba 16 minutos. Vidal *et al.* (2007) señalan que la normalización de la cocción es un requisito previo para la evaluación de

la textura del arroz cocido. El punto final de la cocción, sin embargo, varía ampliamente en la literatura y además, el arroz con alto contenido en proteínas y amilosa también parece que necesita más tiempo para cocinarse.

Por otra parte, también se puede relacionar el tiempo de cocción con la temperatura de gelatinización, y se puede ver como la variedad que posee mayor temperatura de gelatinización, necesita más tiempo para cocerse y viceversa.

5.1.2. TIEMPO DE REMOJO

Se determina este parámetro como una etapa previa al tratamiento del grano de arroz por APH.

Tal y como señalan Priestley *et al.* (1975), la ventaja que ofrece establecer esta etapa es que existe una relación directa entre la cantidad de agua absorbida con el grado de gelatinización alcanzado en el arroz de cocción rápida. De esta forma, recomiendan un tiempo de remojo de 30 a 60 minutos para llegar a contenidos de agua de un 25 a 35%.

Por otra parte, Khatoon *et al.* (2006) señalan que realizar el remojo a temperatura ambiente durante 15 minutos, reduce en un 50% el tiempo de cocción del arroz crudo en comparación con los no remojados.

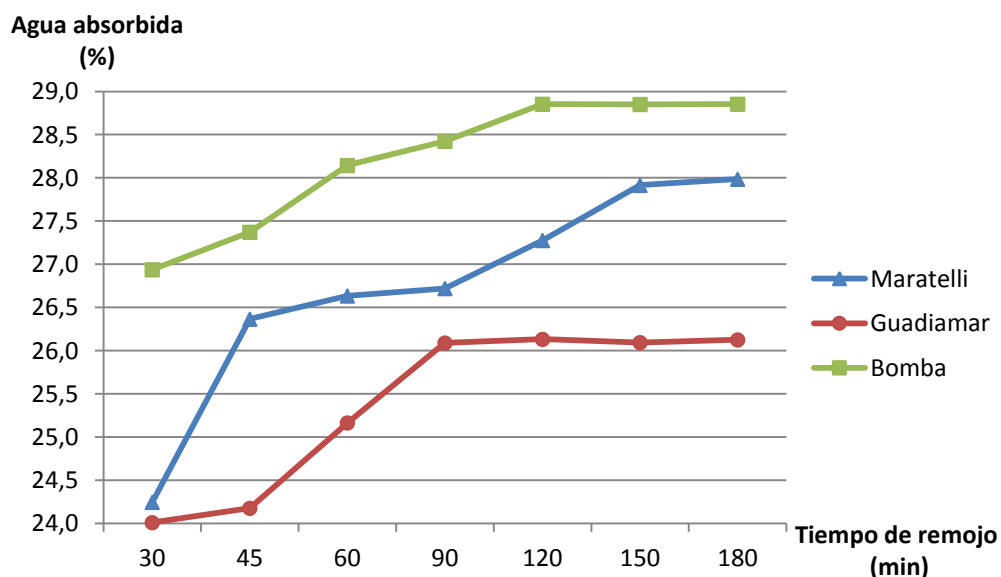


Figura 11. Curvas de absorción de agua por variedades (%).

Los resultados obtenidos en el estudio se muestran en la figura 11. La variedad Bomba es la que más cantidad de agua absorbe, a continuación el arroz Nuevo Maratelli y por último el arroz Guadiamar, con unos valores máximos de $28,85 \pm 0,21\%$, $27,98 \pm 0,12\%$ y $25,16 \pm 0,11\%$ respectivamente.

A partir de los 30 minutos de remojo, la absorción de agua es muy rápida hasta que alcanza el equilibrio a partir de la hora y media.

En este caso, el tiempo elegido para realizar un remojo previo al tratamiento por alta presión hidrostática es de 60 minutos.

5.2. EFECTO DE LA APH SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE COCCIÓN

5.2.1. ARROZ TRATADO POR APH

En este apartado se va a explicar la influencia que tiene la aplicación de APH a dos niveles diferentes de presión sobre las características de cocción del arroz, entre las cuales se encuentran el tiempo de cocción, la absorción aparente de agua, el volumen de expansión y las dimensiones del grano. Los resultados se pueden observar en la tabla 7, y en el anexo 4.1. los resultados del análisis ANOVA.

Tabla 7. Características de cocción del grano tratado por APH. Análisis de la varianza (media \pm SD).

MUESTRA	Tiempo de cocción (min)	Largo/Ancho	Volumen Expansión	Absorción agua (g/g)
M₀	18 \pm 0 ^{aB}	2,79 \pm 0,22 ^{bA}	1,06 \pm 0,01 ^{aB}	2,27 \pm 0,02 ^{aB}
M-600	11,5 \pm 0,7 ^{aA}	2,82 \pm 0,11 ^{bA}	1,02 \pm 0,01 ^{aA}	1,17 \pm 0,00 ^{aA}
M-800	11 \pm 0 ^{aA}	3,11 \pm 0,02 ^{bA}	1,01 \pm 0,02 ^{aA}	1,78 \pm 0,02 ^{aA}
G₀	20 \pm 0 ^{aB}	3,18 \pm 0,17 ^{cA}	1,09 \pm 0,02 ^{aB}	2,21 \pm 0,03 ^{aB}
G-600	11 \pm 0 ^{aA}	3,23 \pm 0,03 ^{cA}	1,01 \pm 0,02 ^{aA}	1,65 \pm 0,21 ^{aA}
G-800	11 \pm 0 ^{aA}	2,96 \pm 0,04 ^{cA}	1,01 \pm 0,02 ^{aA}	1,66 \pm 0,19 ^{aA}
B₀	16 \pm 0 ^{aB}	2,38 \pm 0,09 ^{aA}	1,12 \pm 0,02 ^{aB}	2,30 \pm 0,04 ^{aB}
B-600	11 \pm 0 ^{aA}	2,52 \pm 0,16 ^{aA}	1,03 \pm 0,00 ^{aA}	1,73 \pm 0,01 ^{aA}
B-800	10 \pm 0 ^{aA}	2,48 \pm 0,10 ^{aA}	1,03 \pm 0,00 ^{aA}	1,94 \pm 0,05 ^{aA}

^a Letras diferentes en una misma columna indican que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras para cada parámetro analizado.

^{aB} Letras minúsculas indican diferencias entre variedades y mayúsculas entre tratamientos.

M₀, G₀ y B₀ corresponden a los controles de la variedad Maratelli, Guadamar y Bomba respectivamente. 600 y 800 indican el nivel de presión aplicado en MPa.

En primer lugar, se ha determinado el tiempo de cocción para las tres variedades estudiadas y a los diferentes niveles de presión. Se ha comprobado que el tiempo necesario para cocer el arroz presurizado disminuye significativamente con respecto al arroz cocinado de forma tradicional. Maratelli pasa de necesitar 18 minutos a solamente 11, Guadamar de 20 a 11 y Bomba de 16 a 10,5 minutos. Cabe resaltar que no se han encontrado diferencias entre los dos tratamientos aplicados de APH a 600 MPa y 800 MPa, y tampoco entre las tres variedades estudiadas.

Respecto al cambio de dimensiones que experimenta el grano, se pueden observar diferencias entre variedades, siendo Bomba la que menos se expande, a continuación Maratelli y por último Guadiamar, la cual es la que más aumenta su tamaño. En lo referente al tratamiento aplicado, no se aprecian diferencias entre las muestras control y las presurizadas, lo cual significa que estas últimas, ya poseen el tamaño del arroz cocido tradicionalmente, por lo que es posible aventurar que al terminar la cocción, su valor aumente.

Por otro lado se ha investigado el volumen de expansión de los tres tipos de arroz, y se puede ver en la tabla 7, cómo la variedad no implica la obtención de resultados diferentes, por lo tanto, no es un efecto que influya de forma significativa. Cabe señalar que el hecho de presurizar el arroz da lugar a valores inferiores con respecto a las muestras cocinadas de forma tradicional, y se puede pensar que es debido a que durante el tratamiento por APH, el arroz se encuentra menos tiempo en contacto con el agua que el arroz cocido y además, ésta se encuentra a 20 °C, no a 98°C, por lo que se puede atribuir a esta situación los resultados definidos.

Finalmente, se ha determinado la absorción aparente de agua. Se puede observar que, al igual que para el volumen de expansión, la variedad no influye significativamente y que también, el tratamiento por presión da lugar a valores inferiores que en las muestras control. De la misma forma, los resultados muestran que el arroz no está totalmente cocinado y que necesita más tiempo en contacto con el agua para alcanzar valores similares al control.

5.2.2. ARROZ TRATADO POR APH CON COCCIÓN FINAL

Tras haber aplicado el tratamiento por APH a las muestras de arroz, se ha completado su cocción de forma tradicional. Entre los parámetros estudiados se encuentran los siguientes: dimensiones del grano, volumen de expansión, absorción de agua y pérdida de sólidos, los cuales quedan recogidos en la tabla 8.

Tabla 8. Características de cocción del grano presurizado y cocido. Análisis de la varianza (media \pm SD).

MUESTRA	Largo/Ancho	Volumen Expansión	Absorción agua (g/g)	Pérdida sólidos (%)
M₀	2,79 \pm 0,22 ^{bA}	1,06 \pm 0,01 ^{aB}	2,27 \pm 0,02 ^{aA}	1,10 \pm 0,03 ^{aA}
M-600	3,28 \pm 0,27 ^{bB}	1,01 \pm 0,02 ^{aA}	3,07 \pm 0,24 ^{aB}	2,77 \pm 0,01 ^{aB}
M-800	3,45 \pm 0,18 ^{bB}	1,01 \pm 0,02 ^{aA}	3,13 \pm 0,02 ^{aB}	2,79 \pm 0,01 ^{aC}
G₀	3,18 \pm 0,17 ^{bA}	1,09 \pm 0,02 ^{abB}	2,21 \pm 0,03 ^{aA}	1,05 \pm 0,02 ^{aA}
G-600	3,56 \pm 0,06 ^{bB}	1,04 \pm 0,02 ^{abA}	3,05 \pm 0,09 ^{aB}	2,44 \pm 0,14 ^{aB}
G-800	3,10 \pm 0,14 ^{bB}	1,03 \pm 0,01 ^{abA}	3,06 \pm 0,03 ^{aB}	2,63 \pm 0,09 ^{aC}
B₀	2,38 \pm 0,09 ^{aA}	1,12 \pm 0,02 ^{bB}	2,30 \pm 0,04 ^{aA}	1,03 \pm 0,04 ^{aA}
B-600	2,96 \pm 0,05 ^{aB}	1,07 \pm 0,02 ^{bA}	3,13 \pm 0,02 ^{aB}	2,62 \pm 0,02 ^{aB}
B-800	2,85 \pm 0,13 ^{aB}	1,06 \pm 0,03 ^{bA}	3,23 \pm 0,07 ^{aB}	2,74 \pm 0,10 ^{aC}

^a Letras diferentes en una misma columna indican que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras para cada parámetro analizado.

^{aB} Letras minúsculas indican diferencias entre variedades y mayúsculas entre tratamientos.

M₀, G₀ y B₀ corresponden a los controles de la variedad Maratelli, Guadiamar y Bomba respectivamente. 600 y 800 indican el nivel de presión aplicado en MPa.

Tras haber realizado un análisis de varianza de varios factores (Anexo 4.2) para las dimensiones del grano, se puede determinar que el factor tratamiento tiene un efecto significativo, y aunque el nivel de presión no haga variar el resultado, las muestras presurizadas superan en tamaño al control cocido. En el apartado anterior ya se podía observar este hecho, por lo que el valor de la relación largo/ancho del grano tratado por APH y cocido supera al del grano tratado térmicamente. Por otro lado, la variedad también afecta significativamente, y al elaborar una prueba de múltiples rangos se ha podido comprobar que Guadiamar y Maratelli son iguales y que difieren de Bomba, empleando el procedimiento para discriminar entre las medias de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

El siguiente parámetro de calidad culinaria estudiado ha sido el volumen de expansión. Tras el análisis estadístico se ha comprobado que el tratamiento por APH influye significativamente, dando lugar a valores inferiores al control, por lo que no se ha podido alcanzar un resultado comparable al arroz cocinado tradicionalmente al terminar la cocción. Por otro lado, la variedad de arroz también da lugar a diferencias y en la tabla 8, se puede ver que entre las tres variedades estudiadas Maratelli es la que menos se expande y Bomba es la que presenta el mayor valor; Guadiamar muestra un resultado intermedio, comparable a las dos variedades anteriores.

En cuanto a la absorción aparente de agua hay que destacar que la variedad del arroz no influye significativamente. Por otro lado, si se han encontrado diferencias entre las muestras control y las presurizadas, siendo estas últimas las que presentan una mayor capacidad de absorber agua. En el apartado anterior ya se observaba un aumento en la absorción de agua, por lo que al terminar la cocción, este valor ha aumentado de forma notable. 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 y más condimentado si así se desea, lo que puede interesar a determinados sectores de población, como son la tercera edad y los niños pequeños (Muthukumarappan *et al.*, 1992).

Todas las muestras tratadas por APH analizadas dan valores entre 3,05 y 3,23 g/g, valores superiores a los obtenidos en el estudio de Gazólaz (2009), en el que los valores de la absorción de agua en arroz cocido para Maratelli (integral) obtenía un 2,04 g/g, para Guadiamar (integral) 2,05 g/g y para Bomba (blanco) 2,31 g/g. Por otro lado, en el proyecto de Pérez-Urtasun (2012) se vio cómo para la variedad Maratelli, la absorción aparente de agua para el arroz tratado a 400 MPa era de 2,47 g/g, y para el tratado a 600 MPa de 2,39 g/g, por lo que nuevamente los resultados del presente estudio son más altos. Cabe pensar que es debido a las diferentes condiciones de trabajo, ya que en éste se aplicó la presión a temperatura ambiente y en el de Pérez-Urtasun (2012) a 40 °C, por lo que puede darse algún tipo de cambio estructural que impida la absorción de agua.

En lo relativo a la pérdida de sólidos es importante mencionar que la variedad no tiene un efecto significativo sobre las muestras. Por otra parte, el hecho de aplicar mayor presión hace que aumente la pérdida de sólidos, de esta forma a 600 MPa hay menos pérdida que a 800 MPa en todos los casos, y su vez, las muestras presurizadas sufren mayor pérdida que las cocinadas. Al comparar los resultados con los de Pérez-Urtasun (2012) se han obtenido valores más bajos, ya que para Maratelli, él definía una pérdida de sólidos de entre un 5 y un 7%. Se puede pensar que la diferencia en los resultados se deba a la temperatura de proceso, ya que él presurizaba el arroz a 40 °C, y en este estudio se ha trabajado a temperatura ambiente.

Es factible creer que esta situación haga que la calidad nutricional se vea desfavorecida al recibir tratamientos por presión, ya que hay menor retención de nutrientes del arroz. En cambio, si el plato a preparar se trata de un arroz caldoso, puede ser beneficioso, ya que la totalidad de nutrientes se va a ingerir y además puede aportar consistencia al caldo.

Al observar el conjunto de resultados de manera global, indican que los tratamientos de APH aplicados eliminan las diferencias observadas en los tiempos de cocción del grano crudo entre las variedades ensayadas.

5.3. EFECTO DE LA APH SOBRE LA GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN

En los estudios que se ocupan del desarrollo de productos de arroz de cocción rápida, se hace necesario evaluar el proceso que siguen los granos de arroz por los cambios que tendrán lugar durante la cocción. Debido a que el almidón constituye el componente principal del arroz, la gelatinización es una elección obvia como índice del proceso de cocción (Birch y Priestley, 1973).

Durante la cocción del arroz, la gelatinización del almidón se corresponde con un mecanismo combinado de fusión del polímero semicristalino, por una solubilización de la amilosa y por un hinchamiento irreversible de los gránulos. La gelatinización se produce en un intervalo de temperaturas de entre 55 y 80 °C acompañado de un contenido de agua suficiente en función de la variedad de arroz. Se ha demostrado que para que comience a gelatinizar el almidón es necesario aplicar una presión mínima de 300 MPa y se consiguen niveles de gelatinización completa con presiones por encima de los 500-600 MPa (Huang, 2009).

Los resultados obtenidos en el presente estudio mediante el método colorimétrico de Birch y Priestley (1973), se pueden observar en la figura 12. En ella están representadas las tres variedades de arroz tratadas a los diferentes niveles de presión.

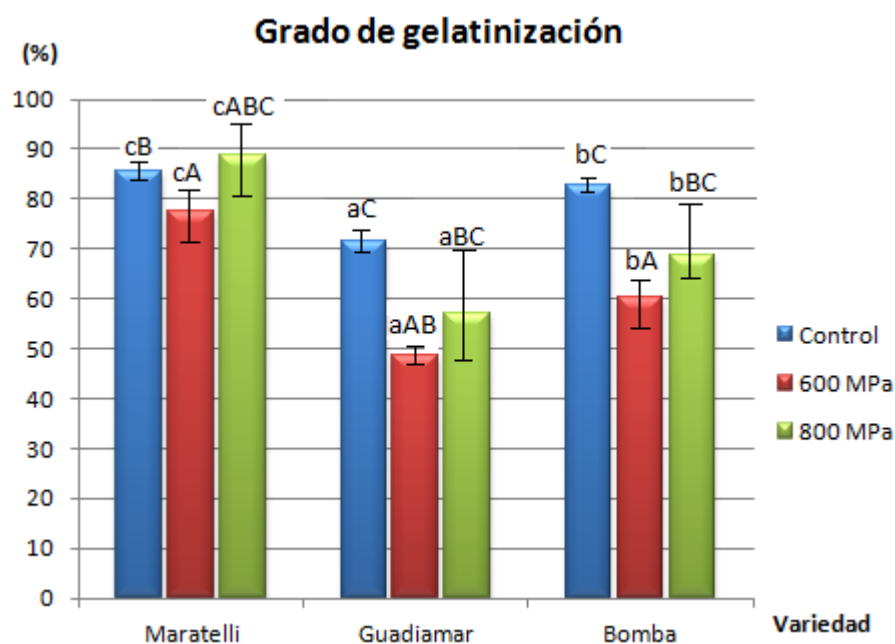


Figura 12. Grado de gelatinización según tratamiento de APH aplicado. Análisis de la varianza. Letras diferentes indican que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras, minúsculas corresponden a la variedad y mayúsculas al tratamiento.

Tras haber realizado un análisis de la varianza para comprobar si la variedad y el nivel de presión aplicado influyen en el grado de gelatinización conseguido, se puede determinar que existen diferencias significativas. El hecho de pertenecer a una variedad u otra, hace que los resultados varíen. De esta forma, Guadiamar ha sido el que se ha gelatinizado en menor grado, a continuación Bomba y por último, la variedad Maratelli ha alcanzado el mayor grado de gelatinización. Se observa que entre las variedades de grano más largo, la que presenta menor contenido de amilosa y mayor temperatura de gelatinización (Guadiamar) obtiene un menor grado de gelatinización. La variedad Bomba, aunque con un porcentaje de amilosa alto (similar a Maratelli), muestra un menor grado de gelatinización por APH, lo que podría estar relacionado con su mayor rango de temperatura de gelatinización.

Por otro lado, al aplicar mayor nivel de presión también se ha conseguido un resultado significativamente mayor en el grado de gelatinización. Así pues, al tratar el arroz con 800 MPa de presión se consigue un grado de gelatinización ligeramente mayor que con 600 MPa en todas las variedades, mostrando un comportamiento similar al observado en las muestras control.

Estudios anteriores, como los de Bauer *et al.* (2005) y Buckow *et al.* (2007), demostraron que la gelatinización de almidones comenzó a 300 MPa y se completó por encima de 500 MPa. En este caso no se ha conseguido una gelatinización completa en ninguno de los casos, aun siendo Maratelli la variedad que más se ha gelatinizado (88,7%), es incluso superior al conseguido por tratamiento térmico (muestra control).

Para completar los resultados, también se realizó la determinación del grado de gelatinización mediante la metodología DSC (Differential Scanning Calorimetry) para las muestras siguientes: Maratelli – Control cocido, tratado por alta presión a 600 y 800 MPa, y tratado por presión a 800 MPa con cocción final; Guadiamar – tratado por APH a 800 MPa; Bomba – tratado por APH a 800 MPa. De esta forma se pretende comparar los datos obtenidos para comprobar si el método de análisis influye en el resultado final. Los resultados del estudio se encuentran en la tabla 9. Se puede observar claramente cómo los resultados obtenidos mediante DSC son más bajos que por el método colorimétrico de Birch y Priestley (1973). Tras realizar un análisis de

varianza de un factor para comprobar si realmente hay diferencias significativas entre los métodos, se ha comprobado que existen tales diferencias entre la media del grado de gelatinización hallado por un método y otro, con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 9. Grado de gelatinización según el método aplicado. Análisis de la varianza (media \pm SD).

Variedad	Tratamiento	Grado de Gelatinización (%)	
		Colorimetría	DSC
MARATELLI	Control cocido	85,71 \pm 1,18 ^b	75,12 \pm 3,80 ^a
	600 MPa	77,60 \pm 4,22 ^b	43,72 \pm 2,99 ^a
	800 MPa	88,76 \pm 3,83 ^b	56,58 \pm 3,75 ^a
	800 MPa + TT	87,75 \pm 0,09 ^b	80,44 \pm 17,18 ^a
GUADIAMAR	Control cocido	71,53 \pm 1,00	N.A
	600 MPa	48,63 \pm 0,98	N.A
	800 MPa	57,18 \pm 5,61 ^b	43,31 \pm 3,07 ^a
BOMBA	Control cocido	82,82 \pm 0,56	N.A
	600 MPa	60,22 \pm 4,25	N.A
	800 MPa	68,71 \pm 1,85 ^b	63,94 \pm 2,64 ^a

Letras diferentes en una misma fila indican que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre cada método empleado. (N.A.: No analizado).

El estudio realizado por Baks *et al.* (2007) realiza una comparación de métodos para determinar el grado de gelatinización, entre los que están el DSC, por rayos X, método basado en birrefringencia y por último, mediante la formación del complejo amilosa-yodo (adaptación al método de Birch y Priestley, 1973). Estos autores señalan que a bajas concentraciones de almidón (mezcla almidón/agua 10% w/w), el resultado es similar con todos los métodos, pero a altas concentraciones (mezcla almidón/agua 60% w/w) cambian. La medición del grado de gelatinización mediante birrefringencia conduce a una estimación alta, mientras que la medición por DSC proporciona una estimación más baja. Los métodos que emplean para la determinación del grado de gelatinización la formación del complejo amilosa-yodo y rayos X proporcionan valores que están en entre los obtenidos con las mediciones de birrefringencia y DSC, por lo que los resultados del presente estudio, concuerdan con lo establecido en éste último trabajo de investigación.

5.4. EFECTO DE LA APH Y LA VARIEDAD SOBRE LA CALIDAD DEL GRANO COCIDO

Este último apartado está centrado en el análisis de textura instrumental realizado a las muestras de las tres variedades de arroz seleccionadas. Se ha comparado el arroz cocido de forma convencional con el tratado por APH y finalmente cocinado. Para ello se realizó un ensayo conocido como TPA, el cual describe seis parámetros imprescindibles para determinar la calidad de cocción del arroz. Tal y como se ha visto anteriormente, los parámetros analizados son: dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad.

La tabla 10 muestra los resultados del análisis de la varianza para las tres variedades y el tratamiento de APH aplicado y el anexo 4.3. recoge las tablas de los ANOVAS realizados por el programa estadístico Statgraphics Centurión XVI.I.

En primer lugar se ha analizado la dureza, para la cual no se han encontrado diferencias significativas entre el control y las muestras tratadas por presión. Por otro lado, la variedad sí afecta en el resultado, y se ha visto que la variedad Guadamar es la más blanda y Maratelli la más dura. Es posible que pueda estar relacionado con el tiempo de cocción, ya que a medida que el arroz necesita más tiempo para cocerse, la dureza disminuye. Por su parte Ayabe *et al.*, (2009) señalaron que las variedades de arroz con alto contenido en amilosa, presentan mayor dureza que las de bajo contenido, lo cual encaja con los resultados obtenidos en este estudio.

En segundo lugar, se ha evaluado la adhesividad. Las muestras tratadas a 800 MPa presentan mayor adhesividad que el control y las muestras presurizadas a 600 MPa, excepto en la variedad Maratelli, en la que las muestras tratadas no alcanzan el valor de la muestra control. Se puede pensar que al ser un tratamiento de APH más intenso, provoque cambios estructurales que den lugar a estas variaciones. Por otro lado, las tres variedades son diferentes entre sí, siendo Guadamar la menos adhesiva, a continuación Bomba y por último Maratelli, por lo que se puede afirmar que a mayor temperatura de gelatinización, menor adhesividad.

El siguiente parámetro estudiado es la elasticidad, la cual aumenta al aumentar la presión, dando lugar a un resultado similar entre las muestras control y las tratadas a 800 MPa. Por otro lado, se muestra un resultado estadísticamente diferente entre el control y las tratadas a 600 MPa. Entre las tres variedades, Guadiamar es la menos elástica, y Maratelli y Bomba presentan un valor similar, lo cual se puede relacionar con la humedad, ya que a mayor humedad, menor elasticidad.

En cuanto a la cohesividad, el resultado de las muestras presurizadas a 600 MPa y las tratadas térmicamente, muestran resultados similares. Por otro lado, entre las muestras control y las tratadas a 800 MPa existen diferencias significativas, por lo que un mayor nivel de presión afecta a este parámetro. Además, las variedades también son diferentes entre sí, y se puede ver como Guadiamar presenta el menor valor, y que Maratelli y Bomba son similares.

A continuación se ha determinado la gomosidad, la cual se obtiene indirectamente al multiplicar el parámetro de dureza por el de cohesividad. Por otro lado, la cohesividad está relacionada con la proporción de absorción de agua. Por tanto, teniendo en cuenta estas premisas, la gomosidad se relaciona con el valor de la presión de esfuerzo cortante y con la humedad del arroz. Así, a mayor dureza y menor humedad más gomoso se mostrara el arroz, mientras que lo contrario sería característico de un arroz más harinoso. En este caso, el comportamiento es homogéneo en los tres cultivares, por lo que el tratamiento de APH mantiene el valor original de este atributo de textura. Por otro lado, el factor variedad da lugar a resultados diferentes, y se puede observar como Guadiamar posee la menor gomosidad, a continuación Bomba y por último, el arroz tipo Maratelli.

Finalmente se ha evaluado la masticabilidad, la cual está relacionada con la gomosidad, por lo que los resultados son acordes a esta relación. Así es que no se han encontrado diferencias significativas entre la muestra control y las tratadas por APH. En cambio, entre variedades sí se pueden observar diferencias, siendo Guadiamar la que menor valor presenta, a continuación Bomba y por último Maratelli.

Tabla 10. Efecto del tratamiento por APH y de la variedad sobre los parámetros de textura. Análisis de la varianza (media \pm SD).

VARIEDAD	TRATAMIENTO		DUREZA (g)	ADHESIVIDAD (g.seg)	ELASTICIDAD	COHESIVIDAD	GOMOSIDAD (g)	MASTICABILIDAD (g)
MARATELLI	CONTROL	\bar{x}	31894,60 ^{CA}	370,67 ^{CB}	0,84 ^{bB}	0,75 ^{bB}	24203,00 ^{CA}	21019,32 ^{CA}
		S.D	5239,71	93,24	0,08	0,13	8012,42	9154,90
	600 MPa	\bar{x}	31194,52 ^{CA}	191,96 ^{CA}	0,72 ^{bA}	0,65 ^{bAB}	19407,26 ^{CA}	13526,32 ^{CA}
		S.D	5167,33	8,28	0,04	0,05	3165,23	3698,72
	800 MPa	\bar{x}	33346,30 ^{CA}	235,16 ^{CAB}	0,71 ^{bAB}	0,61 ^{bA}	20502,56 ^{CA}	14676,64 ^{CA}
		S.D	86,30	25,47	0,00	0,00	197,16	131,40
GUADIAMAR	CONTROL	\bar{x}	14873,08 ^{aA}	531,44 ^{aAB}	0,65 ^{aB}	0,58 ^{aB}	8975,15 ^{aA}	5976,99 ^{aA}
		S.D	1200,89	69,55	0,04	0,01	635,69	58,65
	600 MPa	\bar{x}	19800,78 ^{aA}	691,16 ^{aA}	0,59 ^{aA}	0,64 ^{aAB}	12928,79 ^{aA}	7602,97 ^{aA}
		S.D	6935,81	467,39	0,09	0,08	6064,62	2751,52
	800 MPa	\bar{x}	18715,17 ^{aA}	913,05 ^{aB}	0,66 ^{aAB}	0,57 ^{aA}	11144,79 ^{aA}	7458,93 ^{aA}
		S.D	1769,90	167,81	0,02	0,01	1206,58	1059,97
BOMBA	CONTROL	\bar{x}	25605,59 ^{bA}	371,45 ^{bAB}	0,72 ^{bB}	0,67 ^{abB}	16291,53 ^{bA}	11083,10 ^{bA}
		S.D	424,03	70,98	0,04	0,08	490,20	1259,85
	600 MPa	\bar{x}	21687,18 ^{bA}	293,37 ^{bA}	0,72 ^{bA}	0,60 ^{abAB}	13106,87 ^{bA}	9512,65 ^{bA}
		S.D	1778,15	35,70	0,02	0,01	1223,53	956,50
	800 MPa	\bar{x}	25854,93 ^{bA}	648,42 ^{bB}	0,70 ^{bAB}	0,61 ^{abA}	15971,75 ^{bA}	11332,69 ^{bA}
		S.D	5231,23	136,27	0,06	0,03	3836,11	3849,20

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para cada parámetro analizado. Letras minúsculas corresponden a la variedad y mayúsculas al tratamiento aplicado por APH aplicado.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha comprobado que la aplicación de APH a 600 y 800 MPa durante 10 minutos provoca cambios en las características de cocción de las tres variedades estudiadas, y además, el hecho de pertenecer a una variedad u otra también aporta resultados diferentes.

En cuanto a las dimensiones del grano, aunque no se han observado diferencias significativas entre las muestras presurizadas y las muestras control, las tratadas por APH una vez cocinadas superan en un 19% al control. Por otro lado, la variedad afecta a este parámetro, siendo Bomba la que experimenta un menor cambio en sus dimensiones, seguido de Maratelli y por último Guadiamar.

La aplicación de APH produce un incremento del volumen del grano. Sin embargo, una vez cocinadas, las muestras tratadas presentan un volumen de expansión un 4,5% inferior a las muestras control. La variedad no influye en el resultado final.

Se ha podido comprobar que, al presurizar las muestras de arroz, la absorción de agua aumenta un 28,8% con los dos niveles de presión aplicados respecto a los controles. Por otra parte, la variedad no influye en el resultado.

Al tratar las muestras mediante APH se ha reducido significativamente el tiempo de cocción una media de 7 minutos: Maratelli reduce su tiempo de cocción 6,75 minutos, Guadiamar 9 y Bomba 5,5 minutos. Las diferencias observadas en los tiempos de cocción entre variedades se ven atenuadas al aplicar los tratamientos de APH. Por otro lado, no se ha encontrado, en general, una reducción del tiempo al aumentar la presión de tratamiento de 600 MPa a 800 MPa.

La pérdida de sólidos que experimentan las muestras presurizadas y cocinadas es significativamente diferente de las muestras control. Además, a medida que se aumenta la intensidad de presión, aumenta un 7% esta pérdida de sólidos en el agua de cocción. La variedad no tiene un efecto significativo sobre las muestras.

El grado de gelatinización conseguido en las muestras de las tres variedades por la aplicación de los tratamientos de APH oscila entre un 43 y un 89%, y depende de la presión y de la variedad. Se observa claramente que al aplicar más presión la gelatinización es mayor (incremento medio del 12%), pero que el valor obtenido depende del método de análisis empleado. También se ha podido comprobar que las tres variedades dan resultados diferentes, por lo que se puede pensar que su composición en amilosa juega un papel relevante, ya que a menor contenido en este polímero, se obtiene un menor grado de gelatinización.

Finalmente, se ha observado que los resultados de alguno de los parámetros del perfil de textura se ven modificados por la presión y que todos ellos dependen de la variedad. La adhesividad, la elasticidad y la cohesividad que presentan las muestras disminuye por el nivel de presión, por lo que a medida que aumenta este nivel, el resultado es menor. Por otra parte, la dureza, la gomosidad y la masticabilidad de las muestras presurizadas mantienen el valor original del control. También se ha podido comprobar que la variedad da lugar a resultados diferentes en cada parámetro, y de forma general, Guadamar posee los valores más altos en todos atributos de textura, a continuación Bomba, y por último Maratelli.

Para determinar si los consumidores aceptan estas variaciones, habría que realizar un análisis sensorial, ya que, aunque la textura instrumental del arroz tratado por APH cambia, sería necesaria una comprobación organoléptica.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación indican que existe la posibilidad de emplear la tecnología de APH en la elaboración de arroz de cocción rápida.

7. BIBLIOGRAFÍA

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.

Ahromrit, A., Ledward, D.A., Niranjana, K., (2007). Kinetics of high pressure facilitated starch gelatinization in Thai glutinous rice. *Journal of Food Engineering*, 79, 834 – 841.

Arroz de Navarra. Arrocería del Pirineo. Sociedad Cooperativa. Disponible en: <http://www.arroceradelpirineo.es>. Fecha de consulta: 09/07/2013.

Ayabe, S., Kasai, M., Ohishi, K., Hatae, K., (2009). Textural properties and structures of starches from Indica and Japonica rice with similar amylose content. *Food Science and Technology Research*, 15 (3), 299 – 306.

Bozal Yanguas, J. M., Santos Arriazu A., Rodríguez Eguílaz, J. J., Orçaray Echeverría, L., Malumbres Montorio, A. Arroz. Experimentación de variedades en Navarra. Resultados de la campaña 2011. INTIA - *Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias*. Disponible en: <http://www.navarraagraria.com>. Fecha de consulta: 09/07/2013.

Baks, T., Ngene, I. S., Van Soest, J. J. G., Janssen, A. E. M., Boom, R. M., (2007). Comparison of methods to determine the degree of gelatinization for both high and low starch concentrations. *Carbohydrate Polymers*, 67, 481 – 490.

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.

Bhattacharya K. R., Sowbhagya C. M., (1972). An improved alkali reaction test for rice quality. *Journal of Food Technology*, 7, 323 – 331.

Birch G. G., Priestley R. J., (1973). Degree of gelatinization of cooked rice. *Die Stärke*, 3, 98 – 100.

BOE, Orden de 12 de noviembre de 1980 por la que se aprueba la norma de calidad para el arroz envasado con destino -al consumo en el mercado interior.

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

Bocevaska, M., Aldabas, I, Andreevska, D., Ilieva, V., (2009). Gelatinization behavior of grains and flour in relation to physico-chemical properties of milled rice (*Oryza Sativa* L.). *Journal of Food Quality*, 32, 108 – 124.

Buckow, R., Heinz, V., Knorr, D., (2007). High pressure phase transition kinetics of maize starch. *Journal of Food Engineering*, 81, 469 – 475.

Colegio internacional Ciudadcampo. Variedades de arroz más comunes en España. Disponible en: www.sek.es. Fecha de consulta: 03/07/2013.

Estrada-Girón, Y., Swanson, B. G., Barbosa-Cánovas, G. V., (2005). Advances in the use of high hydrostatic pressure for processing cereal grains and legumes. *Trends in Food Science and Technology*, 16, 194 – 203.

Eustina, O. H., Hemar, Y., Anema, S. G., Wong, M., Pinder, D. N., (2008). Effect of high-pressure treatment on normal rice and waxy rice starch-in-water suspensions. *Carbohydrate Polymers*, 73, 332 – 343.

Fa-Jui Tan, Wei-Ting Dai, Kuo-Chiang Hsu, (2009). Changes in gelatinization and rheological characteristics of japonica rice starch induced by pressure/heat combinations. *Journal of Cereal Science*, 49, 285 – 289.

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. Pamplona. España.

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.

Jaisut, D., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W., Tungtrakul, P., Soponronnarit, S., (2008). Effects of drying temperature and tempering time on starch digestibility of brown fragrant rice. *Journal of Food Engineering*, 86, 251 – 258.

Juliano, B. O., (2003). Arroz. Philippine Rice Research Institute, Los Baños. *Elsevier Science*, 4995 – 5000.

Khaton, N., Prakash, J., (2007). Physico-Chemical Characteristics, Cooking Quality and Sensory Attributes of Microwave Cooked Rice Varieties. *Food Science Technology*, 13 (1), 35 – 40.

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.

Leelayuthsoontorn, P., Thipayarat, A., (2006). Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. *Food Chemistry*, 96, 606 – 613.

Li, W., Bai, Y., Mousaa, S. A. S., Zhang, Q., Shen, Q., (2012). Effect of high hydrostatic pressure on physicochemical and structural properties of rice starch. *Food Bioprocess Technology*, 5, 2233 – 2241.

Martín Cerdeño, V. J., (2012). Alimentos de España. Distribución y consumo del arroz. 102 – 105. Disponible en: <http://www.mercasa.es/files/multimedios/1329305>. Fecha de consulta: 03/07/2013.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente – MAGRAMA (2013). Cultivos herbáceos. Arroz. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es>. Fecha de consulta: 05/06/2013.

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.

Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO (1985). Depósito de documentos. Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: manual de

capacitación. Dpto. agricultura y ganadería. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/X5037S/X5037S00.htm>. Fecha de consulta: 07/06/2012.

Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO (2012). Seguimiento del mercado del arroz. Disponible en: <http://www.fao.org/economic>. Fecha de consulta: 06/06/2013.

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

Pérez, C. M., Juliano, B. O., (1978). Indicators of eating quality for non-waxy rices. *Food Chemistry*, 79, 185 – 195.

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

Priestley, R. J., Weybridge, A., Surrey, E., (1975). Moisture requirements for gelatinization of rice. *Die Stärke*, 12, 416 – 419.

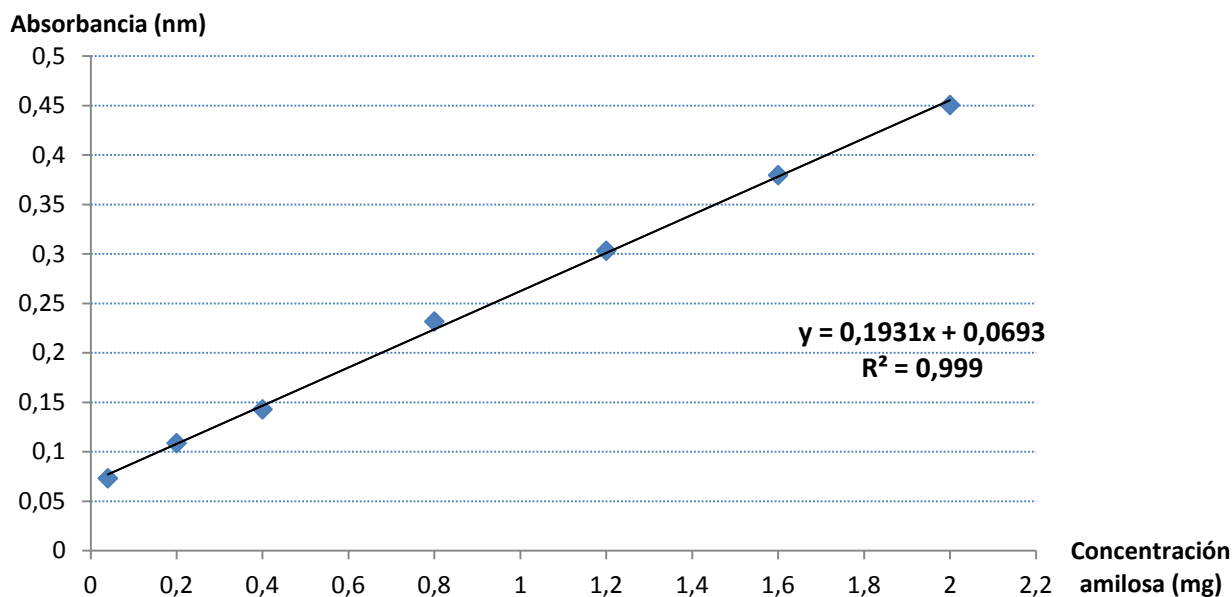
Tuaño, A. P. P., Umemoto, T., Aoki, N., Nakamura, Y., Sawada, T., Juliano, B. O., (2011). Grain quality and properties of starch and amylopectin of intermediate and low amylose Indica rices. *The Philippine Agricultural Scientist*, 94, No. 2.

Vidal, V., Pons, B., Brunnschweiler, J., Handschin, S., Rouau, X., Mestres, C., (2007). Cooking behavior of rice in relation to kernel physicochemical and structural properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 336 – 346.

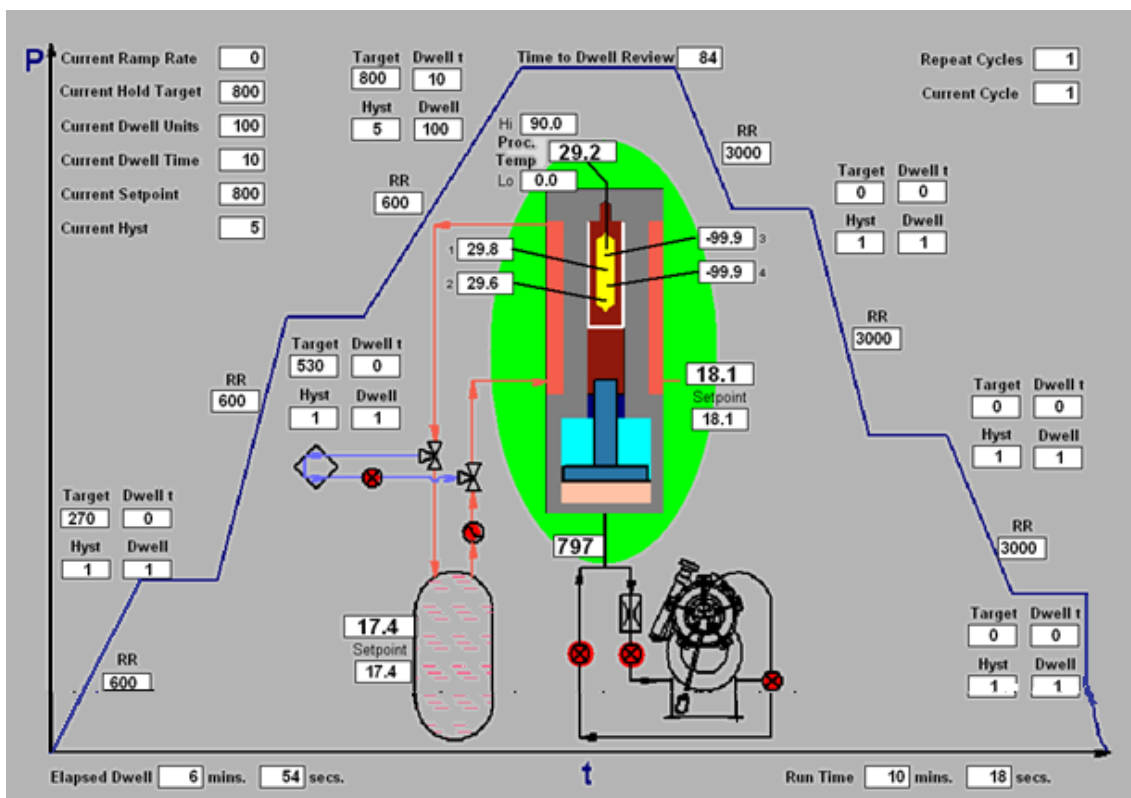
Yamakura, M., Okadome, H., Suzuki, K., Tran, U. T., Homma, S., Sasagawa, A., Yamazaki, A., Ohtsubo, K., (2005). Effects of high-pressure treatment and soaking to the cooked rice. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology-Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 52, 60 – 67.

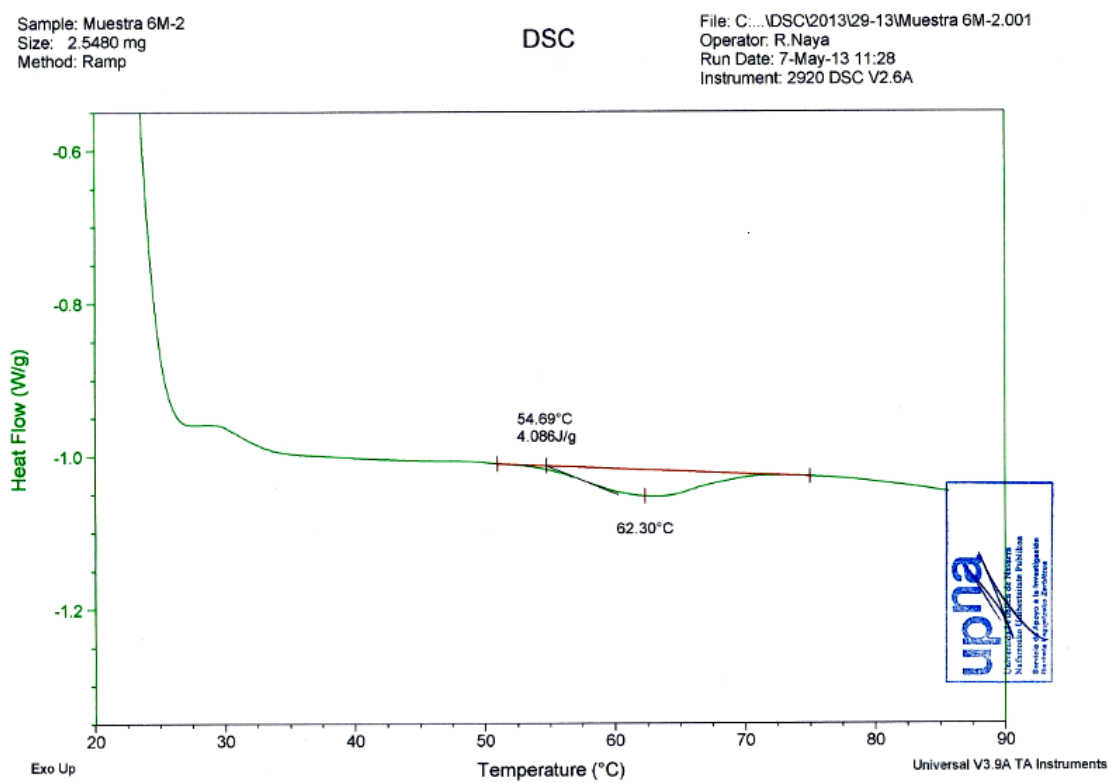
8. ANEXOS

Anexo 1: Curva patrón del contenido de amilosa.



Anexo 2: Esquema del programa de control del equipo de alta presión hidrostática.



Anexo 3: Termograma de la muestra de arroz Maratelli presurizada a 600 MPa.

Anexo 4: Tablas de los ANOVAS.**Anexo 4.1.** Características de cocción del grano tratado por APH.**Tabla ANOVA para TIEMPO COCCIÓN por VARIEDAD**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4,133	2	2,066	0,19	0,825
Intra grupos	127,2	12	10,6		
Total (Corr.)	131,333	14			

Tabla ANOVA para TIEMPO COCCIÓN por TRATAMIENTO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	121,167	2	60,583	71,51	0,000
Intra grupos	10,166	12	0,847		
Total (Corr.)	131,333	14			

Tabla ANOVA para LARGO/ANCHO por VARIEDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	5,816	2	2,908	47,665	0,000
Intra grupos	4,027	66	0,061		
Total (Corr.)	9,843	68			

Tabla ANOVA para LARGO/ANCHO por TRATAMIENTO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,154	2	0,077	0,526	0,594
Intra grupos	9,689	66	0,147		
Total (Corr.)	9,843	68			

Tabla ANOVA para VOLUMEN DE EXPANSIÓN por VARIEDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,002	2	0,001	0,816	0,461
Intra grupos	0,021	15	0,001		
Total (Corr.)	0,024	17			

Tabla ANOVA para VOLUMEN DE EXPANSIÓN por TRATAMIENTO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,017	2	0,009	20,925	0,000
Intra grupos	0,006	15	0,000		
Total (Corr.)	0,024	17			

Tabla ANOVA para ABSORCIÓN DE AGUA por VARIEDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,076	2	0,038	0,451	0,644
Intra grupos	1,515	18	0,084		
Total (Corr.)	1,591	20			

Tabla ANOVA para ABSORCIÓN AGUA por TRATAMIENTO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,009	1	0,009	0,84	0,382
Intra grupos	0,115	10	0,011		
Total (Corr.)	0,124	11			

Anexo 4.2. Características de cocción del grano presurizado y cocido.**Tabla ANOVA para LARGO/ANCHO por VARIEDAD**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,674	2	0,837	8,35	0,002
Intra grupos	2,106	21	0,100		
Total (Corr.)	3,780	23			

Tabla ANOVA para LARGO/ANCHO por TRATAMIENTO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,404	2	0,702	6,20	0,007
Intra grupos	2,376	21	0,113		
Total (Corr.)	3,780	23			

Tabla ANOVA para VOLUMEN DE EXPANSIÓN por VARIEDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,004	2	0,002	8,30	0,009
Intra grupos	0,002	9	0,000		
Total (Corr.)	0,006	11			

Tabla ANOVA para VOLUMEN DE EXPANSIÓN por TRATAMIENTO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,000	1	0,000	0,05	0,831
Intra grupos	0,006	10	0,001		
Total (Corr.)	0,006	11			

Tabla ANOVA para ABSORCIÓN AGUA por VARIEDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,034	2	0,017	1,69	0,238
Intra grupos	0,091	9	0,010		
Total (Corr.)	0,125	11			

Tabla ANOVA para ABSORCIÓN AGUA por TRATAMIENTO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,010	1	0,009	0,84	0,382
Intra grupos	0,115	10	0,011		
Total (Corr.)	0,125	11			

Tabla ANOVA para PÉRDIDA SÓLIDOS por VARIEDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,126	2	0,063	6,55	0,017
Intra grupos	0,087	9	0,009		
Total (Corr.)	0,213	11			

Tabla ANOVA para PÉRDIDA SÓLIDOS por TRATAMIENTO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,035	1	0,035	1,97	0,190
Intra grupos	0,178	10	0,017		
Total (Corr.)	0,213	11			

Anexo 4.3. Grado de gelatinización.**Tabla ANOVA para GRADO DE GELATINIZACIÓN por MÉTODO (colorimétrico y DSC)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1360,96	1	1360,96	6,21	0,015
Intra grupos	14682,1	67	219,136		
Total (Corr.)	16043,0	68			

Tabla ANOVA para GRADO DE GELATINIZACIÓN por VARIEDAD (método colorimétrico)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	5308,69	2	2654,35	16,32	0,0000
Intra grupos	10734,4	66	162,642		
Total (Corr.)	16043,0	68			

Tabla ANOVA para GRADO DE GELATINIZACIÓN por TRATAMIENTO (método colorimétrico)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4512,6	3	1504,2	8,48	0,0001
Intra grupos	11530,4	65	177,391		
Total (Corr.)	16043,0	68			

Anexo 4.4. Efecto del tratamiento por APH y de la variedad sobre los parámetros de textura.

Tabla ANOVA para DUREZA por VARIEDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2,91596E9	2	1,45798E9	26,55	0,0000
Intra grupos	5,32729E9	97	5,49205E7		
Total (Corr.)	8,24325E9	99			

Tabla ANOVA para DUREZA por TRATAMIENTO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,23311E8	2	6,16553E7	0,74	0,4814
Intra grupos	8,11994E9	97	8,37107E7		
Total (Corr.)	8,24325E9	99			

Tabla ANOVA para ADHESIVIDAD por VARIEDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	3,40653E6	2	1,70327E6	25,48	0,0000
Intra grupos	6,28466E6	94	66858,1		
Total (Corr.)	9,69119E6	96			

Tabla ANOVA para ADHESIVIDAD por TRATAMIENTO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	571930,	2	285965,	2,95	0,0573
Intra grupos	9,11926E6	94	97013,4		
Total (Corr.)	9,69119E6	96			

Tabla ANOVA para ELASTICIDAD por VARIEDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,250114	2	0,125057	12,08	0,0000
Intra grupos	1,00408	97	0,0103514		
Total (Corr.)	1,2542	99			

Tabla ANOVA para ELASTICIDAD por TRATAMIENTO

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,037715	2	0,0188575	1,50	0,2274
Intra grupos	1,21648	97	0,012541		
Total (Corr.)	1,2542	99			

Tabla ANOVA para COHESIVIDAD por VARIEDAD

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0447685	2	0,0223843	3,38	0,0382
Intra grupos	0,643135	97	0,00663026		
Total (Corr.)	0,687904	99			

Tabla ANOVA para COHESIVIDAD por TRATAMIENTO

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0368334	2	0,0184167	2,74	0,0693
Intra grupos	0,651071	97	0,00671207		
Total (Corr.)	0,687904	99			

Tabla ANOVA para GOMOSIDAD por VARIEDAD

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,31041E9	2	6,55203E8	20,71	0,0000
Intra grupos	3,06913E9	97	3,16406E7		
Total (Corr.)	4,37954E9	99			

Tabla ANOVA para GOMOSIDAD por TRATAMIENTO

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8,4166E6	2	4,2083E6	0,09	0,9109
Intra grupos	4,37112E9	97	4,50631E7		
Total (Corr.)	4,37954E9	99			

Tabla ANOVA para MASTICABILIDAD por VARIEDAD

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,00843E9	2	5,04214E8	24,99	0,0000
Intra grupos	1,95731E9	97	2,01784E7		
Total (Corr.)	2,96573E9	99			

Tabla ANOVA para MASTICABILIDAD por TRATAMIENTO

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,29635E7	2	6,48175E6	0,21	0,8086
Intra grupos	2,95277E9	97	3,04409E7		
Total (Corr.)	2,96573E9	99			