

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS

*NEKAZARITZAKOINGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLATEKNIKOA*

**EFFECTO DEL TRATAMIENTO DE ALTAS
PRESIONES SOBRE LA CALIDAD DE COCCIÓN
DEL ARROZ (*Oryza Sativa L.*, cultivar *Maratelli*)**

presentado por

BORJA PÉREZ URTASUN

aurkeztua

INGENIERO AGRONOMO
NEKAZARITZA INGENIARITZA

Julio, 2012

Dirigido por:

Dra. Cristina Arroqui Vidaurreta

Dra. Paloma Vírseda Chamorro

Codirigido por:

Dra. M^a José Noriega Domínguez

RESUMEN

Este trabajo aborda el estudio de una de las potenciales aplicaciones de la tecnología de altas presiones hidrostáticas (HHP) en alimentación, la gelatinización del almidón, y más concretamente para la cocción de arroz de cultivar *Maratelli* de grano tipo medio, de la variedad *japónica*. El objetivo del trabajo es analizar el efecto de dos niveles de alta presión hidrostática, uno moderado y otro más intenso, sobre las características de cocción y la calidad del grano de arroz cocido.

Por un lado, se analizan las características de cocción (tiempo de cocción, absorción de agua, volumen de expansión, elongación del grano, pérdida de sólidos y contenido de humedad) de una muestra de arroz sin tratar (control), y otra sometida a un tratamiento suave de presión de 400 MPa durante 10 minutos y a una temperatura de 20°C. En ambos casos, las muestras de arroz se elaboran mediante la cocción de forma tradicional y por microondas, con la finalidad de comparar el efecto de la presión en los dos métodos. Por otro lado, también se analizan esas mismas características de cocción en otra muestra de arroz sometida a un tratamiento más intenso de 600 MPa durante 10 minutos y a una temperatura de 40 °C, con el fin de comparar los resultados obtenidos con los de la muestra control y la presurizada a 400 MPa, aunque en este caso sólo para la cocción por microondas.

Para analizar la calidad del producto presurizado se efectúa un análisis de textura instrumental en el que se estudian los parámetros de dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad. Con el fin de completar este estudio de calidad se lleva a cabo, además, un análisis sensorial descriptivo de los atributos dureza, adhesividad en boca, gomosidad e impresión global.

El análisis de los resultados obtenidos demuestra que el empleo de las altas presiones hidrostáticas reducen el tiempo de cocción y que, además, no produce una variación significativa en los atributos de calidad del arroz con respecto al elaborado de forma tradicional. Por ello se puede pensar en la posible aplicación de la tecnología de las altas presiones hidrostáticas de cara a obtener un arroz de rápida preparación.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 HISTORIA, PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ARROZ	5
1.2 MORFOLOGÍA DEL ARROZ Y ESTRUCTURA DEL GRANO	7
1.3 VARIEDADES DE ARROZ	9
1.4 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL ARROZ	12
1.4.1 Proceso industrial de elaboración de arroz blanco	12
1.4.2 Proceso de elaboración de arroz precocido.....	15
1.5 APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE HHP EN ALIMENTOS	16
1.5.1 Tecnología de alta presión hidrostática (HHP)	16
1.5.2 Ventajas y desventajas de la utilización de HHP en la industria alimentaria.....	18
1.5.3 Alimentos procesados con HHP	19
1.6 EFECTO DE LAS ALTAS PRESIONES SOBRE ARROZ	21
2 OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	26
2.1 OBJETIVOS	26
2.2 PLAN DE TRABAJO	27
3 DISEÑO EXPERIMENTAL	28
4 MATERIALES Y MÉTODOS	30
4.1 MATERIALES	30
4.2 MÉTODOS	32
4.2.1 Preparación de la materia prima	32
4.2.2 Caracterización del grano crudo	32
4.2.3 Tratamiento con HHP	33
4.2.4 Características de cocción	34
4.2.5 Análisis sensorial.....	36
4.2.6 Análisis estadístico.....	36

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
5.1 CARACTERIZACIÓN DEL GRANO CRUDO	37
5.1.1 Contenido de humedad	37
5.1.2 Contenido de amilosa.....	37
5.2 EFECTO DEL TRATAMIENTO DE HHP A 400 MPa PARA DISTINTAS TÉCNICAS DE COCCIÓN	38
5.2.1 Características de cocción	38
5.2.2 Caracterización de la calidad del grano cocido.....	45
5.3 EFECTO DE DIFERENTES TRATAMIENTOS DE HHP SOBRE ARROZ COCIDO EN MICROONDAS	49
5.3.1 Características de cocción	49
5.3.2 Caracterización de la calidad del grano cocido.....	55
6 CONCLUSIONES	57
7 BIBLIOGRAFÍA	58
8 ANEXOS	64

1. INTRODUCCIÓN

1.1 HISTORIA, PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ARROZ

El arroz (*Oryza sativa* L.) se ha considerado como una de las plantas más antiguas, razón por la cual ha sido difícil establecer con exactitud la época en que el hombre inició su propagación. La literatura china considera al arroz como el alimento básico de ese pueblo desde el año 3000 a.C.; donde se indica que la siembra de este cereal era motivo de una gran ceremonia y señala que el arroz se domesticó entre 1000 y 1300 años a.C.

El desarrollo de distintas rutas comerciales desde Asia a otras partes del mundo propició la expansión del cultivo, ya que el mismo grano se utilizó como moneda de trueque. El arroz se extendió por los países mediterráneos en el año 350 a.C. y ya en el siglo IV a.C., su cultivo estaba muy extendido en Mesopotamia gracias a los intercambios comerciales que el rey persa Darío estableció con China e India. En la Edad Media fue introducido en España y de allí a toda Europa, por los árabes. Luego este cereal fue introducido en el continente americano por los españoles en la segunda mitad del siglo XVI.

Debido a su larga historia de cultivo y selección en diversos ambientes, *Oryza sativa* L. ha adquirido toda una gama de adaptabilidad y tolerancia, de manera que puede cultivarse en una amplia serie de regímenes hídricos/edafológicos que van de tierras profundamente inundadas a laderas de colinas áridas (Lu y Chang, 1980). Por un lado, se cultiva en latitudes muy extremas: desde los 55°N al norte de China hasta los 36°S de Uruguay y Australia. Además, puede crecer en alturas que van desde los 3000 m, como en Nepal, hasta los 3 m bajo del nivel del mar, como en algunos cultivos de inundación en la India (Khush, 2005). La mayor parte los cultivos de este cereal en el mundo se dan en ecosistemas de irrigación (55% del total cultivado: todo el de Europa, América del Norte, Oceanía y más de la mitad del de Asia), seguido por los de secano (35-40%) y finalmente en inundación (5-10%) (Carreres, 2003); el cultivo inundado también es variable, ya que la lámina de agua puede tener desde 40 cm hasta 8 m, en el caso de los llamados arroces flotantes. El arroz es una planta anual, aunque en algunas regiones tropicales, donde las condiciones climáticas son favorables, llega a crecer como perenne. Este abanico de posibilidades se debe, en parte, a la gran diversidad de variedades existentes y a su adaptación a las diferentes condiciones de cultivo.

Aunque actualmente es el tercer cereal mundial en cuanto a producción después del trigo y el maíz, el arroz es el cultivo de mayor importancia, ya que ocupa la mayor superficie y es la principal fuente de alimentación para más de la mitad de la población mundial; de hecho, prácticamente toda su producción se destina a la alimentación humana. A nivel mundial, el arroz proporciona más calorías por hectárea que cualquier otro cultivo. Más de tres mil millones de personas de todo el mundo se alimentan básicamente de arroz, principalmente en Asia, donde aporta entre un 40 y un 70% del total de calorías a la alimentación.

Además de su importancia como alimento, el arroz es la principal fuente de ingresos en el mundo rural de los países en vías de desarrollo, siendo así en la mayor parte de Asia y, en gran medida, de África y América. La superficie dedicada al cultivo de arroz es de 154 millones de hectáreas, que suponen aproximadamente un 11% de la superficie total cultivada.

Cada año se producen más de 650 millones de toneladas de arroz en el mundo. El mayor productor es China, seguido de India (aunque ésta tiene la mayor superficie dedicada a este cultivo). En cambio, el mayor exportador es Tailandia, mientras que Irán, Irak y Arabia Saudí son los principales importadores. En la Unión Europea se producen alrededor de 2,7 millones de toneladas de arroz, ocupando una superficie cultivada de 419.316 hectáreas, y siendo los mayores productores Italia (55,5%) y España (24,25%).

En Navarra la superficie dedicada al cultivo de arroz está en torno a las 2000 hectáreas, con una producción media de entre 5000- 6000 kg/ha. El área de cultivo se localiza en dos núcleos: por un lado el valle del Ebro, en municipios como Arguedas, Valtierra, Murillo de las Limas o Tudela; y por otro lado, en los regadíos de las localidades como Rada o Caparroso.

El consumo regional de arroz muestra diferencias significativas: la comunidad con mayor consumo es la Comunidad Valenciana, con 7 kilos por habitante y año en los hogares, y las menores el País Vasco y Navarra, con 3,4 kilos.

1.2 MORFOLOGÍA DEL ARROZ Y ESTRUCTURA DEL GRANO

El arroz (*Oryza sativa* L.) es una monocotiledónea de la familia de gramíneas. Las raíces son delgadas, fibrosas, fasciculadas. El tallo erguido, cilíndrico, nudoso, glabro, de 60-120 cm (Figura 1). Hojas alternas envainadoras, limbo lineal, agudo, largo, plano. En el punto de reunión de la vaina y el limbo se encuentra una lígula membranosa, bífida, erguida, presentando en el borde inferior una serie de cirros largos y sedosos. Flores de color verde blanquecino dispuestas en espiguillas cuyo conjunto constituye una panoja grande, terminal, estrecha, colgante después de la floración. Cada espiguilla es uniflora y está provista de una gluma con dos valvas pequeñas, algo cóncavas, aquilladas y lisas; la glumilla tiene igualmente dos valvas aquilladas.

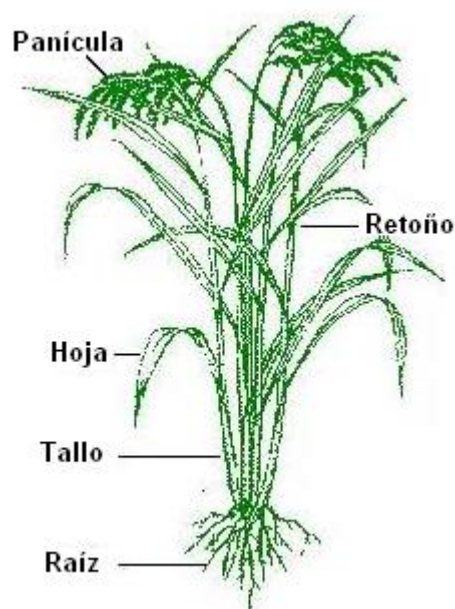


Figura 1. Estructura de la planta de arroz

El grano de arroz se compone de una cubierta protectora exterior, la cáscara, y la cariósida o fruto de arroz (arroz integral o pardo, llamado también arroz descascarillado) (Juliano y Bechtel, 1985) (Figura 2). El arroz integral se compone de las capas exteriores: pericarpio, tegumento y nucela; del germen o embrión; y del endospermo. Este se compone de la capa de aleurona, consistiendo el endospermo propiamente dicho en la capa de subaleurona y en el endospermo amiláceo o interior. La capa de aleurona contiene al embrión. La distribución de peso del arroz integral es la siguiente: pericarpio, 1-2%; aleurona, nucela y tegumento, 4-6%; germen, 1%; esculeto, 2%; y endospermo, 90-91% (Juliano, 1972). La capa de aleurona varía de 1 a 5 capas celulares, más espesas en la parte dorsal que en la ventral, y más gruesa en los arroces de grano corto que en los de grano largo (Del Rosario *et al.*, 1968).

Las células del endospermo son de pared delgada y están envueltas en amiloplastos que contienen gránulos de almidón compuesto. Las dos capas de células más exteriores (las subaleuronas) abundan en proteínas y lípidos y tienen amiloplastos y gránulos de almidón compuesto más pequeños que el endospermo interior.

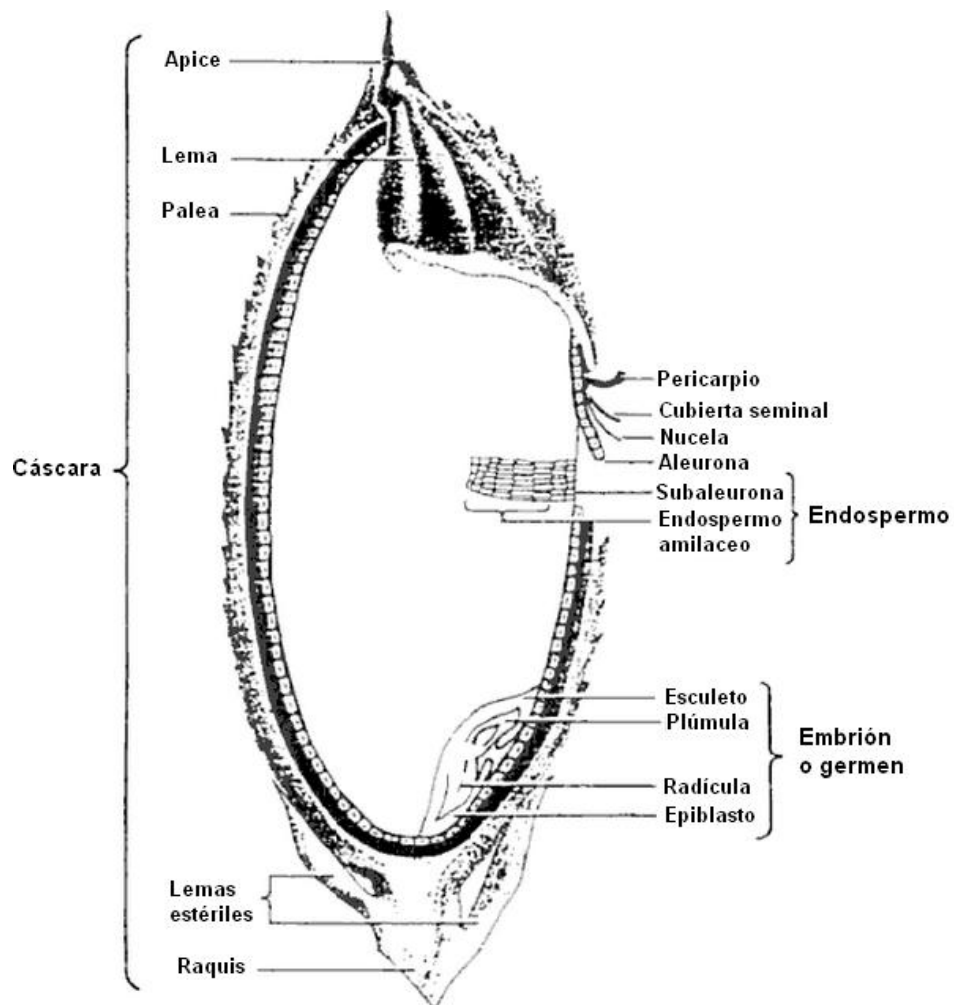


Figura 2. Estructura del grano de arroz (Juliano 1985)

1.3 VARIEDADES DE ARROZ

Dentro del género *Oryza* existen dos especies de arroz cultivadas; la especie *Oryza sativa* L. y *Oryza glaberrima*. La primera es originaria de Asia y está ampliamente dispersa por todas las regiones tropicales y templadas del mundo, mientras la segunda tiene a África Occidental como su centro de origen y está siendo paulatinamente sustituida por el arroz asiático.

El arroz africano (*Oryza glaberrima*) tiene algunas características negativas respecto del común *Oryza sativa* L. como son entre otras que se desgranar fácilmente de la espiga y los rendimientos son más bajos. Sin embargo, este arroz muestra una mayor tolerancia a las fluctuaciones del nivel de agua, a la toxicidad por hierro, la fertilidad de los suelos, las condiciones climáticas y además tiene una mayor resistencia a plagas y enfermedades. Por el contrario, el arroz asiático (*Oryza sativa* L.) es muy productivo, pero necesita agua en abundancia para desarrollarse. Sus plantas son de menor tamaño, y las malas hierbas pueden desbancarlas fácilmente.

El 95% del arroz que se consume en el mundo pertenece a la especie *Oryza sativa* L., en la que se incluyen unas 120.000 variedades descritas, de las que unas 83.000 se encuentran recogidas en el banco de germoplasma del IRRI (International Rice Research Institute, Filipinas). En esencia, todas estas variedades se clasifican en dos grupos: *índica* y *japónica*.

La variedad *índica* es una planta indígena de las regiones húmedas de los trópicos y subtropicos de Asia (como India, Tailandia, etc.), abarcando un 80% de los cultivos, aunque se encuentran variedades de esta subespecie en otras latitudes. Es un arroz con mayor concentración de almidón y el grano es más firme, fino y largo.

La variedad *japónica* se cultiva en tierras altas del trópico y en climas templados. En España es un cultivo importante en la Comunidad Valenciana, Murcia, Cataluña, Extremadura, Andalucía y valle del Ebro. Produce un grano más corto y grueso, y más pegajoso, con menos almidón que los de la variedad *índica*. Las diferencias entre ambas variedades se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Cuadro comparativo de las variedades de arroz *Índica* y *Japónica*.

Caracteres morfológicos	<i>Índica</i>	<i>Japónica</i>
Granos		
Largo/ancho	Fino	Corto
Descascarado	Fácil	Difícil
Desgrane	Fácil	Difícil
Morfología		
Color de la planta	Verde claro	Verde oscuro
Altura de planta	Alta	Media
Textura del tejido vegetal	Dura	Suave
Fisiología		
Resistencia a bajas temperaturas	Baja	Alta
Resistencia a la sequía	Alta	Baja
Sensibilidad al fotoperiodo	Baja	Sensible

Como se ha indicado, estos grandes grupos varietales presentan algunas características particulares, pero durante el largo e intenso proceso de mejora del arroz, muchas de las variedades obtenidas combinan genes de varios ecotipos de arroz, incluso de germoplasma silvestre, dando lugar a la aparición de tipos intermedios. Por tanto, la diferenciación en ecotipos inicial se ha ido diluyendo. Además, se ha producido el desplazamiento de la mayoría de variedades antiguas por las nuevas variedades mejoradas. Por ello se crearon los bancos de germoplasma que, con la preservación de variedades tradicionales, mantienen la biodiversidad y salvaguardan los recursos genéticos para futuros programas de mejora.

Dejando a un lado la distinción botánica de las dos variedades en las que se agrupa *Oryza sativa* L., la clasificación más empleada en el arroz es la que tiene en cuenta las dimensiones del grano. Las normativas que rigen en los diferentes mercados clasifican los arroces en diversos tipos, según la longitud y la forma (relación longitud/anchura) de los granos elaborados. En primer lugar se encuentra el arroz de grano largo, característico de la variedad *índica*, que se caracteriza por ser al menos tres veces más largo que ancho, de aspecto delgado, superando los seis milímetros de longitud. Este tipo de arroces tienen 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, propio de las variedades *japónica*, el cual es un grano más corto y grueso que el anterior, siendo el doble de largo que de ancho, y 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, que también pertenece a las variedades *japónica*, 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.

Aproximadamente la mitad de la producción española corresponde a la variedad *índica*, de grano largo o semilargo, y la otra mitad, o algo menos, a la variedad *japónica*, de grano corto y redondo. El cultivo de la variedad *índica* se lanzó desde la entrada de España en la CEE, hasta entonces fue casi simbólico. La opción por una u otra variedad está condicionada por su uso gastronómico: mientras la variedad *japónica* es la empleada en la potente cocina tradicional española de arroces, la variedad *índica* se adapta mejor a la cocina más moderna y es la consumida en el centro y norte de la UE.

Los consumidores españoles prefieren las variedades *japónicas* de grano medio, que quedan más sueltos tras la cocción y absorben mejor los sabores (Briz *et al.*, 2005).

Entre los cultivares consumidos en nuestro país, destacan, por un lado, aquellos con un contenido bajo de amilosa (hasta 18-19%), que se caracterizan porque absorben muy bien los sabores y dar una textura final más bien pastosa, por lo que son adecuados para arroces caldosos y melosos. Por otro lado, se consumen otra serie de arroces, como el *Bomba*, de grano redondo, con contenidos más altos de amilosa (hasta 24%), y de mayor resistencia a la sobrecocción que los anteriores, por lo que, aunque absorben peor los sabores, son más adecuados para conseguir un arroz seco de paella.

Para la elección de la variedad a estudiar en el presente trabajo se ha tenido en cuenta el hecho de que la mayoría de los estudios realizados sobre arroz, incluyendo los de tratamientos de HHP (High Hydrostatic Pressure), están dirigidos a los cultivares de grano largo de la variedad *Índica*, que son los más extendidos y consumidos en el mundo, de manera que existe una mayor necesidad en ampliar los estudios de investigación en este campo de la HHP sobre las variedades *japónica*. Además, estas variedades son las más consumidas en España, por lo que para la realización del presente trabajo se ha seleccionado el cultivar *Maratelli* de grano tipo medio, ya que además de lo indicado anteriormente, este arroz es cultivado en Navarra.

1.4 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL ARROZ

1.4.1 Proceso industrial de elaboración de arroz blanco

El arroz sufre una serie de procesos desde que se recoge del campo hasta que se envasa y se dispone para su comercialización. A continuación se explica cada uno de esos procesos que tienen lugar en la planta de procesado. (Figura 3).

Recepción:

El arroz cáscara es transportado en camiones desde los centros de acopio hasta la planta de procesado donde se descarga y se almacena hasta su procesado.

Limpieza:

El arroz pasa por una serie de máquinas donde en primer lugar se eliminan las impurezas más grandes (piedras, tierra,...) y en segundo lugar se eliminan impurezas más pequeñas (hebras, grano vano,...).

Secado:

El secado de los granos tiene por objeto reducir el nivel de humedad en los mismos, por debajo de un nivel considerado de seguridad, lo cual contribuye a garantizar su conservación, al impedir tanto su germinación como el crecimiento de microorganismos. El nivel de seguridad para el almacenamiento de arroz es del 13 al 15% de humedad. Dado que el agua se sitúa tanto en el interior como en la superficie de los granos, durante el secado de los mismos se dan dos etapas diferentes:

1. La evaporación del agua superficial, hasta alcanzar el equilibrio con el ambiente.
2. El transporte por difusión del agua desde el interior del grano hasta la superficie, para reponer a la evaporada. Esta etapa se prolonga hasta que el interior, superficie y ambiente se hallan en equilibrio en cuanto a su contenido de agua.

En el secado del arroz un importante problema es la rotura de los granos debido a tensiones generadas por el secado, ya que este produce, especialmente si es muy rápido, una súbita compresión o encogimiento del grano, lo que origina tensiones que pueden causar su ruptura. Por ello el secado del arroz se realiza en varias etapas, con tiempos de espera intermedios de 4 a 24 horas.

Almacenamiento:

El arroz es almacenado en grandes depósitos verticales u horizontales (estos últimos menos habituales). Para el almacenamiento del grano en bruto, el sistema más utilizado son los grandes depósitos cilíndricos verticales conocidos como silos.

Descascarillado:

En esta operación el objetivo es retirar la cascarilla que cubre al grano, para ello se usará una máquina que actúa sobre el grano usando dos rodillos que giran a gran velocidad mientras el flujo de grano pasa entre ellos. En este proceso se retira en primer lugar la envoltura dura que protege al grano cuando está en la espiga. Así se obtiene el arroz integral, de color marrón, rico en vitaminas del grupo B, minerales y fibra.

Blanqueado y pulido:

Este proceso se lleva a cabo mediante un pulidor abrasivo, el cual tiene una piedra esmeril, de manera que los granos se irán desprendiendo de sus envolturas más finas lo que supone la eliminación total o parcial del salvado que lo recubre y, con ello, una mayor pérdida de vitaminas, minerales y fibra. El germen, donde se encuentra presente la grasa del cereal, desaparece a fin de evitar que se enrancie durante su almacenamiento.

Limpieza y clasificación:

Una vez blanqueado y pulido, al arroz se le somete a un proceso de limpieza para eliminar los granos rotos y el polvillo generado en la operación anterior. Posteriormente se procede a la clasificación de los granos en función de su tamaño para que el producto quede lo más uniforme posible.

Envasado:

En esta operación se da la presentación final al producto mediante una máquina envasadora. Los distintos tipos de arroz elaborado se envasan en cada uno de sus formatos.

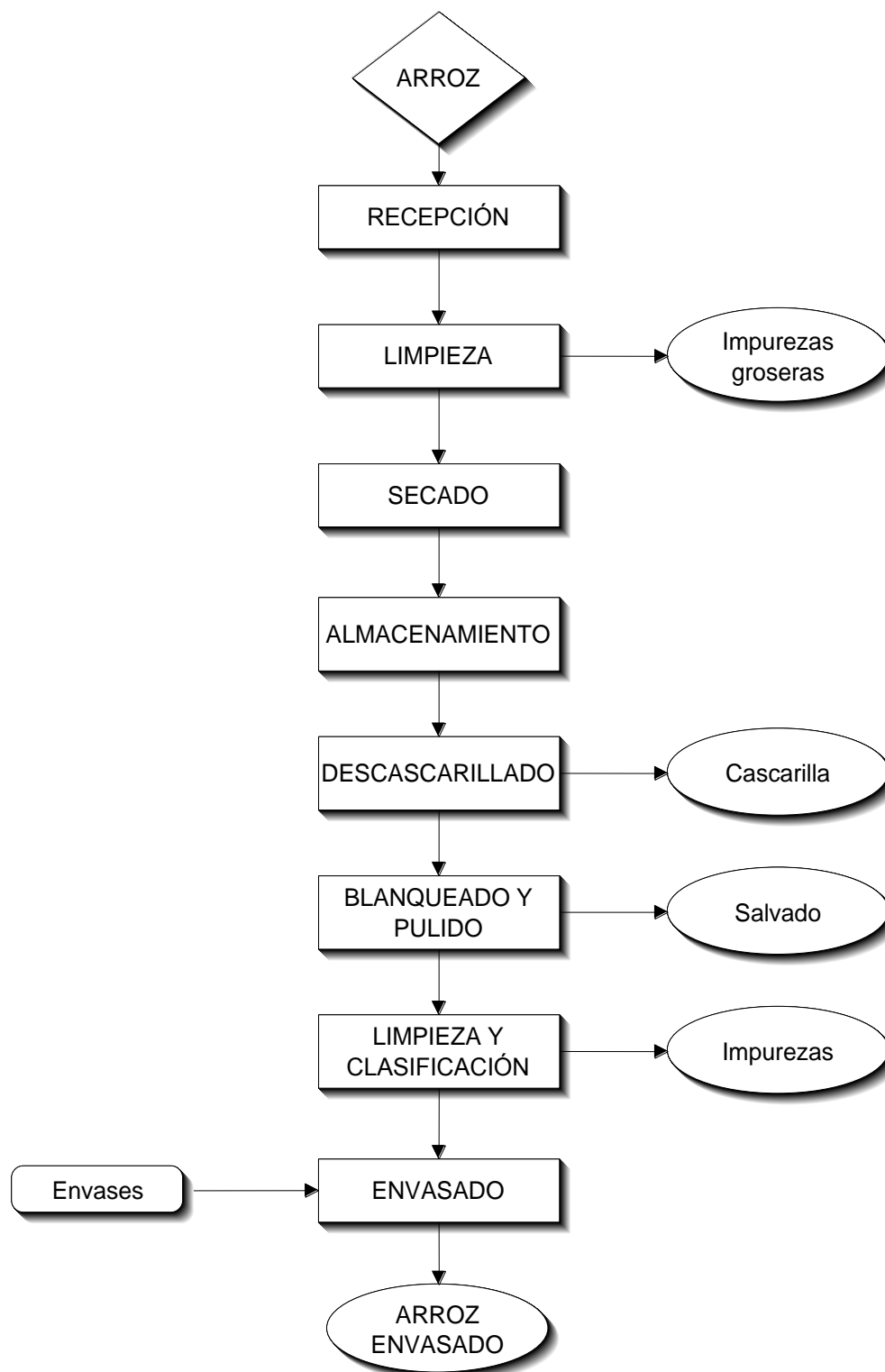


Figura 3. Diagrama del proceso de elaboración de arroz blanco.

1.4.2 Proceso de elaboración de arroz precocido

Cada vez es más común encontrarse en el mercado arroces a los que se les aplica un procesado previo a su comercialización con el objetivo de mejorar sus características respecto al arroz tradicional, como puede ser la reducción del tiempo de cocción o el aumento de su calidad nutritiva.

El arroz vaporizado o “parboiled” es uno de estos arroces procesados en donde al arroz se le somete a una ligera cocción a vapor antes de quitar la cáscara, lo que da lugar a un grano vítreo y que queda suelto en la cocción. Además, durante este tratamiento una parte de las vitaminas y de los minerales de las capas externas difunden al interior del endospermo y no se eliminan en el proceso de blanqueado. Conocido de forma casi general como arroz “brillante”, este arroz precocinado no queda sobrecocido (no “se pasa”), aunque la escasa posibilidad de que absorba los restantes componentes del plato tras su manipulación, así como su textura gomosa, lo hacen poco atractivo sensorialmente.

Por otro lado, existen también 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.

Otras alternativas que existen para producir arroz instantáneo es mediante el tratamiento de este producto a altas presiones hidrostáticas (HHP), de manera que se consiga pregelatinizar el arroz y así se reduzca el tiempo de cocción. En este proceso destaca, en primer lugar, 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 HHP, 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.

1.5 APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE HHP EN ALIMENTOS

1.5.1 Tecnología de alta presión hidrostática (HHP)

El potencial de la alta presión para conservar alimentos se conoce desde finales del siglo XIX. Su utilidad en este campo fue señalada por el equipo de Bert H. Hite a partir de los estudios iniciados en el año 1899 sobre los efectos de las altas presiones en la conservación de leche, carne y zumos de frutas. Durante mucho tiempo, los problemas tecnológicos derivados de la manipulación a tan elevadas presiones supusieron un freno para el desarrollo de esta técnica, pero gracias a los avances en la utilización de técnicas de alta presión en la industria cerámica y metalúrgica realizados durante los años setenta y ochenta se abrió la posibilidad de tratar alimentos por este método a escala industrial.

En 1992 los primeros productos tratados por alta presión salieron al mercado y a finales de 1995 ya eran siete las compañías que comercializaban productos (mermeladas, zumos de fruta, salsas, vino de arroz, pastel de arroz) tratados por esta tecnología (Hayashi, 1997). En 1997 una industria estadounidense inició la comercialización de guacamole (Mermelstein, 1997), y en Francia empezaban a lanzar al mercado zumos de frutas tratados por alta presión.

Se entiende por alta presión la tecnología con la que se tratan los materiales a presiones entre los 100 y 1.000 MPa. Puesto que el medio utilizado para transmitir la presión suele ser agua, el tratamiento de altas presiones también suele llamarse alta presión hidrostática (HHP).

Esta tecnología es de gran interés en la industria de alimentos debido a que es efectiva en la conservación de los mismos y destaca sobre los procesos térmicos (Knorr, 1993), pues estos últimos causan inevitablemente una pérdida de nutrientes y sabores.

Existen dos principios fundamentales en los que se basa la aplicación de las altas presiones (Cheftel, 1991):

a) El primero indica que la presión se transmite de manera uniforme e instantánea a través de todo el material biológico tratado por alta presión, tratándose así de un proceso isostático. Este proceso evita la deformación del producto, a pesar de estar sometido a tan altas presiones, y hace que éste sea muy homogéneo y no presente zonas sobretratadas.

b) El segundo se refiere al principio de Le Chatelier que indica que los fenómenos acompañados de una disminución de volumen (reacciones químicas, modificación de las conformaciones moleculares) son favorecidos por un aumento de presión y viceversa. Según este principio, la aplicación de la alta presión desplaza el equilibrio de un proceso hacia el estado que ocupa menos volumen. En principio en una macromolécula proteica, la formación de enlaces de hidrógeno, la ruptura de interacciones hidrófobas y también de pares de iones, son acompañados de una restricción de volumen favorecida por la presión (Cheftel, 1991).

El principal atractivo de esta tecnología reside en que, al poder realizar el tratamiento a temperatura ambiente se conservan los parámetros de calidad del producto original (Cheftel, 1992). Inicialmente su principal ventaja residía en que podía utilizarse como un sustituto parcial o total del tratamiento térmico cuando el objetivo era la destrucción microbiana. Cuando un alimento es sometido a altas presiones se observan principalmente los efectos siguientes: modificación del volumen del sistema, modificación de la estructura del almidón y las proteínas, modificación de la actividad enzimática e inactivación de los microorganismos. La tabla 2 muestra las condiciones generales de presión en que se producen esos efectos, aunque, en la práctica, son muy variables según el alimento tratado y cada caso requiere un estudio completo.

Tabla 2. Efectos principales del tratamiento de alta presión en los alimentos

Presión (MPa)	Efectos
> 200 MPa	Influencia sobre la cinética enzimática Modificación de las propiedades físicas de las proteínas Alteración de la membrana de los microorganismos
> 300 MPa	Inactivación enzimática irreversible Muerte de los microorganismos
> 400 MPa	Gelificación de los almidones Desnaturalización de las proteínas
> 500 MPa	Muerte de las esporas bacterianas Inactivación de las enzimas

Las aplicaciones de la alta presión van más allá de la inactivación de microorganismos, dependiendo de las combinaciones de presión, temperatura y tiempo que se utilicen. Paralelamente al objetivo de reducir la carga microbiana inicial, las materias primas también pueden ser tratadas con el fin de conservar o mejorar su funcionalidad para la posterior elaboración de derivados: el tratamiento de arroz para la producción de sake aumenta su susceptibilidad a la acción de la amilasa y se mejoran las propiedades emulsionantes de soluciones de proteínas (Denda y Hayashi, 1992). Asimismo, el efecto de la alta presión sobre las propiedades físicas de los alimentos puede conducir a la obtención de nuevos productos (Yoshioka *et al.*, 1992). Por ejemplo, se consigue la gelificación a temperatura ambiente de distintas soluciones o dispersiones de proteínas alimentarias (miosina, soja, surimi, yema y clara de huevo, proteínas séricas) y se observa que los geles obtenidos por alta presión suelen presentar características distintas a los obtenidos por temperatura.

1.5.2 Ventajas y desventajas de la utilización de HHP en la industria alimentaria.

La tecnología de altas presiones ofrece una serie de ventajas:

- El tratamiento evita la deformación de los alimentos, debido a que la presión se transmite uniforme e instantáneamente, es decir, no hay gradientes. A diferencia de lo que ocurre con los procesos térmicos, el tratamiento de presión es independiente del volumen y de la forma de la muestra, con lo que se reduce el tiempo requerido para procesar grandes cantidades de alimento (Cheftel, 1995; Pothakamury *et al.* 1995)
- No produce deterioro de nutrientes termolábiles como por ejemplo vitaminas, frente a los métodos tradicionales de pasterización (Kimura *et al.* 1994), tampoco en patata (Eshtiaghi y Knorr, 1993), ni altera otros compuestos de bajo peso molecular, fundamentalmente aquellos responsables del aroma y sabor.
- No se altera el sabor natural, ni la coloración del alimento, pues las altas presiones no favorecen la reacción de Maillard o de pardeamiento no enzimático (Hayashi, 1989; Tamakoa *et al.* 1991; Gross y Jaenické, 1994).
- Reduce la cantidad de proteínas alergénicas de algunos alimentos, como por ejemplo en el arroz, haciendo posible su consumo para personas alérgicas.
- No produce residuos, se trata de una energía limpia, lo que iría en consonancia con las políticas medioambientales de la actualidad.
- No precisa de la incorporación de aditivos al alimento.
- Mejora o provoca la aparición de propiedades funcionales en los alimentos.

En cuanto a las desventajas, la principal sería el alto coste del equipo. El problema que esta tecnología plantea es la inversión asociada a su implantación en la industria, cosa que repercute en un precio elevado de los productos en el mercado en comparación a los que son procesados por métodos tradicionales como el tratamiento térmico. Es poco probable que los consumidores estén dispuestos a pagar un precio más elevado por alimentos habituales que siguen un método de producción diferente, si no es porque la calidad del producto sea substancialmente superior. Sin embargo, debido al rápido desarrollo de la tecnología de HHP y la alta aceptación y demanda de estos productos por los consumidores, cada vez habrá mayor cantidad de productos presurizados en el mercado, por lo que se reducirá su coste considerablemente.

Todas estas ventajas que presenta la tecnología de altas presiones quedan representadas en la diversidad de aplicaciones que tiene en la industria alimentaria, como son las siguientes:

- Pasterización y esterilización sin modificar el valor nutritivo ni las propiedades organolépticas de los alimentos.

- Inactivación/activación de enzimas para retardar/acelerar procesos de maduración, fermentación u otro tipo de transformaciones enzimáticas deseables en los alimentos.
- Modificación de la estructura debido a cambios en la configuración proteica: ablandamiento de textura en carnes y pescados, inactivación de ciertas toxinas.
- Cambios en las transiciones de fase (congelación a temperaturas bajo cero evitando la formación de cristales de hielo, disminución del punto de fusión de lípidos, gelatinización a bajas temperaturas).
- Extracción de componentes alimentarios (pectinas, pigmentos e incluso agua).
- Agregación de sólidos o polvos alimentarios para elaborados en forma de barras, cubos, tabletas.
- Impide el pardeamiento no enzimático en determinados alimentos, pues las altas presiones no favorecen la reacción de Maillard y además evita la oxidación lipídica en ciertos productos.

1.5.3 Alimentos procesados con HHP

Estudios sobre inactivación enzimática, propiedades funcionales, y el desarrollo de nuevos productos se hizo más común y facilitó el comienzo de una nueva era de alimentos procesados. Hoy en día, la tecnología de altas presiones es comúnmente citada en estudios de investigación como una herramienta para modificar y mejorar la calidad de los alimentos en muchos sectores, de hecho, los productos presurizados están más extendidos en el mercado mundial y están bien aceptados por los consumidores (Barbosa, 2010).

Algunas de las características de calidad asociadas a las frutas y productos de origen vegetal son el color, la apariencia, la textura y el valor nutricional. Estas características se ven afectadas negativamente por los métodos de elaboración más tradicionales que actualmente se utilizan en la industria alimentaria.

La alta presión es una excelente opción para el procesamiento de frutas y verduras debido a los cambios mínimos que se producen con su uso en las características mencionadas, que se pueden explicar por los efectos parciales de la HHP en los enlaces covalentes de bajo peso molecular, como son los componentes del color y sabor (Oey, *et al.*, 2008).

La alta presión se utiliza actualmente para algunos “platos preparados” y productos cárnicos delicatessen (Clark, 2006). El principal uso de la tecnología de HHP en el procesamiento de productos como carnes, aves y pescado consiste en reducir la carga microbiana después de su fabricación y manipulación, ya que el principal problema en estos productos (después del proceso de fabricación) está en la manipulación de los productos durante el corte y envasado, donde es posible la contaminación cruzada (Barbosa, 2010).

En el caso de los productos lácteos, la alta presión (hasta 400 MPa) ha sido utilizada satisfactoriamente para procesar la leche, que se ha traducido en cambios en su fabricación y en las características finales de los productos lácteos como el yogur, queso, crema, entre otros; de hecho, ha habido más estudios sobre estos productos que en la leche líquida (Barbosa, 2010). La ventaja de las altas presiones es que no sólo homogeniza la leche sino que además inactiva los microorganismos y alarga la vida útil del producto (O'Reilly, *et al.*, 2001), que es similar a la leche procesada bajo condiciones de temperatura ultra alta (UHT).

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

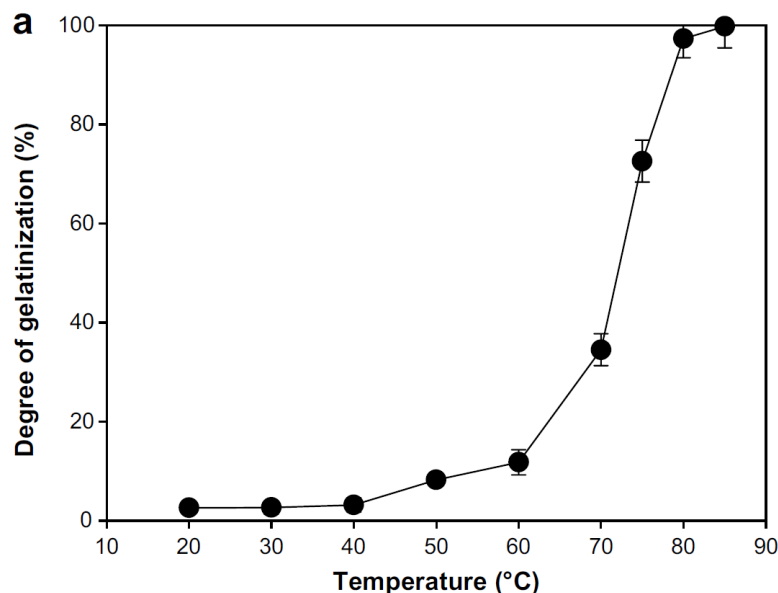
1.6 EFECTO DE LAS ALTAS PRESIONES SOBRE ARROZ

El almidón es un hidrato de carbono presente en los cereales, en las hortalizas radicales como las zanahorias y en los tubérculos. En el caso del arroz es el componente principal y se encuentra en un 70 - 80%. El almidón es un polímero de D-glucosa con enlace α -(1-4) que se compone de una fracción esencialmente lineal, la amilosa, y de una fracción ramificada, la amilopectina, siendo la proporción de cada una la que determina las características culinarias del producto. La principal variación en la composición de almidón del arroz es debida a las proporciones relativas de las dos fracciones de los gránulos de almidón y esto, junto con la distribución y frecuencia longitudinal de la cadena y el espaciamiento de los puntos de ramificación entre las moléculas de amilopectina (Lu *et al.*, 1997), tiene una profunda influencia en las propiedades fisicoquímicas del almidón (Jane *et al.*, 1999). A mayor proporción de amilopectina, más viscosos y pegajosos estarán los granos entre sí. El contenido de amilosa del almidón del arroz guarda relación directa con la expansión de volumen y absorción de agua durante la cocción y con la dureza o consistencia, blancura y opacidad del arroz cocido (Juliano, 1985).

Según Heremans (1982), biopolímeros, como los almidones y las proteínas, muestran cambios en su estructura nativa bajo el tratamiento con altas presiones hidrostáticas similares a los que ocurren a temperaturas elevadas. Los almidones pueden ser gelatinizados por alta presión a temperatura ambiente, y el tratamiento con alta presión presenta unas propiedades de gelatinización y retrogradación únicas en comparación con el tratamiento térmico (Kawai *et al.*, 2007; Buckow *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2010; Vallons and Arendt, 2010). Existen diferencias entre el proceso por el cual se produce la gelatinización por altas presiones y el que emplea calor que hacen que los almidones gelatinizados por altas presiones se hinchen en menor grado (Stute *et al.*, 1996) y liberen una menor cantidad de amilosa (Douzas *et al.*, 2001). Ello afecta, entre otros aspectos, a las características microestructurales y reológicas del gel, siendo su viscosidad en general inferior del obtenido mediante calor por lo que la textura de los arroces es más blanda (Tan *et al.*, 2009; Michel y Autio, 2002; Stolt *et al.*, 2001). La gelatinización del almidón mediante tratamiento térmico es un proceso irreversible que incluye el hinchamiento de los gránulos, fusión de la estructura cristalina, pérdida de birrefringencia y la disolución del almidón (Sullivan & Johnson, 1964). Otros investigadores (Blaszczak *et al.*, 2007, Rubens y Heremans, 2000) informaron que el tratamiento con alta presión (hasta 650 MPa) podría causar una distorsión irreversible de la región cristalina en los gránulos de almidón previa a una hidratación reversible de la fase amorfa, que a su vez conduce a la destrucción de la estructura granular. La presión aumenta el proceso de difusión de agua en los gránulos de almidón, especialmente en la fase amorfa, y eso conduzca a romper la estructura cristalina adicional (Liu *et al.*, 2009). Blaszczak *et al.*, (2005) considera que el grado de fusión de la estructura cristalina está relacionado con la proporción de amilosa/amilopectina presente en la muestra de arroz.

Rubens *et al.* (1999) propuso un mecanismo que tiene lugar en dos etapas para explicar la gelatinización del almidón inducida por la alta presión. En un primer paso, tiene lugar la hidratación de las partes amorfas de los gránulos de almidón, lo que conduce a la inflamación de los gránulos y distorsión de las regiones cristalinas. Posteriormente, las regiones cristalinas se han vuelto más accesibles a las moléculas de agua, lo que lleva a la ruptura final de la estructura de los gránulos de almidón. Hay que señalar que el grado de gelatinización producido por la aplicación de altas presiones es altamente dependiente del tipo de almidón, la concentración de agua y las condiciones del proceso, que incluyen los valores de presión, la temperatura y el tiempo de tratamiento (Stolt *et al.*, 2001; Katopo *et al.*, 2002; Bauer and Knorr, 2005). El agua se convierte en un factor limitante por debajo de una proporción 1:3 de arroz/agua, por lo que el proceso de gelatinización del arroz es incompleto (no hay agua suficiente para la gelatinización). Esto indica que una muestra de arroz con mayor contenido de agua exhibe un mayor grado de gelatinización durante la presurización, hasta que se alcanza el nivel mínimo requerido (Ahmed *et al.*, 2007).

En general, la temperatura de gelatinización disminuye al aumentar la presión aplicada a partir de un nivel mínimo de presión (Rubens y Heremans, 2000, Ahmed *et al.*, 2007). En la figura 4, se muestra como varía el grado de gelatinización en almidón de arroz en función de la temperatura, de la presión o de una combinación de ambos.



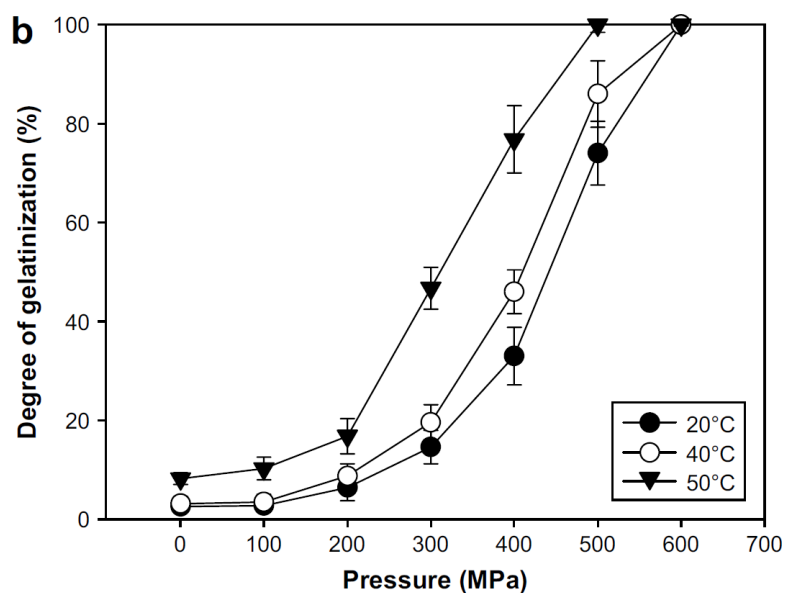


Figura 4. Grado de gelatinización vs temperatura (a) o presión (b) al 10% materia seca de suspensión de almidón de arroz. El grado de gelatinización fue medido por DSC después de cada tratamiento. Cada tratamiento fue aplicado durante 15 minutos (Tan, *et al.*, 2009).

En el arroz, las investigaciones se centran en la pre-gelatinización de este producto mediante la tecnología de altas presiones con el objetivo de crear un arroz de rápida cocción, disminuyendo el tiempo de preparación, haciéndolo ideal para consumidores que buscan alimentos de rápida y sencilla elaboración.

Otra de las ramas en las que se centran las investigaciones de HHP en el arroz es el tema de las proteínas alergénicas. El consumo de arroz está a menudo asociado a trastornos de tipo alérgico como asma y dermatitis (Baldo, *et al.*, 1984), siendo las principales proteínas responsables la 16 kDa albumina y 26 kDa α -globuloglobulina, (Limas *et al.*, 1990; Shibasaki *et al.*, 1979). Estudios llevados a cabo por Kato, *et al.*, (2000) en granos de arroz sumergidos en agua destilada demostraron la solubilización y posterior liberación de las proteínas alergénicas en el rango de 100-400 MPa, aunque añaden que este tipo de proteínas no pueden ser eliminadas totalmente mediante la presurización.

Es necesario el análisis de varios estudios de investigación en el ámbito de los tratamientos con altas presiones en arroz para poder tener una idea de cuáles son los tratamientos que hay que aplicar para conseguir un determinado grado de gelatinización.

En un estudio específico, se realizó un tratamiento con almidón de arroz a 500 MPa de presión durante 15 minutos para evaluar la cinética de gelatinización; después de la presurización, se obtuvieron resultados positivos relacionados con la resistencia del gel y la inflamación de los gránulos de almidón, como se muestra por Simonin *et al.*, (2010).

Los estudios realizados por Li *et al.* (2011), mostraron que la presurización del almidón de arroz a 600 MPa durante 30 minutos dio como resultado la ruptura completa de los gránulos, y el nivel de presión crítica debe de estar entre 480 y 600 MPa para alcanzar su completa gelatinización.

Rubens y Heremans, (2000) observaron que eran necesarias presiones de 400 MPa para inducir la gelatinización del almidón de arroz a temperaturas inferiores a 61 °C.

Estudios realizados por Yamakura *et al.*, (2005) demuestran que aplicando un remojo de 30 minutos a 25 °C de un arroz con contenido medio-bajo de amilosa y tratado con HHP a 400 MPa durante 10 minutos y después cocinado se consigue un grado de gelatinización del 91,4%, mientras que ese mismo arroz remojado y cocinado el mismo tiempo, pero sin aplicar el tratamiento a presión presenta un grado de gelatinización del 85,5%, es decir, un 6% menor.

Tan *et al.* (2009) sometieron a suspensiones de almidón de arroz al 10% de una nueva variedad japónica, *Tainung 71*, de bajo a medio contenido de amilosa, a tratamientos térmicos (20-85 °C), y combinaciones de tratamientos térmicos con altas presiones (100-600 MPa a 20, 40 y 50 °C) durante 15 minutos para investigar su grado de gelatinización y características reológicas. Los resultados obtenidos indicaron que en la gelatinización por altas presiones en el almidón ensayado se produce menor absorción de agua que en aquella obtenida por tratamientos térmicos y que, a mayor temperatura o presión aplicada, mayor es el grado de gelatinización. La gelatinización completa se consiguió con el tratamiento térmico a 85 °C, y la aplicación de las combinaciones 500 MPa y 50 °C y a 600 MPa a diferentes temperaturas. Los resultados obtenidos en este trabajo indican que la aplicación de altas presiones para gelatinizar almidón puede mejorar el sabor y la textura del arroz frente al elaborado empleando tratamientos térmicos.

Uno de los objetivos principales de todos estos trabajos de investigación es el de conseguir un producto como es el caso del arroz, que pueda ser utilizado como un alimento de rápida preparación y sin perder los atributos de calidad. La reducción del tiempo de cocción final del arroz instantáneo o precocido lo hace atractivo para consumidores que buscan alimentos de preparación rápida y fácil que no disponen de mucho tiempo a la hora de comer y no quieren sustituir la comida sana por la denominada comida rápida cuya calidad nutritiva es bastante inferior, así como para empresas de catering que ofrecen platos preparados a colectividades.

En el caso del arroz integral, rico en vitaminas y minerales, presenta el problema de su bajo consumo debido a su largo tiempo de cocción (45-60 min), baja estabilidad y atributos sensoriales no atractivos. En los últimos años ha habido un auge en el desarrollo de productos saludables y de rápida preparación, como es el caso del empleo de HHP para conseguir reducir esos tiempos de cocción e intentar aumentar los atributos de calidad.

Sin embargo, en estos arroces tratados mediante HHP la calidad sensorial no consigue alcanzar la de arroces de cocción tradicional y también plantean problemas en cuanto al tiempo de rehidratación (Prasert y Suwannapor, 2009).

La tecnología de las altas presiones parece que puede hacer viable estas expectativas en cuanto a tiempos de preparación y a calidad, aunque todavía es necesario continuar con las investigaciones para conseguir un producto que pueda competir con el arroz tradicional en cuanto a calidad se refiere.

2 OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

2.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es analizar el efecto de la alta presión hidrostática (HHP), aplicando tratamientos moderados y tratamientos más intensos, sobre la calidad de cocción del arroz de grano corto variedad *Maratelli*, con la finalidad de desarrollar un arroz de cocción rápida alternativo al elaborado por tratamientos térmicos.

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

- Evaluar el efecto de un tratamiento suave de HHP sobre la calidad del arroz cocinado de forma tradicional y con microondas
- Evaluar el efecto de los tratamientos de HHP de diferente intensidad sobre la calidad de cocción final con microondas

2.2 PLAN DE TRABAJO

En este trabajo de investigación se desarrollarán una serie de actividades indispensables para la consecución de los objetivos específicos propuestos, con la finalidad de alcanzar el objetivo general.

2.2.1 Revisión bibliográfica

El trabajo comienza, en primer lugar, con la búsqueda de información relacionada con la aplicación de la tecnología de las altas presiones sobre el arroz, de manera que den una idea, así como datos específicos de las investigaciones que se han llevado a cabo hasta la fecha.

2.2.2 Elección de los tratamientos a aplicar

Se seleccionarán dos tratamientos de alta presión hidrostática, 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:

- Características de cocción.
- Caracterización de la calidad del grano cocido.

2.2.4 Puesta punto de los métodos de análisis

- Métodos para el descascarillado y pulido del grano.
- Métodos para la caracterización del grano crudo.
- Métodos para determinar las características de cocción.
- 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 planteados.

2.2.6 Análisis de los resultados

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

3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la ejecución de este trabajo se parte de una única variedad de arroz a la que se le somete a dos tratamientos de presión, uno moderado y otro más intenso, dejando una tercera muestra sin tratar utilizada como control.

Los tratamientos a aplicar son los siguientes:

- Tratamiento moderado de HHP a 400 MPa durante un tiempo de 10 minutos a una temperatura de 20 °C.
- Tratamiento más intenso a 600 MPa durante 10 minutos a 40 °C que consiga un mayor grado de gelatinización.

Cada ensayo se realizará por duplicado.

Para las muestras tratadas y la control se determinarán los siguientes parámetros:

- Características de cocción:
 - Tiempo de cocción
 - Absorción de agua y volumen de expansión del grano
 - Elongación del grano
 - Pérdida de sólidos
 - Contenido de humedad
- Caracterización de la calidad del grano cocido:
 - Perfil de textura instrumental
 - Calidad sensorial

En la figura 5 se muestra esquemáticamente el diseño planteado.

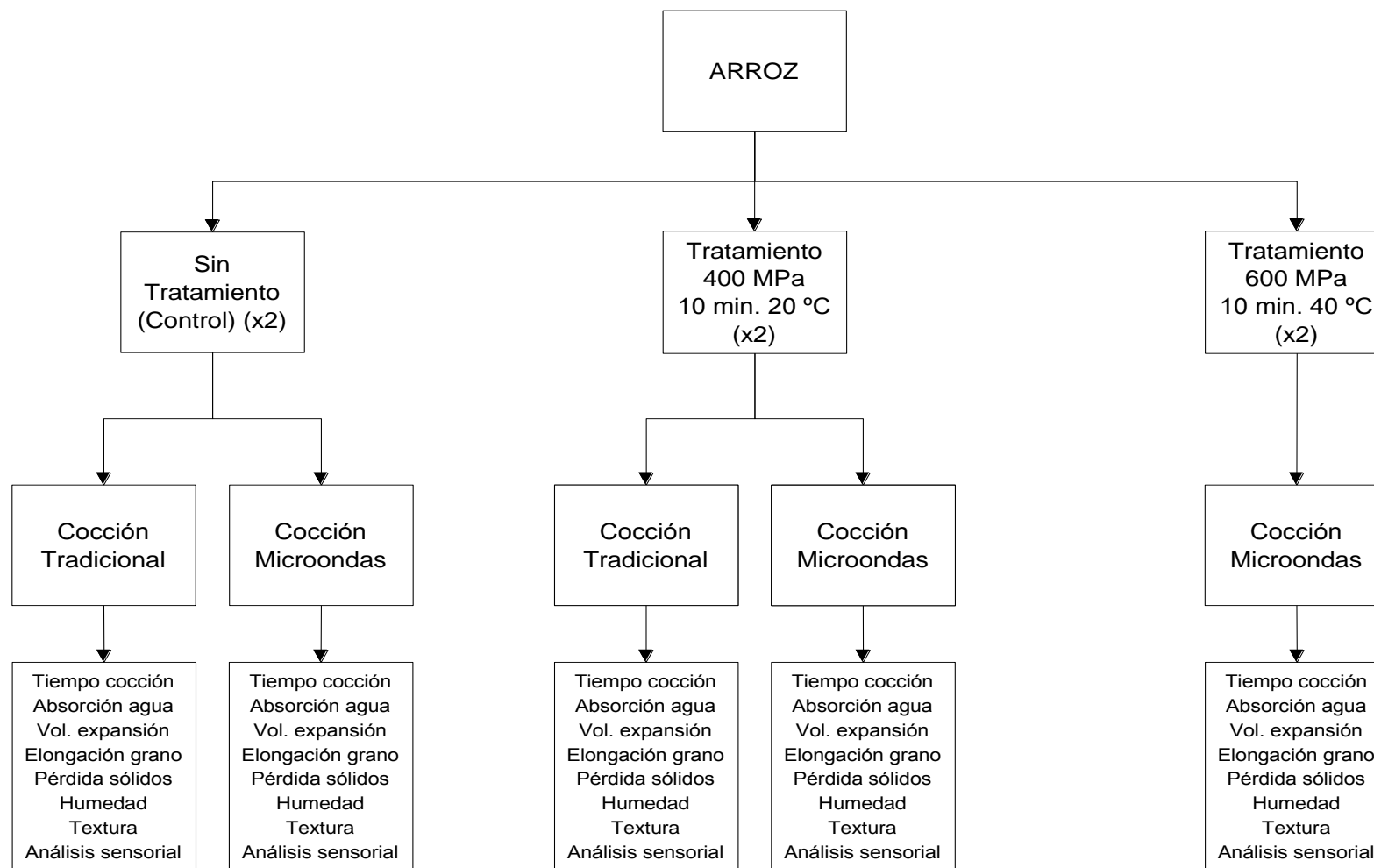


Figura 5. Esquema del diseño experimental

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIALES

4.1.1 Materia prima

Para la realización del trabajo se ha seleccionado un cultivar perteneciente a la variedad japónica de grano medio denominado *Maratelli*, cuyo cultivo se extiende por la ribera de Navarra. El arroz ha sido suministrado por la cooperativa San Esteban de Arguedas en forma de arroz cáscara, por lo que ha sido necesario un proceso de descascarillado y pulido en la planta piloto de la Universidad Pública de Navarra. Gracias a trabajos anteriores (Gazólaz, M., 2009) realizados con arroz *Maratelli*, se sabe que contiene un 11,09 % de proteínas y un 1,47 % de cenizas.

4.1.2 Otros materiales

Entre los materiales utilizados para llevar a cabo los análisis destacan:

- Recipiente de vidrio pírex con tapa de plástico apto para microondas, de 16 cm de diámetro y 1,6 l de capacidad.
- Cazo metálico para cocinar sobre la placa calefactora de 1,5 litros de capacidad.
- Micrómetro de marca Mitutoyo con una precisión de 1 μm .
- Báscula con una precisión de 0,001 g.
- Micropipetas.
- Molinillo Moulinex.
- Tamiz de 200 μm .
- Termoselladora manual.
- Bolsas de vacío de PA/PE 20/70 (poliamida/polietileno).
- Material de vidrio de laboratorio (matraces, vasos de precipitados,...).

4.1.3 Equipos

Los equipos necesarios que permitirán la realización del trabajo son los siguientes:

- Equipo de altas presiones marca Stansted Fluid Power, modelo FPG 5500 HL.
- Texturómetro Texture Analyser, modelo TA-XTPlus equipado con la sonda P/75 y con el programa Texture Expert
- Horno microondas Taurus, modelo Luxus Grill, de 21 L y 800 W.
- Placa calefactora J. P. Selecta de 1900 W.
- Estufa J.P. Selecta de 250 W.
- Descascarillador Imcora, modelo Paz 1.
- Envasadora al vacío Sammic, modelo V-640 SGA
- Analizador de humedad GRAM, modelo ST H50

Debido a la importancia del equipo de altas presiones (figura 6) utilizado en este trabajo se detallan a continuación sus características técnicas:

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



Figura 6. Equipo de altas presiones Stansted Fluid Power, FPG 5500 HL.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Preparación de la materia prima

El arroz utilizado para el desarrollo del trabajo es suministrado en forma de arroz cáscara, de manera que en primer lugar será necesario separar la cáscara del grano. Para realizar esta operación se utiliza un descascarillador Imcora (figura 7) en el que se ajusta primeramente la distancia de los rodillos a través de los cuales va a pasar el arroz. De este modo, se hace pasar el arroz en dos ocasiones vertiéndolo poco a poco para asegurar así que todos los granos se desprendan de su cáscara. Al terminar el proceso de descascarillado se efectúa el pulido de los granos con el mismo equipo. Una vez se ha ajustado el esmeril en la posición adecuada se introduce el arroz durante un minuto en la cámara de pulido. Pasado ese tiempo el arroz ya blanqueado se introduce en un tambor giratorio durante un minuto para desechar los granos que están rotos. Por último, se empaqueta el arroz en bolsas PA/PE 20/70 selladas a vacío y se introducen en la cámara frigorífica a 4 °C para su correcta conservación.



Figura 7. Descascarillador Imcora Paz 1.

4.2.2 Caracterización del grano crudo

4.2.2.1 Contenido de humedad

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

4.2.3 Tratamiento con HHP

En primer lugar, se prepara la muestra para el remojo introduciendo 60 gramos de arroz con 300 ml de agua (proporción 1:5) en bolsas PA/PE 20/70 manteniéndola durante 45 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 los parámetros presión, tiempo y temperatura a aplicar.

Los tratamientos de HHP son:

- 400 MPa durante 10 minutos a 20 °C de temperatura.
- 600 MPa durante 10 minutos a 40 °C de temperatura.

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

En la figura 8 se representa el esquema del proceso de presurización en el que se observan los parámetros con los que se ha configurado el tratamiento.

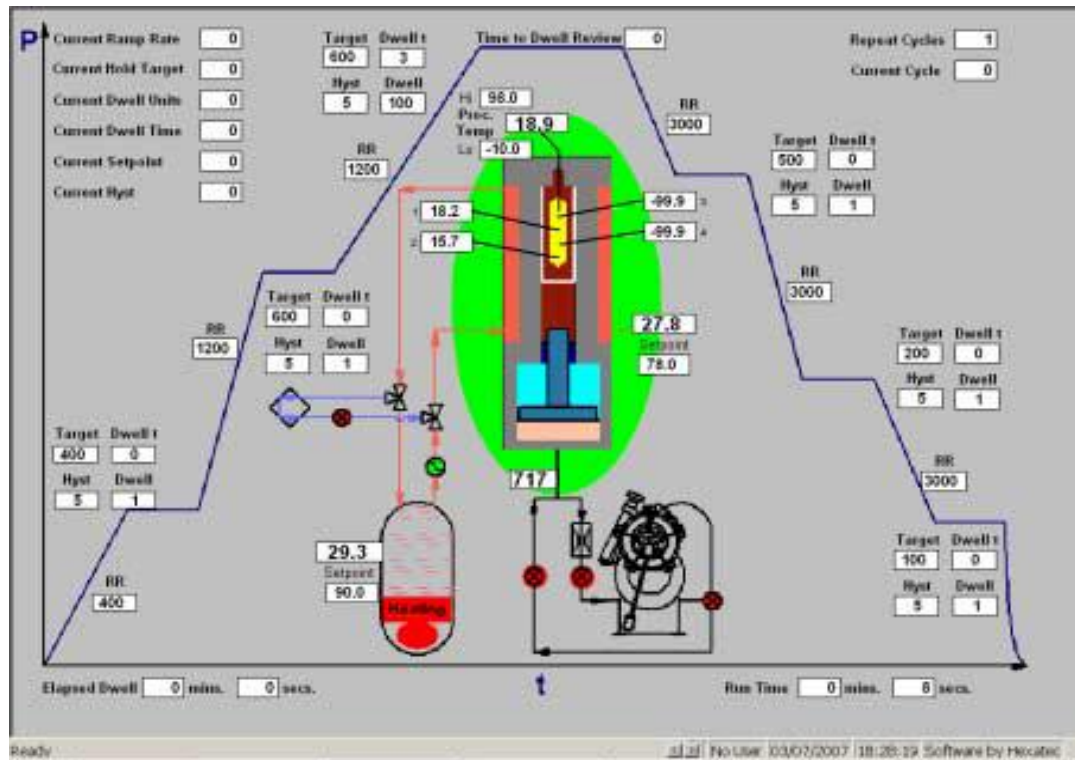


Figura 8. Detalle pantalla de control del tratamiento.

4.2.4 Características de cocción

4.2.4.1 Tiempo de cocción

Se siguió el método establecido por Juliano (1985). Para la cocción tradicional, se mezclan 5 g de arroz con 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitados de 250 ml y se coloca en un baño maría ($98\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$). El tiempo mínimo se halla cuando sacando unos granos y presionándolos entre dos placas, el 90 % del grano no tiene centro opaco. El tiempo óptimo es el tiempo mínimo más dos minutos. En la cocción por microondas se sigue el mismo procedimiento para determinar el tiempo, pero en este caso se utiliza un recipiente de cristal de 1,6 l de capacidad donde se mezcla 15 g de arroz con 300 ml de agua destilada.

4.2.4.2 Absorción de agua y volumen de expansión del grano

Se aplicó el método de Juliano (1971), en el cual, se mezcla 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. En el ensayo con microondas se mezclan los 10 g de arroz con 300 ml de agua destilada en el recipiente anteriormente citado. Tras la cocción se pasa la muestra por un tamiz y se pesa. El volumen se mide en una probeta. Así pues, la absorción aparente de agua y volumen de expansión se hallará mediante las siguientes fórmulas:

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

Peso arroz crudo

$$\text{Volumen de expansión} = \frac{\text{Volumen arroz cocido}}{\text{Volumen arroz crudo}}$$

4.2.4.3 Elongación del grano

Se utilizó el método dado por Tian R. (2005). Se miden la longitud de 10 granos antes de cocerse (BCL), se cuecen, se secan con papel de filtro y se dejan durante 30 minutos en un desecador. Se mide la longitud de los 10 granos tras la cocción (ACL). La elongación del grano será:

$$CRE(\%) = \frac{ACL - BCL}{BCL} \times 100$$

4.2.4.4 Pérdida de sólidos

Una vez cocido el arroz, se escurre y se pesa el agua sobrante en un erlenmeyer. Se coloca en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Después se deja enfriar en un desecador y se pesa (IRRI, 1979). La diferencia de peso del erlenmeyer (antes y después de la estufa) dividida entre el peso de la muestra de arroz crudo define la pérdida de sólidos (%).

4.2.4.5 Contenido de humedad

El método utilizado para determinar la humedad es el mismo que el del apartado 4.2.2.1, pero en este caso el arroz utilizado no es el crudo, sino el tratado por HHP y cocinado.

4.2.4.6 Textura

Se utiliza el analizador de textura TA-XT.Plus con la sonda P/75 (figura 9) que tiene una superficie circular de 4417 mm². 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 10, 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. Se grafican los resultados fuerza vs tiempo, obteniéndose dos curvas por muestra y a partir de ellas se obtienen los atributos de textura: *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 representando 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: $A_{2da\ compresión}/A_{1ra\ compresión}$); *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) y *TA-masticabilidad* (el producto de la elasticidad y la gomosidad). Se realizan diez análisis por muestra.



Figura 9. Texturómetro TA-XT Plus con la sonda P/75

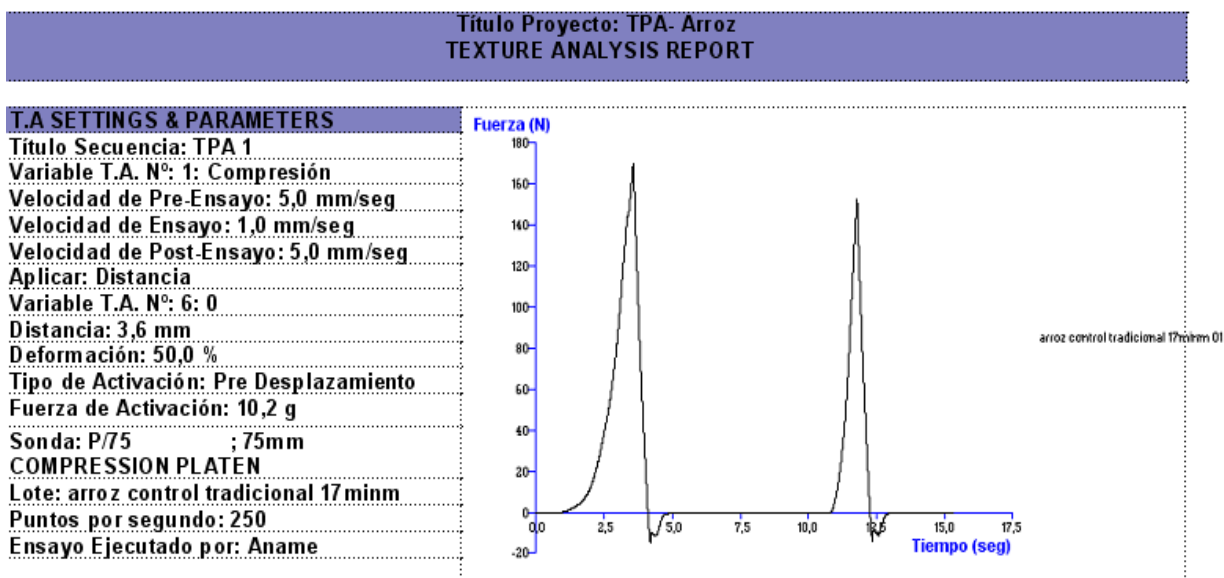


Figura 10. Detalle de la pantalla de parámetros de textura junto con el gráfico obtenido tras el ensayo.

4.2.5 Análisis sensorial

La prueba consiste en un análisis descriptivo siguiendo la norma UNE 87025.

Para ello, se utiliza una prueba de valoración con escala lineal no estructurada de 10 cm. Los catadores evalúan las muestras indicando la intensidad de la característica específica trazando

una línea vertical en el punto apropiado de la escala para cada atributo sensorial. Los valores numéricos asignados por cada catador o juez a cada atributo evaluado se determinan midiendo la distancia entre el extremo izquierdo de la escala y la marca dada por cada uno de ellos en unidades de 0,5 cm. Así por ejemplo, una distancia de 5 cm equivalía a un valor numérico de 10.

El análisis sensorial se realiza en la sala de catas del Departamento de Tecnología de Alimentos en donde se valoran los atributos de *dureza*, *adhesividad en boca*, *gomosidad* e *impresión global*.

En el panel participan diez catadores y a cada uno se le suministra, conjuntamente con la ficha de cata (anexo 1), una hoja en la que se encuentran descritos cada uno de los atributos de textura a evaluar. Las muestras a valorar se presentan en un plato de plástico pequeño en porciones de 25 gramos y codificadas con un número aleatorio de 3 dígitos.

4.2.6 Análisis estadístico

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

2007.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL GRANO CRUDO

5.1.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad del grano crudo tras el descascarillado es del 12,06 % \pm 0,08. Este porcentaje de humedad está dentro de la normalidad, ya que valores superiores pueden ocasionar la degradación del grano debido al desarrollo de hongos y levaduras. Un índice de humedad entre 10 % y 13 % asegura la conservación y durabilidad del arroz, y el máximo aceptable en el arroz comercial es del 14 %.

5.1.2 Contenido de amilosa

En esta variedad el contenido de amilosa es de 18,24 % \pm 0,38 (Chávez, 2010). Según Juliano (1979) este porcentaje se encuentra dentro de los arroces de bajo contenido en amilosa. A mayor contenido de amilosa se favorece el proceso de retrogradación, lo que supone una menor retención de caldo por parte del grano y consecuentemente una menor captación de los sabores y aromas (Carreres, 2003).

5.2 EFECTO DEL TRATAMIENTO DE HHP A 400 MPa PARA DISTINTAS TÉCNICAS DE COCCIÓN

5.2.1 Características de cocción

5.2.1.1 Tiempo de cocción

Los resultados obtenidos para el tiempo de cocción se muestran en la figura 11.

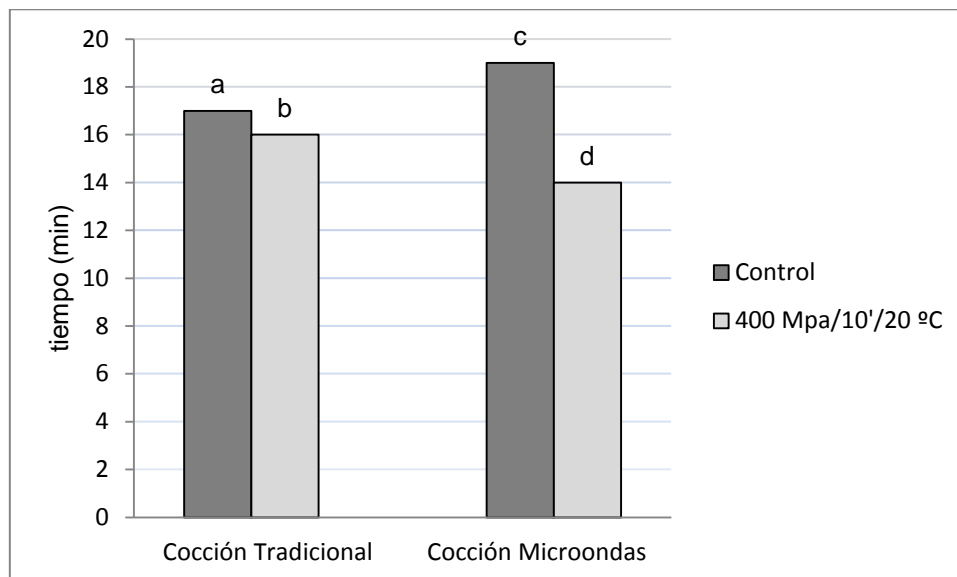


Figura 11. Tiempo necesario para la cocción de forma tradicional y mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C y sin tratar (control), con sus desviaciones estándar.

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras, para cada método de cocción aplicado.

Tras analizar los tiempos que se necesitan para la cocción de forma tradicional se observa que hay diferencias significativas entre el arroz que no ha sido presurizado (control) y el que ha sido tratado a 400 MPa. El control presenta un tiempo de 17 minutos, mientras que el tratado necesita un minuto menos para estar a un nivel de cocción similar, por lo que parece que el tratamiento a presión reduce significativamente el tiempo para la preparación de este producto.

En el caso de la cocción mediante microondas el tiempo de cocción del arroz control (19 min.) es cinco minutos superior al arroz tratado a presión, de manera que se observa claramente que existen diferencias significativas.

Según Liu *et al.*, (2009), la presión aumenta el proceso de difusión de agua en los gránulos de almidón y eso conduce a romper la estructura cristalina, por lo que tiene sentido que tras el tratamiento por HHP se reduzca el tiempo de cocción.

Si se comparan independientemente los resultados obtenidos en ambos métodos de cocción, parece que la reducción del tiempo para la preparación del arroz es más acusado en la cocción por microondas, por lo que en principio sería más eficaz utilizar este método en cuanto a reducción del tiempo de cocción.

5.2.1.2 Absorción de agua

En la figura 12, se representan los datos obtenidos en la absorción de agua para cada uno de los métodos de cocción.

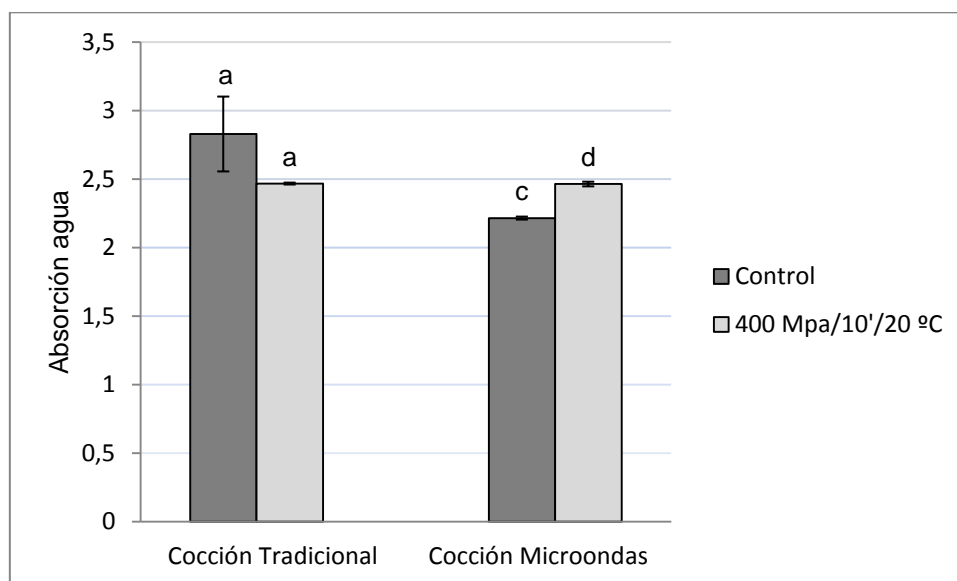


Figura 12. Absorción de agua de arroz cocinado de forma tradicional y mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras, para cada método de cocción aplicado.

En las muestras que se han cocinado por el método tradicional no hay diferencias significativas. A pesar de no haber diferencias significativas, se observa que el valor medio de la muestra control es superior a la tratada a 400 MPa, lo que está de acuerdo con los estudios realizados por Tan *et al.* (2009), que concluían que la gelatinización por altas presiones produce una menor absorción de agua que en aquella obtenida por tratamiento térmico.

En el caso de la cocción por microondas se observan diferencias significativas, aunque no son demasiado grandes. La muestra tratada a 400 MPa, a diferencia de lo observado en la cocción tradicional, presenta una mayor absorción de agua respecto al control lo que indica que la presurización del arroz provoca un aumento considerable en el valor de este parámetro, ya que a pesar de que la muestra control ha estado cinco minutos más en el microondas que la muestra tratada, ésta última absorbe mayor cantidad de agua.

5.2.1.3 Volumen de expansión

A continuación se muestran en la figura 13 los resultados de volumen de expansión.

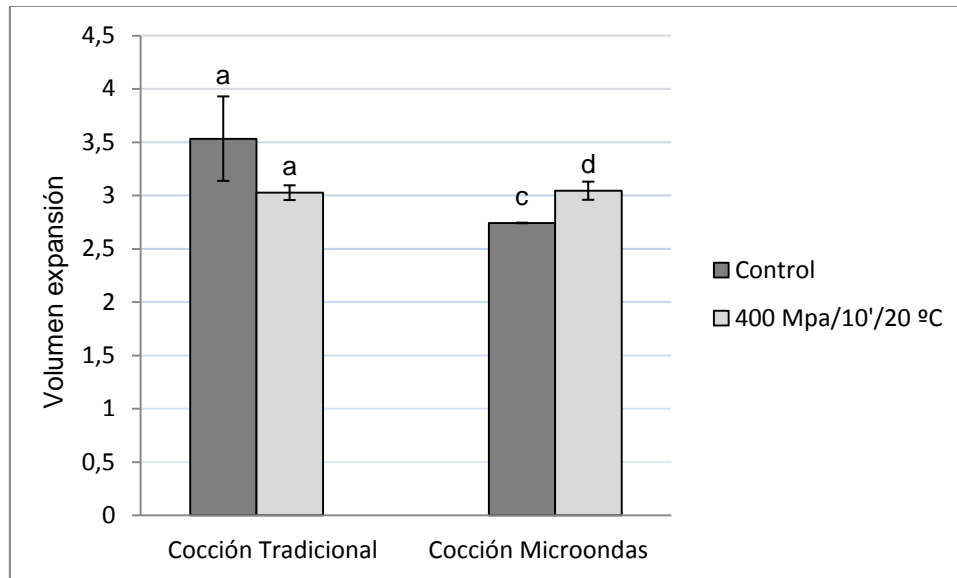


Figura 13. Volumen de expansión de arroz cocinado de forma tradicional y mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras, para cada método de cocción aplicado.

El volumen de expansión está ligado a la absorción de agua, así que como se puede apreciar los resultados son muy similares en ambos parámetros.

En la cocción tradicional las muestras no presentan diferencias significativas, aunque como se ha mencionado en el apartado anterior parece que la muestra presurizada absorbe menor cantidad de agua y a su vez el volumen de expansión es menor respecto a la muestra que ha sido gelatinizada únicamente por tratamiento térmico.

La cocción por microondas muestra diferencias significativas entre las muestras, siendo el arroz tratado el que presenta un mayor volumen de expansión respecto al control.

5.2.1.4 Elongación del grano

En la figura 14 se representan los valores obtenidos en la elongación del grano.

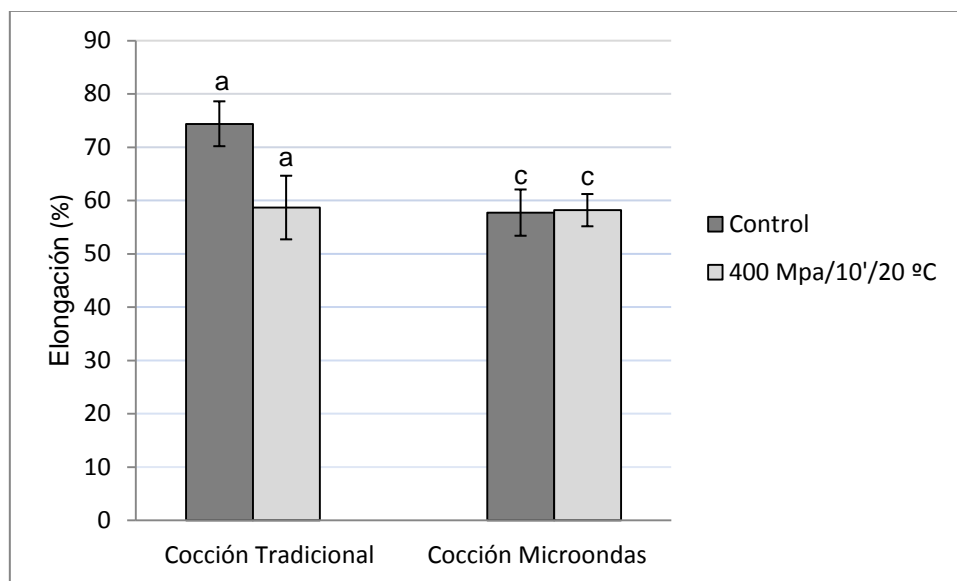


Figura 14. Elongación del grano de arroz cocinado de forma tradicional y mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras, para cada método de cocción aplicado.

En la cocción por el método tradicional se observa que no existen diferencias significativas entre las muestras, aunque parece que el arroz control presenta una mayor elongación que el arroz tratado a 400MPa.

Del mismo modo, en la cocción por microondas tampoco hay diferencias significativas, aunque en este caso las muestras no difieren apenas entre sí.

La posible explicación de que no existan diferencias significativas en ninguno de los dos métodos de cocción puede deberse a que, tanto la muestra tratada como en el control, se consigue la gelatinización completa del arroz debido a la cocción, por lo que la elongación del grano es la máxima posible en ambas muestras.

5.2.1.5 Pérdida de sólidos

Los resultados obtenidos para las pérdidas de sólidos se muestran en la figura 15.

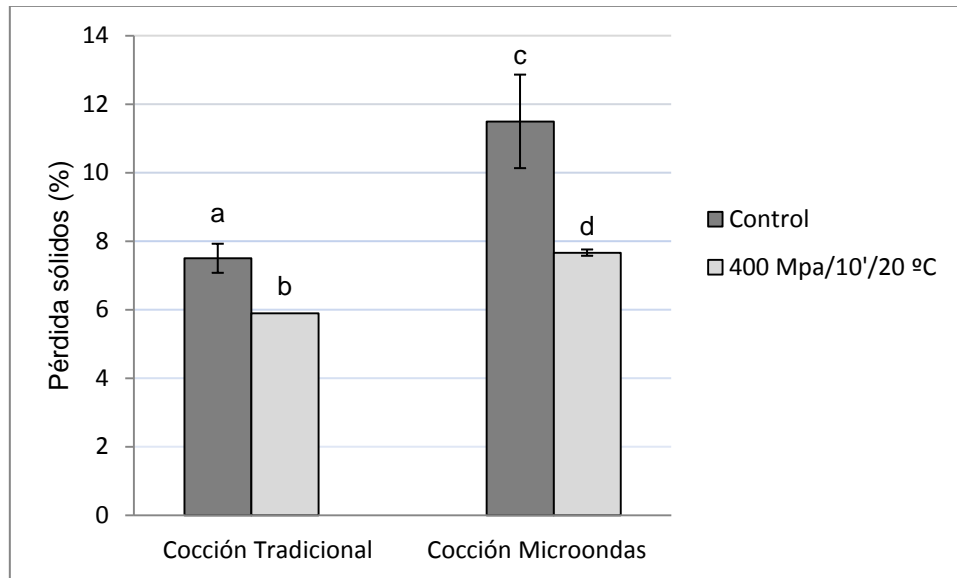


Figura 15. Pérdida de sólidos de arroz cocinado de forma tradicional y mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras, para cada método de cocción aplicado.

Tras analizar los resultados obtenidos se observa que en la cocción de arroz por el método tradicional existen diferencias significativas entre las muestras. El control presenta una mayor pérdida de sólidos durante la cocción que la muestra tratada a 400 MPa.

En la cocción por microondas existen también diferencias significativas entre ambas muestras, siendo el control la que tiene valores más altos.

El resultado obtenido para ambos métodos de cocción es el mismo, ya que tras el tratamiento con HHP se reduce la pérdida de sólidos durante la cocción. La causa de esa menor pérdida en las muestras tratadas puede ser debida a que la presurización a 400 MPa aumenta el proceso de difusión de agua en los granos de almidón, facilitando así su gelatinización posterior, lo que se produce en menos tiempo.

5.2.1.6 Contenido de humedad

Por último, en la figura 16 queda representado el contenido de humedad.

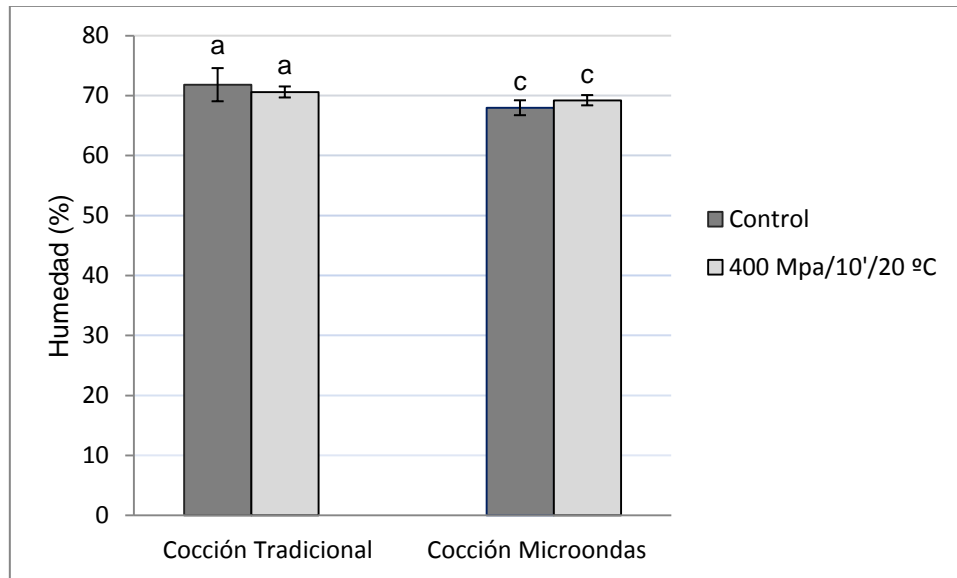


Figura 16. Contenido de humedad de arroz cocinado de forma tradicional y mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras, para cada método de cocción aplicado.

Tanto en la cocción por el método tradicional como por microondas no existen diferencias significativas entre la muestra control y la tratada a 400 MPa. Además, los dos métodos de cocción presentan unos valores muy similares de humedad en torno al 70%.

Estas similitudes entre las muestras y los métodos serán debidas probablemente a que en todos los casos el grano ha llegado a la gelatinización completa, es decir, ha absorbido la mayor cantidad de agua posible, de modo que a pesar de haber diferencias entre los tratamientos y las formas de cocinar el arroz, todos llegan al mismo nivel de cocción.

Como conclusión, a la vista de los resultados parece que el tratamiento con altas presiones en arroz produce una disminución en el tiempo de cocción, ya sea de forma tradicional y en microondas.

La pérdida de sólidos puede estar relacionada con el tiempo de cocción, ya que el arroz tratado a presión al necesitar un menor tiempo para su preparación la pérdida de sólidos es menor.

En el caso de la elongación del grano, se ha visto que el método de cocción no influye apenas, ni tampoco el tratamiento de alta presión, ya que como se puede ver en la figura 17 tras la cocción todas las muestras presentan un nivel similar de cocción. Sucede lo mismo con el contenido de humedad que es similar en todas las muestras.



Figura 17. Aspecto del grano de arroz cocido tras la aplicación de diferentes tratamientos.

5.2.2 Caracterización de la calidad del grano cocido

5.2.2.1 Perfil de textura instrumental

5.2.2.1.1 Cocción tradicional

Los resultados del análisis instrumental de textura de las muestras tratadas y sin tratar una vez cocinadas de forma tradicional son los que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Textura instrumental del arroz tratado a 400 MPa y sin tratar (control) cocinados de forma tradicional. Valores medios \pm desviaciones estándar y ANOVA ($p < 0,05$).

Variable	TRATAMIENTO		Ratio F	p-valor
	Control	400 MPa/10'/20°C		
Dureza (kg)	17,64 \pm 0,06	20,31 \pm 0,98	14,761	0,062
Adhesividad (kg sec)	-0,82 \pm 0,19	-0,81 \pm 0,22	0,002	0,969
Elasticidad	0,56 \pm 0,06	0,47 \pm 0,04	2,266	0,271
Cohesividad	0,54 \pm 0,03	0,53 \pm 0,02	0,024	0,892
Gomosidad (kg)	9,56 \pm 0,51	10,93 \pm 1,03	2,842	0,234
Masticabilidad (kg)	5,43 \pm 0,92	5,26 \pm 1,03	0,032	0,874

Tras realizar el análisis estadístico de los resultados se observa que no existen diferencias estadísticas en ninguno de los atributos de textura instrumental entre la muestra control y la tratada a 400 MPa.

Los valores del parámetro dureza son los que mayor diferencia presentan entre las muestras, siendo el valor del arroz tratado algo superior al del control, por lo que quizás la presión provoque un ligero endurecimiento del arroz.

La adhesividad entre las dos muestras analizadas es la que tiene los valores más parecidos entre sí. Esto quiere decir que la presurización no influye en la adhesividad del arroz, cuando es cocinado de forma tradicional.

En cuanto a la elasticidad, a pesar de no haber tampoco diferencias significativas, la muestra de arroz tratada a presión tiene un valor más bajo que el control.

La cohesividad entre las muestras es casi la misma, por que el efecto del tratamiento de presión no repercute en este parámetro.

La gomosidad se obtiene indirectamente al multiplicar el parámetro de dureza por el cohesividad, por lo que resulta lógico que el arroz presurizado tiene una mayor gomosidad que el control, al igual que ocurre con la dureza.

Del mismo modo, la masticabilidad está relacionada con la gomosidad. Como se puede apreciar, la masticabilidad disminuye con el tratamiento de HHP.

5.2.2.1.2 Cocción en microondas

Los resultados de análisis instrumental de textura de las muestras tratadas y sin tratar una vez cocinadas mediante microondas son los que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Textura instrumental del arroz tratado a 400 MPa y sin tratar (control) cocinados mediante microondas. Valores medios \pm desviaciones estándar y ANOVA ($p < 0,05$).

Variable	TRATAMIENTO		Ratio F	p-valor
	Control	400 MPa/10'/20°C		
Dureza (kg)	20,83 \pm 1,44	19,16 \pm 3,69	0,352	0,613
Adhesividad (kg sec)	-0,49 \pm 0,11	-0,62 \pm 0,21	0,633	0,510
Elasticidad	0,52 \pm 0,01	0,51 \pm 0,06	0,067	0,820
Cohesividad	0,57 \pm 0,01	0,57 \pm 0,04	0,009	0,932
Gomosidad (kg)	11,95 \pm 0,66	11,14 \pm 2,94	0,145	0,740
Masticabilidad (kg)	6,29 \pm 0,22	6,82 \pm 0,81	0,790	0,468

En el caso de la cocción con microondas tampoco se observan diferencias significativas en ninguno de los parámetros analizados entre el arroz control y el arroz tratado a 400 MPa.

Como se puede observar, el valor de dureza, a diferencia de la cocción tradicional, disminuye con el tratamiento a presión.

Por otro lado, la adhesividad es mayor en la muestra tratada, por lo que parece indicar que en este tipo de cocción el tratamiento a presión produce un aumento de la adhesividad. Además al comparar estos valores con los obtenidos en la cocción tradicional se observa un claro aumento de la adhesividad respecto a los del microondas.

Tanto los valores de elasticidad como los de cohesividad no varían en función del tratamiento aplicado para este caso en el que se ha utilizado la cocción por microondas. Los resultados de ambos parámetros también son similares a los de la cocción tradicional.

Como ya se ha comentado, la gomosidad aumenta con la dureza y cohesividad, por lo que la muestra control al tener una mayor dureza que la tratada y al no variar el parámetro de cohesividad, tiene también una mayor gomosidad. Por otro lado, estos valores son algo superiores a los conseguidos en la cocción de manera tradicional.

Por último, parece que la masticabilidad aumenta ligeramente con el tratamiento de presión, aunque las diferencias no son significativas. Con la cocción por microondas parece que se consigue una mayor masticabilidad que la obtenida por cocción tradicional.

En conclusión, al no existir en ninguno de los dos métodos de cocción diferencias significativas entre las muestras para cada parámetro de textura instrumental, se puede decir que los efectos producidos por el tratamiento a 400 MPa no afectan de manera determinante a los atributos analizados.

5.2.2.2 Calidad sensorial

5.2.2.2.1 Cocción tradicional

En la tabla 5 se representa los resultados del análisis sensorial de las muestras tratadas y sin tratar una vez cocinadas de forma tradicional.

Tabla 5. Atributos sensoriales del arroz tratado a 400 MPa y sin tratar (control) cocinados de forma tradicional. Valores medios \pm desviaciones estándar y ANOVA ($p < 0,05$).

Variable	TRATAMIENTO		Ratio F	p-valor
	Control	400 MPa/10'/20°C		
Dureza	5,08 \pm 1,06	6,83 \pm 2,59	0,781	0,470
Adhesividad en boca	6,67 \pm 0,47	9,25 \pm 2,00	3,151	0,218
Gomosidad	6,67 \pm 0,70	9,75 \pm 2,94	2,071	0,287
Impresión global	7,83 \pm 0,23	8,42 \pm 1,29	0,392	0,595

Los resultados muestran que no existen diferencias significativas en los parámetros sensoriales entre la muestra control y la tratada a 400 MPa.

Sin embargo, al comparar los resultados de los dos tratamientos se observa que para todos y cada uno de los parámetros analizados el valor medio del arroz presurizado es superior al control. Esto quiere decir que la muestra tratada con HHP presenta mayor dureza, mayor adhesividad en boca, mayor gomosidad y causa una mejor impresión que la muestra control.

Hay que destacar que los parámetros de dureza y gomosidad de calidad sensorial están correlacionados con los de textura instrumental, ya que ambos atributos aumentan con el tratamiento de presión.

A pesar de no haber diferencias significativas parece que tras la cocción tradicional los catadores prefieren el arroz que ha sido pregelatinizado mediante HHP.

5.2.2.2.2 Cocción en microondas

Los resultados del análisis sensorial de las muestras tratadas y sin tratar una vez cocinadas mediante microondas son los que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Atributos sensoriales del arroz tratado a 400 MPa y sin tratar (control) cocinados mediante microondas. Valores medios \pm desviaciones estándar y ANOVA ($p < 0,05$).

Variable	TRATAMIENTO		Ratio F	p-valor
	Control	400 MPa/10'/20°C		
Dureza	5,58 \pm 0,35	7,33 \pm 1,41	2,882	0,232
Adhesividad en boca	9,25 \pm 0,35	9,42 \pm 2,00	0,013	0,918
Gomosidad	8,08 \pm 0,11	6,17 \pm 0,94	0,676	0,497
Impresión global	8,08 \pm 1,76	8,92 \pm 0,11	0,442	0,574

Al igual que en el caso anterior, no existen diferencias significativas entre las muestras control y las tratadas a presión para cada uno de los atributos analizados.

Los valores de dureza sensorial en la cocción por microondas son muy similares a los recogidos en cocción tradicional y del mismo modo la muestra tratada a presión presenta una mayor dureza que el control.

La adhesividad en boca no varía apenas entre el arroz control y el presurizado, por lo que para la cocción por microondas no influye el tipo de tratamiento para este atributo sensorial. Al comparar estos valores con los de la cocción tradicional se observa que ese caso las diferencias entre las dos muestras son bastante considerables, por lo que parece que el microondas produce un aumento de la adhesividad en las muestras sin tratar.

Al contrario que en la cocción tradicional, la gomosidad disminuye con el tratamiento de 400 MPa en la cocción por microondas. Además, al comparar los valores de las muestras control de ambos métodos de cocción se observa que la cocción por microondas produce un aumento de la gomosidad del arroz. En este caso la gomosidad está correlacionada con los resultados obtenidos para este mismo atributo en la textura instrumental.

Por último, la impresión global vuelve a ser similar aunque algo superior el de la muestra tratada a presión, lo cual es muy interesante, ya que tras el tratamiento no se pierde calidad.

En definitiva, la falta de diferencias significativas en cada uno de los parámetros de calidad entre las muestras control y las tratadas con la tecnología de HHP es muy interesante desde el punto de vista de la calidad sensorial. De este modo, parece que el arroz procesado mediante HHP puede ser perfectamente comercializado desde el punto de vista de la calidad sensorial, ya que parece que puede ser aceptado por los consumidores.

5.3 EFECTO DE DIFERENTES TRATAMIENTOS DE HHP SOBRE ARROZ COCIDO EN MICROONDAS

5.3.1 Características de cocción

5.3.1.1 Tiempo cocción

En la figura 18, se representan los datos obtenidos en el tiempo de cocción.

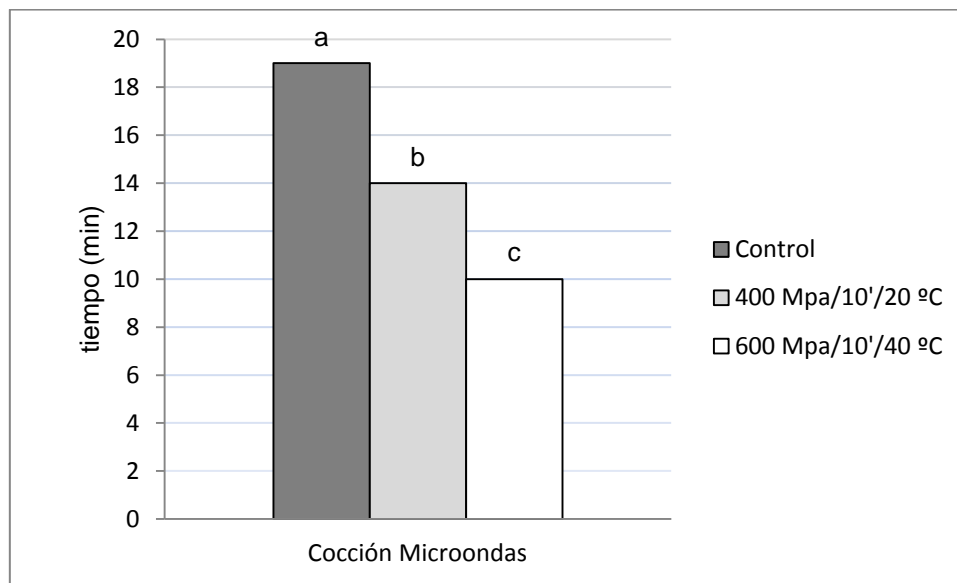


Figura 18. Tiempo necesario para la cocción mediante microondas de arroz tratado a 400 MPa 10min 20°C, a 600 MPa 10min 40°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras.

El tiempo de cocción de las muestras analizadas es muy diferente en función del tratamiento recibido, de manera que existen diferencias significativas entre cada una de ellas. Como era de esperar la muestra control presenta el mayor tiempo de cocción (19 min.), mientras que la muestra que ha recibido el tratamiento más intenso a 600 MPa y 40 °C es la que necesita un menor tiempo para su cocción (10 min.). Esta diferencia de nueve minutos entre la muestra control y el arroz tratado a 600 MPa es muy grande y resulta bastante interesante en la aplicación de esta tecnología HHP en la industria alimentaria para arroz de rápida preparación.

Este resultado era de esperar, ya que conforme se aumenta la presión ejercida sobre el arroz y se aumenta también la temperatura, se produce un incremento en la gelatinización del almidón del grano, de manera se necesita un menor tiempo para llegar a un mismo nivel de cocción.

5.3.1.2 Absorción de agua

La figura 19 muestra los resultados obtenidos de la absorción de agua.

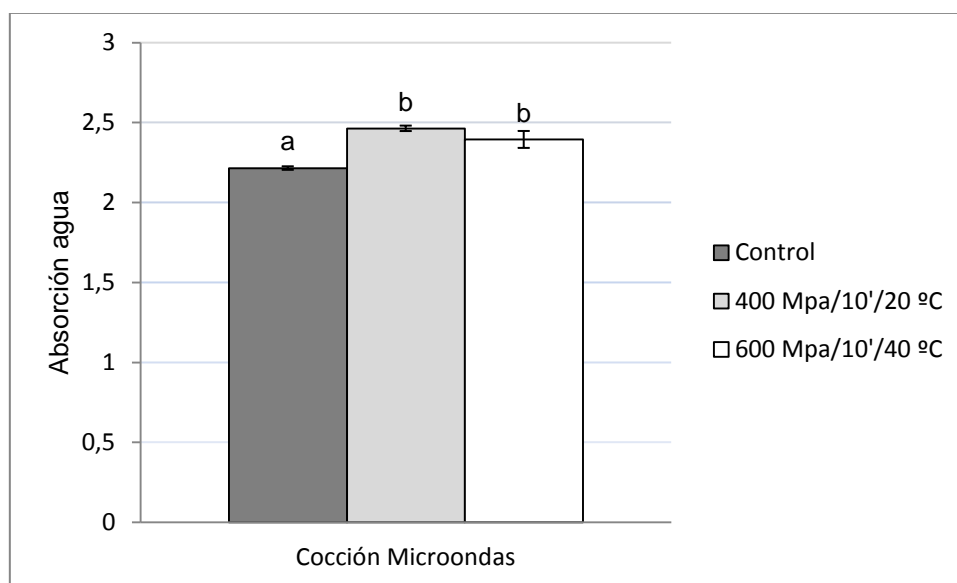


Figura 19. Absorción de agua de arroz cocinado mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C, a 600 MPa 10min 40°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras.

La muestra control presenta diferencias significativas respecto a las otras dos tratadas con HHP, entre las cuales no existen diferencias. A pesar de que las diferencias son pequeñas parece que la alta presión, independientemente de la intensidad del tratamiento, produce una mayor absorción de agua que el empleo únicamente del tratamiento térmico.

5.3.1.3 Volumen de expansión

A continuación están representados los resultados obtenidos para el volumen de expansión del grano.

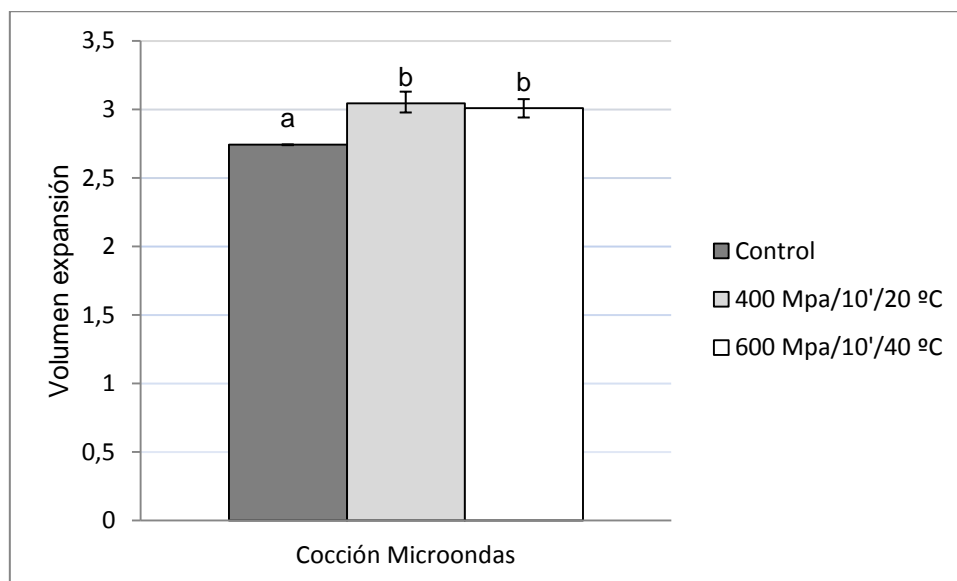


Figura 20. Volumen de expansión de arroz cocinado mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C, a 600 MPa 10min 40°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras.

Como ya se ha mencionado anteriormente el volumen de expansión del grano está ligado a la absorción de agua, de manera que los valores entre los diferentes tratamientos son similares. De este modo, no existen diferencias significativas entre las muestras que han sido procesadas mediante HHP, sin embargo hay diferencias significativas entre estas muestras y el control.

Se observa como las muestras tratadas a presión (400 y 600 MPa) presentan un mayor volumen de expansión que la muestra control, por lo que la presión parece que influye en el incremento de volumen.

5.3.1.4 Elongación del grano

En la figura 21 se representan los valores obtenidos en la elongación del grano.

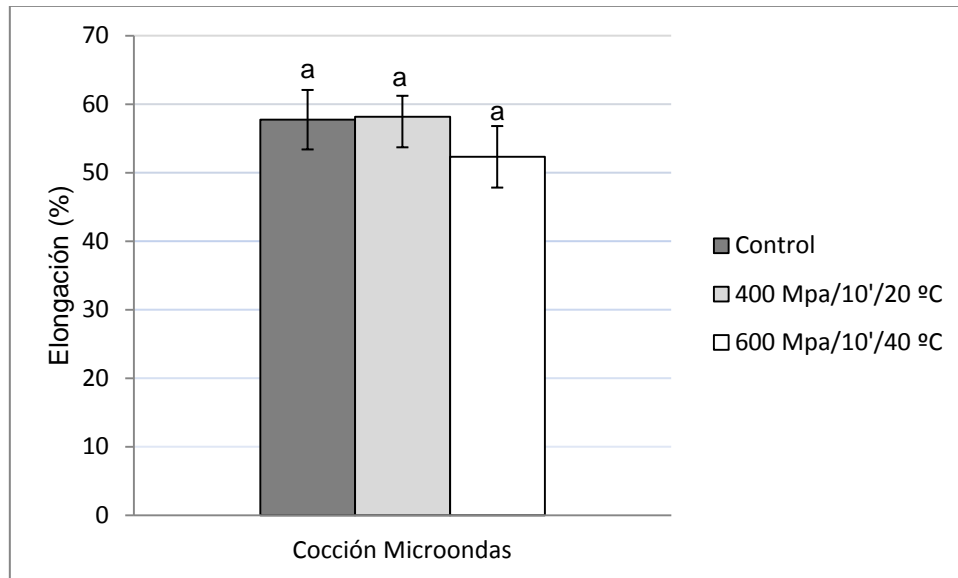


Figura 21. Elongación del grano de arroz cocinado mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C, a 600 MPa 10min 40°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras.

En el parámetro de elongación del grano no existen diferencias significativas entre las muestras de los distintos tratamientos, por lo que parece que la presión no influye en la elongación, ya que tras la cocción en microondas todas las muestras tienen una medida similar.

5.3.1.5 Pérdida de sólidos

En la figura 22 se representan los valores que toma la pérdida de sólidos para cada muestra.

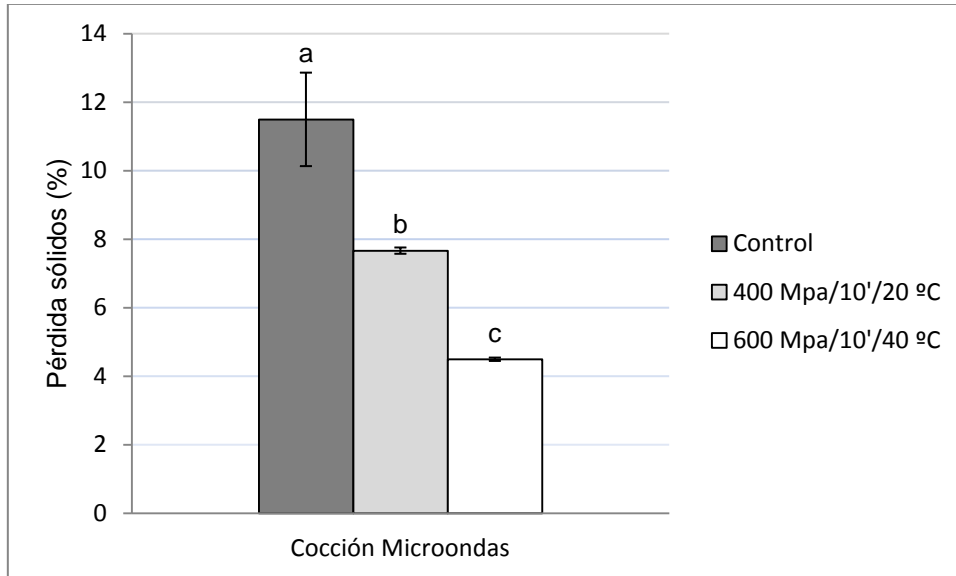


Figura 22. Pérdida de sólidos de arroz cocinado mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C, a 600 MPa 10min 40°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras.

La pérdida de sólidos en la cocción por microondas es muy distinta para cada una de las muestras, de manera que existen diferencias significativas entre ellas.

La muestra control es la que mayor pérdida de sólidos tiene con un valor de 11,5%, mientras que el tratamiento con 600 MPa tiene el valor más pequeño (4,5%). Como se puede observar en el gráfico, las tres muestras presentan una disminución proporcional a medida que se intensifica el tratamiento de presión.

5.3.1.6 Contenido de humedad

Los resultados obtenidos del contenido de humedad se muestran en la figura 23.

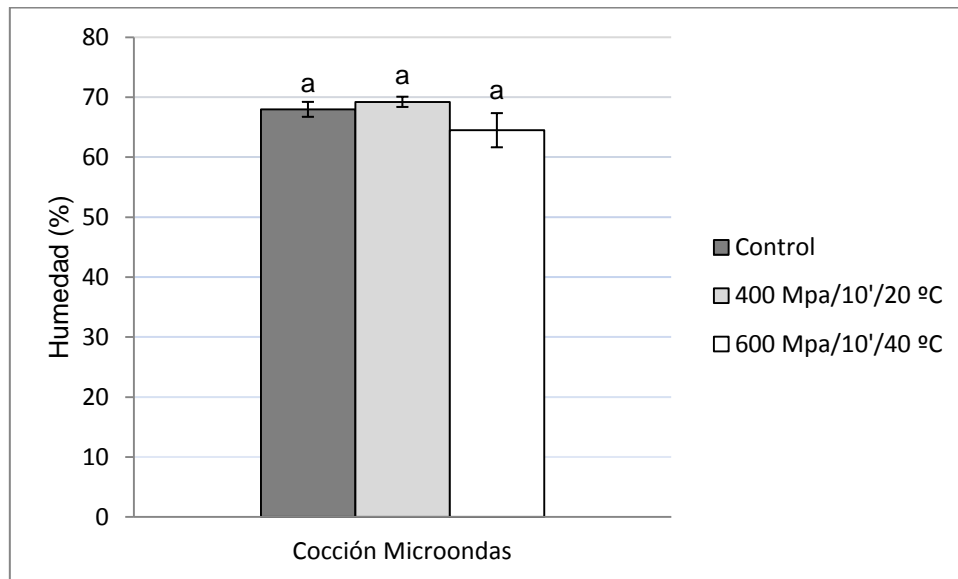


Figura 23. Contenido de humedad de arroz cocinado mediante microondas, tratado a 400 MPa 10min 20°C, a 600 MPa 10min 40°C y sin tratar (control).

* Letras distintas indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras.

Se puede apreciar que no existen diferencias significativas entre las muestras analizadas independientemente del tratamiento al que han sido sometidas. Como se ha indicado anteriormente esta similitud entre las muestras puede ser debido a que todas ellas presentan un nivel de cocción similar, por lo que el contenido de humedad en todos los casos es parecido.

5.3.2 Caracterización de la calidad del grano cocido

5.3.2.1 Perfil de textura instrumental

Los resultados de análisis instrumental de textura de las muestras tratadas y sin tratar una vez cocinadas mediante microondas son los que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Textura instrumental del arroz tratado con diferentes niveles de HHP cocinados mediante microondas. Valores medios \pm desviaciones estándar y ANOVA ($p < 0,05$).

Variable	TRATAMIENTO			Ratio F	p-valor
	Control	400 MPa/10'/20°C	600 MPa/10'/40°C		
Dureza (kg)	20,83 \pm 1,44	19,16 \pm 3,69	19,98 \pm 1,49	0,231	0,807
Adhesividad (kg sec)	-0,49 \pm 0,11	-0,62 \pm 0,21	-0,40 \pm 0,09	1,185	0,418
Elasticidad	0,52 \pm 0,01	0,51 \pm 0,06	0,52 \pm 0,04	0,044	0,958
Cohesividad	0,57 \pm 0,01	0,57 \pm 0,04	0,60 \pm 0,006	0,630	0,591
Gomosidad (kg)	11,95 \pm 0,66	11,14 \pm 2,94	11,99 \pm 0,77	0,144	0,871
Masticabilidad (kg)	6,29 \pm 0,22	6,82 \pm 0,81	6,27 \pm 0,06	0,810	0,523

Una vez analizados los resultados se observa que no existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos para ninguno de los parámetros de textura instrumental, en la cocción por microondas.

Independientemente de que las diferencias no sean significativas, tampoco se observa un aumento o disminución progresiva del valor de los atributos de textura en función de la intensidad del tratamiento, ya que la muestra control presenta mayores similitudes con la tratada a 600 MPa que con la de 400 MPa.

Parece que la intensidad del tratamiento para inducir la pregelatinización en el arroz no influye en los parámetros de textura, por lo que es un resultado positivo desde el punto de vista de la aplicación de la tecnología HHP para comercializar arroz de rápida preparación.

5.3.2.2 Calidad sensorial

A continuación se representa en la tabla 5 se representa los resultados del análisis sensorial de las muestras tratadas y sin tratar una vez cocinadas mediante microondas.

Tabla 8. Atributos sensoriales del arroz tratado con diferentes niveles de HHP cocinados mediante microondas. Valores medios \pm desviaciones estándar y ANOVA ($p < 0,05$).

Variable	TRATAMIENTO			Ratio F	p-valor
	Control	400 MPa/10'/20°C	600 MPa/10'/40°C		
Dureza	5,58 \pm 0,35	7,33 \pm 1,41	9,25 \pm 0,11	9,435	0,051
Adhesividad en boca	9,25 \pm 0,35	9,42 \pm 2,00	11,08 \pm 0,35	1,446	0,363
Gomosidad	8,08 \pm 0,11	6,17 \pm 0,94	11 \pm 0,00	6,590	0,080
Impresión global	8,08 \pm 1,76	8,92 \pm 0,11	9,50 \pm 0,23	0,952	0,478

En este caso tampoco existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos para los parámetros sensoriales analizados. A pesar de esto, en alguno de los atributos sí que se observan resultados distintos.

Los valores recogidos en el parámetro de dureza muestran que prácticamente existen diferencias entre los tratamientos, ya que tiene un p-valor cercano a 0,05 (0,051). Se puede apreciar que conforme aumenta la intensidad del tratamiento de pregelatinización aumenta linealmente la dureza de la muestra, pasando de 5,58 en el control a 9,25 en el tratamiento a 600 MPa.

La adhesividad en boca también aumenta, pero sólo con el tratamiento de 600 MPa, ya que entre la muestra control y la de 400 MPa no hay apenas diferencia.

El valor más alto de gomosidad se da también en el tratamiento de 600 MPa, aunque en este caso no hay un aumento lineal, ya que la muestra tratada a 400 MPa tiene un valor más bajo que el control.

Por último, destaca que la impresión global mejora conforme mayor es el tratamiento de presión. Aunque no existan diferencias significativas el valor medio de los resultados indican que con el tratamiento se puede mantener o incluso mejorar la calidad sensorial del arroz.

6 CONCLUSIONES

6.1 Efecto de altas presiones sobre las características de cocción del grano

Respecto al efecto del tratamiento moderado de altas presiones (400 MPa) sobre las características de cocción del grano, se ha observado una disminución del tiempo de cocción en ambos métodos (tradicional y microondas), aunque es en la cocción por microondas en la que se consigue una mayor reducción de dicho tiempo. El tratamiento de alta presión produce también una disminución en la pérdida de sólidos que parece estar relacionada con el tiempo de cocción.

En cuanto a los parámetros de absorción de agua y volumen de expansión el efecto del tratamiento moderado de presión difiere según el método de cocción aplicado, ya que en la cocción por microondas se observa un aumento de los valores, mientras que en la cocción por el método tradicional no existen diferencias.

En el caso de la elongación del grano y el contenido de humedad analizados tras la cocción, no se observan diferencias significativas sobre las muestras tratadas a 400 MPa y la control para ninguno de los dos métodos de cocción.

La aplicación de un tratamiento de presión más intenso (600MPa) sobre las muestras de arroz cocinadas en microondas, produce también una disminución en el tiempo de cocción y en la pérdida de sólidos, siendo todavía mayor que la obtenida con el tratamiento de 400 MPa. En el resto de parámetros analizados tras la cocción no existen diferencias significativas respecto al tratamiento moderado de presión.

6.2 Efecto altas presiones sobre las calidad del grano cocido

Tanto el análisis instrumental de textura como la evaluación sensorial realizados indican que la calidad del arroz procesado mediante la tecnología de HHP no difiere significativamente de la del cocinado únicamente por calor, para ninguno de los parámetros analizados, ya sea la cocción posterior al tratamiento de presión mediante microondas o de forma tradicional.

Los resultados obtenidos en el trabajo demuestran que el empleo de altas presiones hidrostáticas en el procesado de arroz (*Maratelli*) tiene gran interés puesto que puede emplearse para la elaboración de un producto de rápida preparación, cuya calidad sensorial no se vea afectada con respecto a la cocción tradicional.

7 BIBLIOGRAFÍA

AENOR (1996). Norma UNE 87025. Perfil de textura sensorial.

Ahmed, J., Ramaswamy, H., 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

Ahn, J., Balasubramaniam, VM., Yousef, A. E., (2007). Inactivation kinetics of selected aerobic and anaerobic bacterial spores by pressure-assisted thermal processing. *Int J Food Microbiol* 113:312

Baldo, B. A., y Wrigley, C. M. (1984). Allergies to cereals. *Advances in Cereal Science and Technology*, 6, 289-356.

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

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

Błaszczak, W., Fornal, J., Valverde, S., & Garrido, L. (2005). Pressure-induced changes in the structure of corn starches with different amylose content. *Carbohydrate Polymers*, 61(2), 132–140.

Błaszczak, W., Fornal, J., Kiseleva, V. I., Yuryev, V. P., Sergeev, A. I., & Sadowska, J. (2007). Effect of high pressure on thermal, structural and osmotic properties of waxy maize and Hylon VII starch blends. *Carbohydrate Polymers*, 68(3), 387–396.

Briz, J., De Felipe, I y Guerrero, L. (2005). Rice consumer attitudes in Spain: case of Madrid and Catalonia. *International Symposium of Rice Quality*, 24-27.

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

Carreres, R. (2003). El cultivo del arroz. En: "Jornadas sobre el genoma del arroz". Edit. Fundación Valenciana de Estudios Avanzados. 17-36.

- Chávez, D., (2010). Efecto del tratamiento con altas presiones y del remojo sobre la pregelatinización de arroz en grano (*Oryza Sativa* L. Cv. Maratelli). Memoria de investigación para optar al Diploma de Estudios Avanzados. Universidad Pública de Navarra. Pamplona. España.
- Cheftel, J. C., (1991). Application des hautes pressions en technologie alimentaire. Actualités des Industries Alimentaires et Agro-Alimentaire, 108, 141-153.
- Cheftel, J. C., (1992). Effect of high hydrostatic pressure on food constituents: An overview. *High Pressure and Biotechnology*, C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans, & P. Masson (ed), 195-209. Editions John Libbey Eurotext, Montrouge.
- Cheftel, J. C. (1995). Review: High-pressure, microbial inactivation and food preservation. *Food Science Technology*. Int. 1, 75-90
- Clark JP (2006). High pressure processing research continues. *Food Technology*. 60(2), 63
- Del Rosario, A.R., Briones, V.P., Vidal, A.J. y Juliano, B.O. (1968). Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel. *Cereal Chemistry*, 45, 225-235
- Denda, A., & Hayashi, R., (1992). Emulsifying properties of pressure-treated proteins. *High Pressure and Biotechnology*, 333-335. (eds) C.Balny, R. Hayashi, K. Heremans & P.Masson. John Libbey Eurotext, Montrouge.
- Douzals, J.P., Perrier-Cornet, J.M., Coquille, J.C. y Gervais, P. (2001). Pressure-temperature phase diagram for wheat starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 49, 873–876.
- Eshtiaghi, M.N. & Knorr, D. (1993). Potato cubes response to water blanching and high hydrostatic pressure. *Journal of Food Science*, 58, 1371-1374.
- Gazólaz, M. (2009). Caracterización de diferentes cultivares de arroz respecto a sus atributos de calidad. Memoria de investigación para optar al Diploma de Estudios Avanzados. Universidad Pública de Navarra. Pamplona. España.
- Gross, M. and Jaenické, R. (1994). Proteins under pressure. *Eur. J. Biochem.* 221, 617-630.
- Hayashi, R. (1989). Application of high pressure to food processing and preservation: philosophy and development. En: *Engineering and Food*. 2, pp 815-826

Hayashi, R., (1997). High Pressure Research in the Biosciences and Biotechnology, Leuven University Press, Leuven. 1-4.

Heremans K., (1982). High pressure effects on proteins and other biomolecules, Ann. Rev. Biophys. Bioeng. 11, 1–21.

IRRI, (1979). In proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality. International Rice Research Institute. pp 390

Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., et al. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*, 76, 629–637.

Juliano, B.O., (1971). A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science Today*. 16, 334-340.

Juliano, B.O. (1972). The rice caryopsis and its gross composition. En D.F. Houston, ed. *Rice chemistry and technology*. St. Paul, MN, EE.UU. Am. Assoc. Cereal Chem., 16-74

Juliano, B.O. y Bechtel, D.B. (1985). The rice grain and its gross composition. En B.O. Juliano, ed. *Rice chemistry and technology*. 2ª ed. St. Paul, MN, EE.UU. Am. Assoc. Cereal Chem., 17-57

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

Katopo, H., Song Y. y Jane, J. (2001). Effect and mechanism of ultrahigh hydrostatic pressure on the structure and properties of starches. *Carbohydrate Polymers*, 47, 233–244.

Kawai, K., Fukami, K., & Yamamoto, K. (2007). State diagram of potato starch-water mixtures treated with high hydrostatic pressure. *Carbohydrate polymers*, 67, 530-535.

Khaton, N., Prakash, J., (2007). Physico-chemical characteristics, cooking quality and sensory attributes of microwave cooked rice varieties. *Food Science Technology. Res.*, 13 (1), 35-40

Khush, G.S. (2005). What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030? *Plant Molec. Biol.* 59, 1-6.

- Kim, H. S., Choi, H. S., Kim, B., & Baik, M. Y. (2010). Characterization of acetylated corn starch prepares under ultrahigh pressure (UHP). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 3573-3579.
- Kimura, K.; Ida, M.; Yosida, Y.; Ohki, K.; Fukumoto, T.; Sakui, N. (1994). Comparison of keeping quality between pressure-processed jam and heat-processed jam: changes in flavor components, hue, and nutrients during storage. *Biosci. Biotech. Biochem.* 58(8), 1386-1391.
- Knorr, D. (1993). Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality. *Food Technology*. 47(6), 156-161.
- Li, W., Bai, Y., Mousaa, S., Zhang, Q., Shen, Q., (2011). Effect of High Hydrostatic Pressure on Physicochemical and Structural Properties of Rice Starch. *Food and Bioprocess Technology*. Published online: 01 March 2011.
- Limas, G.G., Salinas, M., Moneo, I., Fisher, S., Wittmann-Liebold, B. y Mendel, E. (1990). Purification and characterization of ten new rice Na-Cl soluble proteins: Identification of four protein-synthesis inhibitors and two immunoglobulin-binding proteins. *Planta*, 181, 1-9.
- Liu, H. S., Yu, L., Dean, K., Simon, G., Petinakis, E., & Chen, L. (2009). Starch gelatinization under pressure studied by high pressure DSC. *Carbohydrate polymers*, 75, 395-400.
- Lu, J.J. y Chang, T.T. (1980). Rice in its temporal and spatial perspective. En B.S. Luh, ed. *Rice: production and utilization*. Westport, CT, EE.UU., AVI Publishing Company, Inc., 1-74
- Lu, S., Chen, L.N. & Lii, C.Y. (1997). Correlations between the fine structure, physicochemical properties, and retrogradation of amylopectins from Taiwan rice varieties. *Cereal Chemistry*, 74, 34-39.
- Lyon, B. G., Champagne, E. T., Vinyard, B. T., Windham, W. R., (1999). Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices.
- Mermelstein, N.H., (1997). High pressure processing reaches the U.S. Market. *Food Technology*, 51, 95-96.
- Michel, M. y Autio, K. (2002). Effects of high pressure on protein- and polysaccharide- based structures. In: Hendrickx, M.E.G., Knorr, D. (Ed.). *Ultra High Pressure Treatments of Foods*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, NY, Boston, Dordrecht, London, Moscow, pp. 189-214.

National Center for Food Safety and Technology (2009). NFST receives regulatory acceptance of novel food sterilization process, Summit-Argo. Press release.

O'Reilly CE, Kelly AL, Murphy PM, (2001). High pressure treatment: applications in cheese and manufacture and ripening. *Trends Food Science Technology*, 12:51

Oey, I., Lille, M., Van Loey, A., (2008). Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavor of fruit based food products: a review. *Trends Food Science Technology*, 19, 320

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

Robertson RE, Carroll T, Pearce LE (2008). Bacillus spore inactivation differences after combined mild temperature and high pressure processing using two pressurizing fluids. *J Food Prot* 71(6), 1186

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

Rubens, P., & Heremans, K. (2000). Pressure-temperature gelatinization phase diagram of starch: An in situ Fourier transform infrared study. *Biopolymers*, 54(7), 524-530.

Shibasaki, M., Suzuki, S., Nemoto, H., y Kuruome, T. (1979). Allergenicity and lymphocyte-stimulating property of rice protein. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 64, 259-265.

Simonin H, Guyon C, Orłowska M et al (2010). Gelatinization of waxy starches under high pressure as influenced by pH and osmolarity: gelatinization kinetics, final structure and pasting properties. *LWT Food Science Technology*.

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

Stute, R., Kingler, R.W., Boguslawski, S., Eshtiaghi, M.N. y Knorr, D. (1996). Effects of high pressure treatment on starches. *Starch*, 48, 399-408.

Sullivan, J. W., & Johnson, J. A. (1964). Measurement of starch gelatinization by enzyme susceptibility. *Cereal Chemistry*, 41, 73-77.

Tamakoa, T.; Itoh, N.; Hayashi, R. (1991). High pressure effect on Mailard reaction. *Agric. Biol. Chem.* 55(8), 2071-2074.

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

Tian, R., Jiang, G. H., Shen, L., Wang, L., He, Y. Q., (2005). Mapping quantitative trait loci underlying the cooking and eating quality of rice using a DH population. *Molecular breeding*. 15, 117-124.

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

Yoshika, K., Kage, Y., & Omura, H., (1992). Effects of high pressure on texture and ultrastructure of fish and chicken muscles and their gels. *High Pressure and Biochemistry*. 325- 328 (eds.) C. Blany, R. Hayashi, K. Heremans & P. Masson. John libbey Eurtext, Montrouge.

8 ANEXOS

ANEXO 1: FICHA DE ANÁLISIS SENSORIAL DESCRIPTIVO DE ARROZ COCIDO

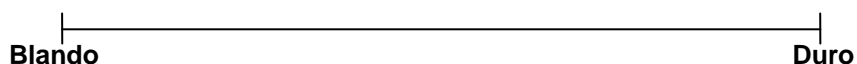
Código de muestra:

Fecha:

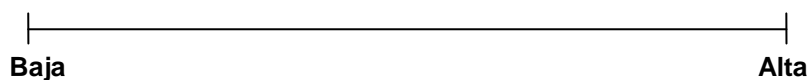
Nombre del catador:

INSTRUCCIONES: Señala sobre la línea el grado del atributo sensorial que estás evaluando según la escala que se indica, teniendo en cuenta que **no** se trata de una prueba de **preferencia** sino que sólo debes describir lo que percibes.

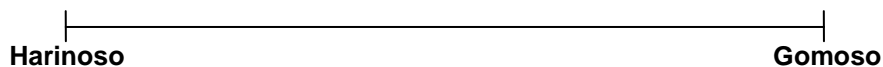
1. DUREZA (firmeza al masticar *tras 3-4 masticaciones*)



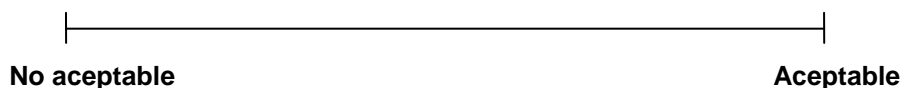
2. ADHESIVIDAD EN BOCA (pegajosidad)



3. GOMOSIDAD (masticabilidad)



4. IMPRESIÓN GLOBAL



Comentarios:

.....

.....

Lista de términos usados para describir las **características del arroz cocido**:

- **Dureza o firmeza:** Fuerza requerida para comprimir el arroz cocido entre los molares en el primer bocado. El grado puede oscilar de blando (bajo) a firme (medio) o a duro (alto) grado de dureza.
- **Adhesividad en boca/Pegajosidad:** El grado de adhesión del arroz en los dientes o la pared de la boca después de 4 masticaciones. El grado puede variar de baja a alta.
- **Masticabilidad:** El grado de resistencia contra la masticación del arroz después de 8 masticaciones El grado podría oscilar de harinoso (baja) a gomoso (alta).
- **Impresión global:** Engloba la evaluación de la calidad de los atributos previamente descritos.

ANEXO 2: VALORES ANALÍTICOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE COCCIÓN PARA CADA TRATAMIENTO APLICADO

Tabla A.2 Características de cocción.

TRATAMIENTO	Tiempo de cocción (m)	Absorción de agua	Volumen de expansión	Contenido de humedad (%)	Pérdida de sólidos (%)	Elongación del grano (%)
Control Trad. I	17,00	3,02	3,81	69,85	7,80	71,41
Control Trad. II	17,00	2,64	3,25	73,76	7,20	77,36
Media	17,0 ± 0	2,83 ± 0,27	3,53 ± 0,40	71,80 ± 2,76	7,5 ± 0,42	74,38 ± 4,21
Control MW I	19,00	2,21	2,74	68,84	10,53	60,79
Control MW II	19,00	2,22	2,74	67,08	12,46	54,65
Media	19,0 ± 0	2,21 ± 0,01	2,74 ± 0	67,96 ± 1,24	11,49 ± 1,36	57,72 ± 4,34
400MPa/10'/20°C Trad. I	16,00	2,47	3,08	69,94	5,90	54,45
400MPa/10'/20°C Trad. II	16,00	2,46	2,98	71,24	5,90	62,89
Media	16,0 ± 0	2,47 ± 0,01	3,02 ± 0,07	70,59 ± 0,92	5,9 ± 0	58,67 ± 5,97
400MPa/10'/20°C MW I	14,00	2,48	3,11	68,61	7,73	60,32
400MPa/10'/20°C MW II	14,00	2,45	2,98	69,82	7,60	56,04
Media	14,0 ± 0	2,46 ± 0,02	3,044 ± 0,09	69,21 ± 0,86	7,66 ± 0,09	58,18 ± 3,03
600MPa/10'/40°C MW I	10,00	2,43	3,06	62,47	4,46	49,13
600MPa/10'/40°C MW II	10,00	2,36	2,96	66,50	4,53	55,48
Media	10,0 ± 0	2,39 ± 0,05	3,01 ± 0,07	64,48 ± 2,85	4,49 ± 0,05	52,30 ± 4,49

ANEXO 3: VALORES DEL PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL

Tabla A.3 Textura instrumental.

TRATAMIENTO	Dureza kg	Adhesividad kg.sec	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad kg	Masticabilidad kg
Control Tradicional I	17,60	-0,69	0,61	0,56	9,93	6,09
Control Tradicional II	17,69	-0,97	0,52	0,52	9,20	4,78
Media	17,64 ± 0,07	0,83 ± 0,19	0,56 ± 0,06	0,54 ± 0,03	9,56 ± 0,51	5,44 ± 0,93
Control MW I	19,81	-0,57	0,53	0,58	11,48	6,14
Control MW II	21,85	-0,42	0,52	0,57	12,42	6,45
Media	20,83 ± 1,44	0,49 ± 0,11	0,52 ± 0,01	0,57 ± 0,01	11,95 ± 0,66	6,29 ± 0,22
400MPa/10'/20°C Tradicional I	21,01	-0,66	0,51	0,56	11,67	5,99
400MPa/10'/20°C Tradicional II	19,62	-0,97	0,44	0,52	10,21	4,53
Media	20,31 ± 0,98	0,82 ± 0,22	0,48 ± 0,05	0,54 ± 0,02	10,94 ± 1,03	5,26 ± 1,03
400MPa/10'/20°C MW I	16,56	-0,48	0,47	0,55	9,06	6,25
400MPa/10'/20°C MW II	21,78	-0,78	0,56	0,61	13,22	7,40
Media	19,17 ± 3,69	0,63 ± 0,21	0,51 ± 0,06	0,58 ± 0,04	11,14 ± 2,95	6,82 ± 0,81
600MPa/10'/40°C MW I	18,93	-0,47	0,55	0,60	11,45	6,32
600MPa/10'/40°C MW II	21,05	-0,33	0,50	0,60	12,54	6,23
Media	19,99 ± 1,45	0,40 ± 0,10	0,52 ± 0,04	0,60 ± 0,01	12,0 ± 0,77	6,28 ± 0,06

ANEXO 4: PUNTUACIONES OTORGADAS POR LOS CATADORES EN EL ANÁLISIS SENSORIAL

Tabla A.4.1 DUREZA

Catador	Tratamiento de cocción									
	Control Tradicional		Control Microondas		400 MPa/10'/20°C Tradicional		400 MPa/10'/20°C Microondas		600 MPa/10'/40°C Microondas	
	Repetición		Repetición		Repetición		Repetición		Repetición	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	4	4	6			11	9	11		
2	4	5	3	5					8	9
3			5	4	3	11			12	8
4	5	5		7	5		6	6		
5					3	7	4	3	4	7
6	4			6	8	9		8	13	
7	13	3					5	13	6	11
8			9	3			9	9	13	11
9		3	8		7	7	5			9
10	5	6	4	7	4	7				
Media	5,83	4,33	5,83	5,33	5,00	8,67	6,33	8,33	9,33	9,17
TOTAL (media)	5,08 ± 1,06		5,58 ± 0,35		6,83 ± 2,59		7,33 ± 1,41		9,25 ± 0,12	

Tabla A.4.2 ADHESIVIDAD EN BOCA.

Catador	Tratamiento de cocción									
	Control Tradicional		Control Microondas		400 MPa/10'/20°C Tradicional		400 MPa/10'/20°C Microondas		600 MPa/10'/40°C Microondas	
	Repetición		Repetición		Repetición		Repetición		Repetición	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	5	7	8			11	6	11		
2	4	4	6	9					10	14
3			10	9	12	13			14	8
4	4	9		6	5		6	6		
5					7	11	4	12	9	12
6	6			12	8	9		11	10	
7	13	4					13	14	10	10
8			16	8			14	11	15	13
9		7	8		7	8	5			8
10	6	11	9	10	8	12				
TOTAL	6,33	7,00	9,50	9,00	7,83	10,67	8,00	10,83	11,33	10,83
Media	6,67 ± 0,47		9,25 ± 0,35		9,25 ± 2,00		9,42 ± 2,00		11,08 ± 0,35	

Tabla A.4.3 GOMOSIDAD

Catador	Tratamiento de cocción									
	Control Tradicional		Control Microondas		400 MPa/10'/20°C Tradicional		400 MPa/10'/20°C Microondas		600 MPa/10'/40°C Microondas	
	Repetición		Repetición		Repetición		Repetición		Repetición	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	5	6	9			9	7	10		
2	8	6	3	16					11	12
3			14	8	7	14			14	8
4	3	7		5	7		5	5		
5					7	13	2	13	10	12
6	3			5	7	12		7	12	
7	14	4					8	6	7	6
8			5	3			5	0	12	14
9		3	7		7	9	6			14
10	10	11	10	12	11	14				
TOTAL	7,17	6,17	8,00	8,17	7,67	11,83	5,50	6,83	11,00	11,00
Media	6,67 ± 0,71		8,08 ± 0,12		9,75 ± 2,95		6,17 ± 0,94		11 ± 0	

Tabla A.4.4 IMPRESIÓN GLOBAL

Catador	Tratamiento de cocción									
	Control Tradicional		Control Microondas		400 MPa/10'/20°C Tradicional		400 MPa/10'/20°C Microondas		600 MPa/10'/40°C Microondas	
	Repetición		Repetición		Repetición		Repetición		Repetición	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	7	10	11			12	13	8		
2	12	14	15	10					10	10
3			9	6	7	8			11	9
4	9	4		4	9		10	4		
5					6	10	1	8	4	11
6	6			6	9	12		10	11	
7	8	7					11	13	10	13
8			7	7			7	11	10	9
9		4	10		8	4	11			6
10	6	7	4	8	6	10				
TOTAL	8,00	7,67	9,33	6,83	7,50	9,33	8,83	9,00	9,33	9,67
Media	7,83 ± 0,23		8,08 ± 1,77		8,42 ± 1,30		8,92 ± 0,12		9,5 ± 0,23	

ANEXO 5: ANÁLISIS ANOVA

Tabla A.5.1 Valores de absorción de agua entre la muestra control y la tratada a 400 MPa cocidas de forma tradicional.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,13068225	1	0,13068225	3,4879061	0,2027784	18,51282051
Dentro de los grupos	0,0749345	2	0,03746725			
Total	0,20561675	3				

Tabla A.5.2 Valores de absorción de agua entre la muestra control y la tratada a 400 MPa cocidas mediante microondas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,06175225	1	0,06175225	280,373439	0,0035477	18,51282051
Dentro de los grupos	0,0004405	2	0,00022025			
Total	0,06219275	3				

Tabla A.5.3 Valores de absorción de agua entre la muestra control, la tratada a 400 MPa y a 600 MPa cocidas mediante microondas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,065749	2	0,0328745	29,6300135	0,01057713	9,552094496
Dentro de los grupos	0,0033285	3	0,0011095			
Total	0,0690775	5				

Tabla A.5.4 Valores de volumen de expansión entre la muestra control y la tratada a 400 MPa cocidas de forma tradicional.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,257049	1	0,257049	3,18126013	0,21642262	18,51282051
Dentro de los grupos	0,161602	2	0,080801			
Total	0,418651	3				

Tabla A.5.5 Valores de volumen de expansión entre la muestra control y la tratada a 400 MPa cocidas mediante microondas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,09150625	1	0,09150625	24,9727093	0,0377885	18,51282051
Dentro de los grupos	0,0073285	2	0,00366425			
Total	0,09883475	3				

Tabla A.5.6 Valores de volumen de expansión entre la muestra control, la tratada a 400 MPa y a 600 MPa cocidas mediante microondas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,109063	2	0,0545315	13,7053994	0,03098419	9,552094496
Dentro de los grupos	0,0119365	3	0,003978833			
Total	0,1209995	5				

Tabla A.5.7 Valores de elongación del grano entre la muestra control y la tratada a 400 MPa cocidas de forma tradicional.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	246,961225	1	246,961225	9,26370057	0,09311607	18,51282051
Dentro de los grupos	53,31805	2	26,659025			
Total	300,279275	3				

Tabla A.5.8 Valores de elongación del grano entre la muestra control y la tratada a 400 MPa cocidas mediante microondas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,2116	1	0,2116	0,01510943	0,91340861	18,51282051
Dentro de los grupos	28,009	2	14,0045			
Total	28,2206	3				

Tabla A.5.9 Valores de elongación del grano entre la muestra control, la tratada a 400 MPa y a 600 MPa cocidas mediante microondas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	42,69963333	2	21,34981667	1,32964745	0,38595653	9,552094496
Dentro de los grupos	48,17025	3	16,05675			
Total	90,86988333	5				

Tabla A.5.10 Valores de pérdida de sólidos entre la muestra control y la tratada a 400 MPa cocidas de forma tradicional.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2,56	1	2,56	28,4444444	0,03340465	18,51282051
Dentro de los grupos	0,18	2	0,09			
Total	2,74	3				

Tabla A.5.11 Valores de pérdida de sólidos entre la muestra control y la tratada a 400 MPa cocidas mediante microondas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	14,6689	1	14,6689	15,681116	0,0582543	18,51282051
Dentro de los grupos	1,8709	2	0,93545			
Total	16,5398	3				

Tabla A.5.12 Valores de pérdida de sólidos entre la muestra control, la tratada a 400 MPa y a 600 MPa cocidas mediante microondas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	49,1452	2	24,5726	39,3507887	0,00703617	9,552094496
Dentro de los grupos	1,87335	3	0,62445			
Total	51,01855	5				

Tabla A.5.13 Valores de contenido de humedad entre la muestra control y la tratada a 400 MPa cocidas de forma tradicional.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,476225	1	1,476225	0,3477951	0,61511443	18,51282051
Dentro de los grupos	8,48905	2	4,244525			
Total	9,965275	3				

Tabla A.5.14 Valores de contenido de humedad entre la muestra control y la tratada a 400 MPa cocidas mediante microondas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,575025	1	1,575025	1,381086	0,36088023	18,51282051
Dentro de los grupos	2,28085	2	1,140425			
Total	3,855875	3				

Tabla A.5.15 Valores de contenido de humedad entre la muestra control, la tratada a 400 MPa y a 600 MPa cocidas mediante microondas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>g.l.</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	24,0157	2	12,00785	3,46336996	0,16613912	9,552094496
Dentro de los grupos	10,4013	3	3,4671			
Total	34,417	5				