

# **UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

## ***ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE HIDRATACIÓN DE ARROZ TIPO “SENIA” BLANCO E INTEGRAL***

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E  
INGENIERIA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNA: Miriam Altamirano Calle

TUTOR/A ACADEMICO: María Dolores Ortolá Ortolá

COTUTOR/A: Marisa Castelló Gómez

DIRECTOR EXPERIMENTAL: Ruth de los Reyes Cánovas

***Curso Académico: 2016-2017***

**VALENCIA, 05 de julio de 2017**

# **ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE HIDRATACIÓN DE ARROZ TIPO “SENIA” BLANCO E INTEGRAL**

Miriam Altamirano Calle, María Dolores Ortolá Ortolá, Marisa Castelló Gómez

Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo.  
Universitat Politècnica de València

## **RESUMEN**

Para la obtención de distintos tipos de arroz, como arroz vaporizado, de cocción rápida, sancochado, etc, se requieren procesos previos de hidratación de los granos. Si bien estos tipos de arroz han sido estudiados a partir de variedades de arroz largo, su aplicabilidad a variedades de arroz redondo no ha sido evaluada. En este trabajo se propone la modelización de la cinética de hidratación de arroz tipo “Senia”, amparado por la Denominación de Origen Arroz de Valencia. Para ello, primeramente, se determinó la temperatura gelatinización del almidón de inicio, pico y finalización obteniendo valores de  $65\pm 2$ ,  $70\pm 1$  y  $76\pm 3^{\circ}\text{C}$  respectivamente. La hidratación del arroz, blanco e integral se llevó a cabo a distintas temperaturas y teniendo en cuenta dos fases: remojo (temperaturas por debajo de la gelatinización) y pre-cocción (temperaturas por encima de la gelatinización). En ambos casos se modelizaron las curvas de absorción de agua según el modelo difusional de Fick y el modelo empírico de Peleg. En la etapa de remojo no se observaron diferencias significativas en la difusividad efectiva ( $D_e$ ) ni en las constantes de capacidad ( $k_2$ ) y velocidad ( $k_1$ ) por efecto de la temperatura ni del tipo de arroz. En la etapa de pre-cocción solo se observaron diferencias significativas por efecto de la temperatura y del tipo de arroz en la constante  $k_2$ , siendo la influencia de la temperatura de tipo Arrhenius con energías de activación para el arroz blanco de  $61 \text{ kJ/mol K}$  y de  $34,6 \text{ kJ/mol K}$  para el arroz integral.

**PALABRAS CLAVES:** arroz, cinética, hidratación.

## **RESUM**

Per a l'obtenció de distints tipus d'arròs, com a arròs vaporitzat, de cocció ràpida, sancochado, etc, es requereixen processos previs d'hidratació dels grans. Si bé estos tipus d'arròs han sigut estudiats a partir de varietats d'arròs llarg, la seua aplicabilitat a varietats d'arròs redó no ha sigut avaluada. En este treball es proposa la modelització de la cinètica d'hidratació d'arròs tipus "Senia", emparat per la Denominació d'Origen Arròs de València. Per a això, primerament, es va determinar la temperatura gelatinització del almidó d'inici, pic i finalització obtenint valors de  $65\pm 2$ ,  $70\pm 1$  i  $76\pm 3^{\circ}\text{C}$  respectivament. La hidratació de l'arròs, blanc i integral, es va dur a terme a distintes temperatures i tenint en compte dos fases: remull (temperatures per davall de la gelatinització) i precocció (temperatures per damunt de la gelatinització). En ambdós casos es varen modelitzar les corbes d'absorció d'aigua segons el

model difusional de Fick i el model empíric de Peleg. En l'etapa de remull no es van observar diferències significatives en la difusivitat efectiva ( $D_e$ ) ni en les constants de capacitat ( $k_2$ ) i velocitat ( $k_1$ ) per efecte de la temperatura ni del tipus d'arròs. En l'etapa de precocció només es van observar diferències significatives per efecte de la temperatura i del tipus d'arròs en la constant  $k_2$ , sent la influència de la temperatura de tipus Arrhenius amb energies d'activació per a l'arròs blanc de 61 kJ/molK i de 34,6 kJ/molK per a l'arròs integral.

PARAULES CLAU: arròs, cinètica, hidratació.

### **ABSTRACT**

In order to obtain different types of rice, such as steamed rice, quick cooking, parboiling, etc., previous processes of hydration of the grains are required. Although these types of rice have been studied from long rice varieties, their applicability to round rice varieties has not been evaluated. This work proposes the modelling of the kinetics of "Senia" type rice hydration, supported by the Denomination of Origin of Valencia Rice. For this, first, it was determined the gelatinization temperature of the beginning, peak and final starch obtaining values of  $65\pm 2$ ,  $70\pm 1$  and  $76\pm 3^\circ\text{C}$ , respectively. The hydration of the rice, white and integral was carried out at different temperatures and taking into account two phases: soaking (temperatures below gelatinization) and pre-cooking (temperatures above gelatinization). In both cases, the water absorption curves were modelled according to Fick's diffusional model and Peleg's empirical model. In the soaking stage, no significant differences were observed in the effective diffusivity ( $D_e$ ) or in the constants of capacity ( $k_2$ ) and velocity ( $k_1$ ) due to temperature or rice type. In the precooking stage, only significant differences were observed by the effect of temperature and rice type on the constant  $k_2$ , is the influence of Arrhenius-type temperature with activation energies for white rice of 61 kJ/molK and 34,6 kJ/molK for brown rice.

KEYWORDS: rice, kinetic, hydration

## 1. INTRODUCCIÓN

El arroz constituye un alimento básico para la mitad de la población del mundo. La producción mundial de arroz en el año 2016 fue de 3,9 millones de toneladas, un 1,6% por encima del nivel de 2015. Según el pronóstico de la FAO, la utilización mundial de arroz en 2016/17 ascenderá a 500,3 millones de toneladas (arroz elaborado), esto es, un aumento interanual del 1% manteniéndose el consumo humano per cápita estable en 54,1 kg/año (FAO, 2017). Por otro lado, en España el consumo no es muy alto (unos 7 kilos por persona y año), siendo el componente fundamental de uno de los platos típicos en la Comunidad Valenciana, la paella (Eroski Consumer, 2013).

El sector arrocero en el Parque Natural de la Albufera, en Valencia, constituye el pilar básico de la economía local, con una producción media de 115000t de arroz cáscara, con una superficie de 14.500 ha de cultivo (Consellería de Medio Ambiente GVA, 2002). Esto ha permitido el fomento de diversas marcas con Denominación de Origen Arroz de Valencia. Bajo la D.O. se encuentran variedades tipo Sénia, Bomba y Albufera, bien adaptadas al parque natural, donde el cultivo supera los 1200 años de antigüedad (D.O. Arroz de Valencia , 2012).

El arroz tipo Sénia, mezcla de variedades, es cremoso y húmedo en su interior y en su superficie. Esta humedad, junto con su alto contenido en amilopectina favorece la conducción de sabores, pero impide que los granos queden sueltos entre sí, de tal manera que no soporta la sobrecocción y se pasa de punto fácilmente (Gómez-Senent, 2017).

El método de cocción del arroz está relacionado con la cultura del consumidor; algunas culturas lo remojan antes de su cocción, mientras que otras lo cocinan directamente hirviéndolo en exceso de agua o cocinándolo con un método de absorción (Yu *et al.*, 2016), siendo el tiempo total de cocción de aproximadamente 20 minutos.

Los nuevos hábitos de consumo exigen tiempos cortos de cocinado, pero el mercado de arroces precocinados ha tardado más en desarrollarse que en otros productos, puesto que el arroz al cocinarse adquiere unas propiedades difíciles de conservar (Infoalimentación, 2017). No obstante, el empleo de nuevas formas de conservación y su adaptación al mundo del arroz, ha permitido la investigación en el desarrollo de nuevos productos, tales como arroz vaporizado, arroz hervido envasado, arroz sancochado, congelado, arroz de cocción rápida, etc.

La etapa de remojo es el pretratamiento común para estos productos, ya que distribuye el agua uniformemente dentro del grano, lo que lleva a una reducción en el tiempo de cocción y energía consumida. A temperaturas suficientemente altas el grano se hidrata y el almidón presente en el endospermo sufre una reacción de gelatinización (Bello *et al.*, 2017).

Actualmente, todos estos tipos de arroz se comercializan en variedades de arroz largo, no existiendo estudios sobre su aplicabilidad en variedades de arroz redondo como los de la D.O. arroz de Valencia.

Por este motivo, el objetivo general de este trabajo es el estudio de la cinética de absorción de agua de granos de arroz blanco e integral tipo Senia, como parte de un estudio más amplio encaminado a la obtención de un arroz seco de rápida cocción.

## 2. MATERIALES Y METODOS

La materia prima utilizada en el presente estudio fue proporcionada por la empresa Arrocerías Antonio Tomas S.L. (Sollana, Valencia).

Se utilizó arroz redondo tipo Bahía-Senia, comercializado bajo la marca Santo Tomás, que es una mezcla de variedades obtenidas de las parentales Senia y Bahia como Senia, J.Sendra, Montsianeí y Gleva fundamentalmente. Se emplearon para el estudio tanto en formato de arroz blanco como integral.

### Calorimetría diferencial de barrido

Para la preparación de las muestras, se procedió a la molienda de granos en un molinillo de cuchillas (Moulinex, A505, Francia) para la obtención de la harina de arroz.

Se pesaron 4 mg de harina de arroz y se mezclaron con agua destilada en una proporción 2:1 (p/p) y se colocaron en cápsulas de aluminio para análisis de DSC (Figura 1). Las cápsulas se pesaron, sellaron y almacenaron a temperatura ambiente 24 h para alcanzar el equilibrio. Las propiedades térmicas se llevaron a cabo en un calorímetro DSC1 Star® System (Mettler Toledo, 8 Columbus, OH, EEUU) en un rango de temperaturas de barrido entre 25 y 110°C y una velocidad de calentamiento de 10 °C/min.



Figura 1. Cápsulas para el análisis DSC

### Cinética de absorción de agua en la fase de remojo

Para determinar las propiedades de absorción de agua de los dos tipos de arroz (blanco e integral), se pesaron 25 g de granos y se colocaron en vasos de precipitado con 75mL de agua destilada en un baño previamente termostadado (Selecta Precisdig, España) (Bakshi *et al.*, 1980). Los experimentos se llevaron a cabo a 25, 35, 45, 55, 60, 65°C. Se sacaron muestras a diferentes tiempos: 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 45 y 60 minutos.

Se retiró el agua superficial de los granos con papel absorbente y se procedió a determinar el contenido en humedad de las muestras con un método gravimétrico por secado en estufa (Selecta, España) a 60°C hasta peso constante (Figura 2). El pesado de las muestras antes y después del secado en estufa se llevó a cabo en una balanza (Mettler Toledo, modelo PG503-SEspaña) con  $\pm 0,001$  g de precisión. El contenido en humedad de las muestras se expresó en base seca ( $X_w$  g agua/g s.s.) según la ecuación (1):

$$X_w = \frac{\text{Peso inicial muestra} - \text{Peso final muestra}}{\text{Peso final muestra}} \quad (1)$$

Todos los ensayos y análisis se realizaron por triplicado, tanto en arroz blanco como en arroz integral.



**Figura 2.** Determinación de contenido en humedad

### **Cinética de absorción de agua en la etapa de precocción.**

Tras la etapa de remojo se evaluó la capacidad de absorción de agua de los granos en una etapa de precocción con exceso de agua a diferentes temperaturas.

Para ello, 25g de granos previamente sometidos a una etapa de remojo durante 20 minutos a una temperatura de 55°C se colocaron en vasos de precipitado junto con agua destilada en una proporción 1:2 (p/p) en un baño previamente termostatado. A intervalos de tiempo controlados (2, 4, 6, 8, 10, 15 y 20 minutos) se sacó una muestra de arroz para determinar su contenido en humedad. Inmediatamente después de sacar los granos del baño se enfriaron los mismos para detener la cocción y se secaron superficialmente. El contenido en humedad de las muestras se analizó por el método gravimétrico comentado con anterioridad.

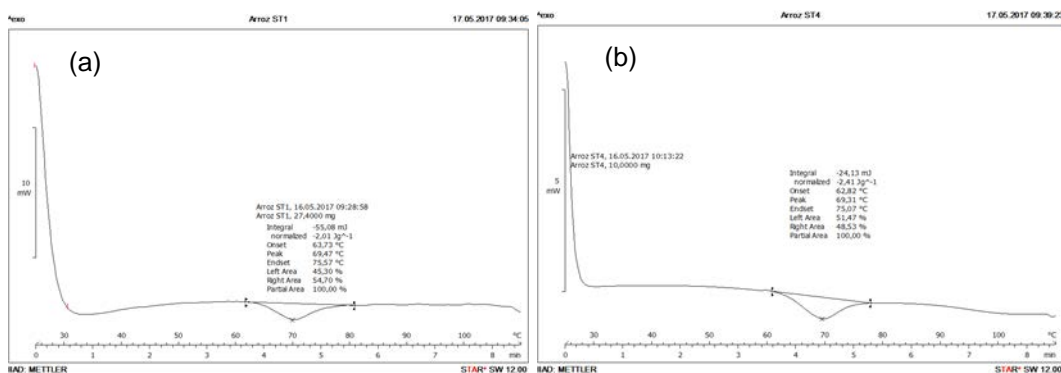
El proceso de precocción se evaluó a diferentes temperaturas del baño (65, 70, 75, 85, 95 y 100°C).

Todos los análisis se realizaron por triplicado en los dos tipos de arroz (blanco e integral).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Calorimetría diferencial de barrido

La figura 3 muestra un ejemplo de los termogramas obtenidos, tanto para las muestras de arroz blanco como integral. Como puede observarse, sólo aparece un endotermo, característico de la gelatinización del almidón en presencia de exceso de agua.



**Figura 3.** Ejemplo de termogramas de las muestras: (a) arroz blanco; (b) arroz integral.

En la tabla 1 se muestran los valores obtenidos para los parámetros térmicos entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ) y temperaturas de gelatinización: iniciación ( $T_o$ ), pico ( $T_p$ ) y finalización ( $T_c$ ). Como cabría esperar, en ningún caso se observaron diferencias significativas en los parámetros para los dos tipos de almidón de arroz evaluados, puesto que los gránulos de almidón se encuentran en el endospermo del grano. Las diferencias entre el arroz integral y el arroz blanco son debidas solo a la separación o no del salvado y el germen del grano, sin afectar al endospermo.

**Tabla 1:** Temperaturas y entalpías de gelatinización del almidón

	$\Delta H$ (J/g)	$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)
Arroz Blanco	$-2,09 \pm 0,12^a$	$65 \pm 2^a$	$71 \pm 2^a$	$79 \pm 4^a$
Arroz Integral	$-1,6 \pm 0,7^a$	$64,8 \pm 1,7^a$	$69,7 \pm 0,3^a$	$74,6 \pm 0,8^a$

Superíndices iguales dentro de la misma columna indican que no existen diferencias significativas entre las muestras para un nivel de significación del 95% ( $p < 0,05$ )

Los valores de las temperaturas medias de gelatinización de inicio, pico y finalización fueron de  $65 \pm 2$ ,  $70 \pm 1$  y  $76 \pm 3^\circ\text{C}$  respectivamente, valores similares a los encontrados por otros autores en diferentes variedades de arroz redondo (Maroto, 2016). Sin embargo, estos valores son superiores a los reportados por Bello *et al.* (2007) en variedades de arroz blanco de grano largo, 46, 59 y  $75^\circ\text{C}$ . La diferente proporción en amilosa de las variedades de arroz largo y las variedades de arroz redondo serían las causas de esta diferencia en la temperatura de gelatinización. La amilosa tiene gran capacidad para formar puentes de hidrógeno, lo que disminuye su afinidad con el agua, requiriéndose mayor energía para incorporarla en su estructura

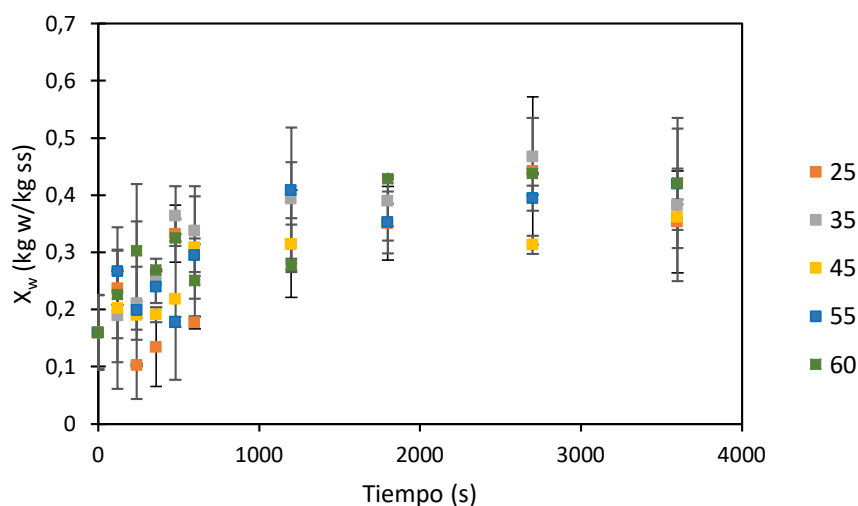
y elevando la temperatura de inicio de la gelatinización (Coello y Garcés, 2012). Sin embargo, la temperatura de finalización de la gelatinización es similar en ambos casos, lo que podría estar relacionado con la longitud de las cadenas de amilopectina. A mayor longitud de las cadenas de amilopectinas la gelatinización se prolonga, por lo que las variedades estudiadas en este trabajo tendrían cadenas de amilopectina de longitud similar a las de arroz largo (Ortiz y Barcia, 2015).

Con los resultados obtenidos en el estudio calorimétrico se definieron las siguientes etapas del estudio de hidratación del arroz. Según numerosos autores, la absorción de agua del grano está íntimamente relacionada con la temperatura de gelatinización del almidón. La ganancia de agua tiene lugar por procesos de difusión impulsados por gradientes de humedad entre la superficie y el centro del grano. A temperaturas por encima de la temperatura de inicio de la gelatinización, parte del agua absorbida será inmovilizada, lo que varía los coeficientes de difusión (Bello et al., 2007).

Por este motivo se definieron dos etapas de estudio, la etapa de remojo a temperaturas por debajo de 65°C y la etapa de precocción a temperaturas superiores.

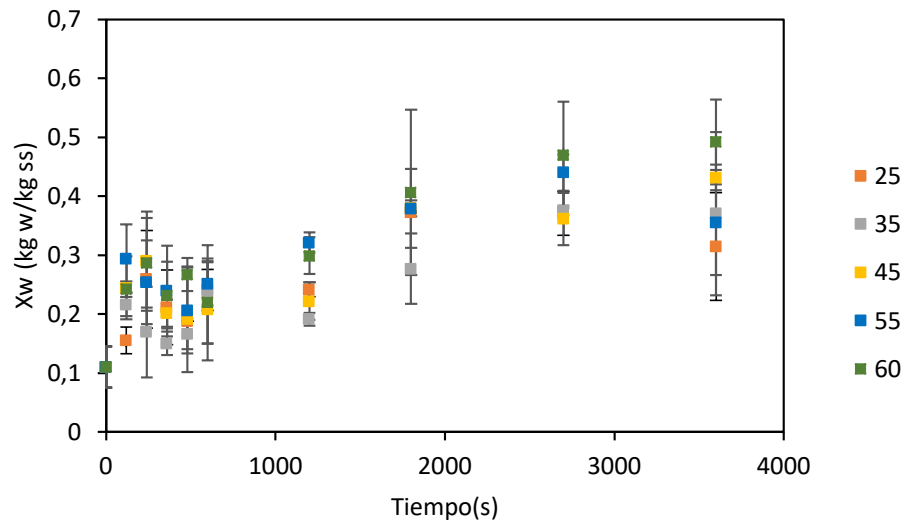
### 3.2 Cinética de absorción de agua durante la fase de remojo

Las figuras 4 y 5 muestran la variación en el contenido en humedad (b.s) de los granos de arroz blanco e integral, respectivamente, durante la fase de remojo a diferentes temperaturas. Como puede observarse, en ambos casos se observó una gran variabilidad en los resultados, probablemente por el propio sistema de análisis utilizado. Tras el escurrido, las muestras se secaban superficialmente con papel absorbente, pudiendo haber incurrido en ambas etapas en errores experimentales y por tanto en resultados en el contenido en humedad muy variables.



**Figura 4.** Ganancia de humedad (b.s.) de los granos de arroz blanco a diferentes temperaturas de remojo.





**Figura 5.** Ganancia de humedad (b.s.) de los granos de arroz integral a diferentes temperaturas de remojo.

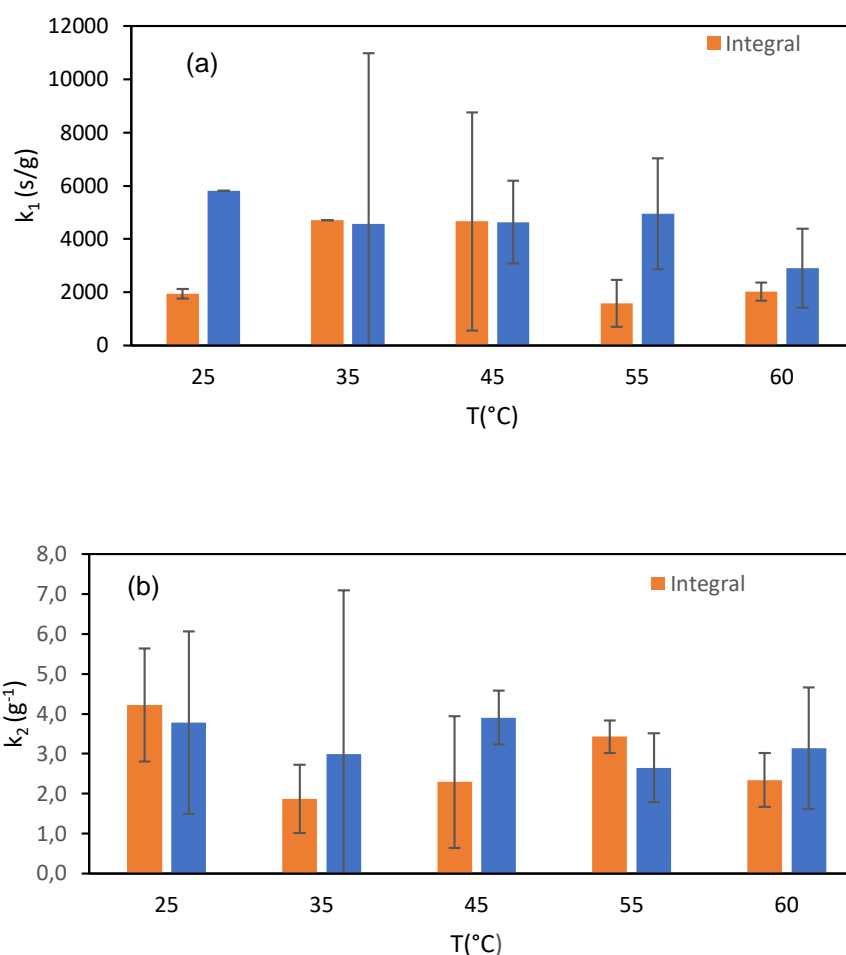
Para evaluar cuantitativamente la velocidad de absorción de agua de los granos, las curvas de sorción se modelizaron según el modelo de Peleg (Peleg, 1988), ampliamente utilizado en la modelización de curvas de hidratación. Este modelo utiliza una ecuación no exponencial, empírica y que no deriva de leyes físicas (Ec. 2). Las constantes cinéticas del modelo se obtuvieron por linealización de la Ec. 2 (Ec.3):

$$X_w^t = X_w^0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (2)$$

$$\frac{t}{X_w^t - X_w^0} = k_1 + k_2 t \quad (3)$$

siendo  $X_w^0$  el contenido de humedad inicial (b.s.),  $X_w^t$  el contenido de humedad a tiempo  $t$  (b.s.), y  $k_1$  y  $k_2$  las constantes cinéticas del modelo.

La figura 6 muestra los resultados obtenidos para ambos parámetros ( $k_1$  y  $k_2$ ) en función de la temperatura de remojo y el tipo de arroz evaluado.



**Figura 6.** Constantes cinéticas del modelo de Peleg en función de la temperatura de remojo y el tipo de arroz. (a)  $k_1$ , (b)  $k_2$ .

El análisis de la varianza multifactorial de los resultados indicó que no existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% por efecto de los parámetros analizados (temperatura de remojo y tipo de arroz) en ninguno de los dos parámetros cinéticos del modelo de Peleg.

Sin embargo, el bajo nivel de ajuste de los datos al modelo junto con la gran variabilidad de los resultados parece indicar que el modelo de Peleg no explicaría la hidratación de granos de arroz a bajas temperaturas. Si bien, este modelo ha sido aplicado en estudios de rehidratación de numerosos alimentos, como garbanzos (Turhan *et al.*, 2002), frijoles (Ikegwu y Orji 2016) y semillas de soja (Borges *et al.*, 2017) con buenos ajustes, estudios recientes en granos de arroz de diferentes variedades (Corrêa *et al.*, 2017; Shafaei *et al.*, 2016; Bothelo *et al.*, 2010) muestran que el modelo de Peleg a bajas temperaturas de hidratación (<70°C) no explica suficientemente la cinética de hidratación, probablemente por la lixiviación de sólidos (fundamentalmente almidón superficial) que tiene lugar a estas temperaturas de remojo.

Puesto que el modelo de Peleg no parece explicar la cinética de hidratación de los granos de arroz a bajas temperaturas, se modelizaron las curvas de sorción de agua según un modelo difusional a partir de la solución analítica propuesta por Crank (1975) a la segunda Ley de Fick de la difusión. Dada la forma de los granos se modelizó la cinética para una geometría de una esfera (Ec. 4) a tiempos largos de proceso. Se consideró un solo término (n=0) del desarrollo en serie y se obtuvieron los valores de la difusividad efectiva ( $D_e$ ) para cada tratamiento a partir de las relaciones lineales encontradas entre  $\ln Y$  y el tiempo de proceso (Tabla 2). El radio equivalente ( $r_e$ ) de la esfera se determinó a partir del valor medio del volumen de los granos blanco e integral ( $0,29 \text{ cm}^3$ ).

$$Y = \frac{X_w^t - X_e}{X_w^0 - X_e} = \frac{6}{\pi^2} \exp(-D_e * \pi^2 * \frac{t}{r^2}) \quad (4)$$

siendo  $X_w^0$  el contenido de humedad inicial (b.s),  $X_w^t$  el contenido de humedad a tiempo  $t$  (b.s.),  $X_e$  el contenido de humedad (b.s) de equilibrio,  $r$  el radio equivalente de la esfera (m) y  $D_e$  la difusividad efectiva ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

**Tabla 2.** Valores medios de difusividad efectiva ( $D_e$ ), desviación estándar (ds) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para los dos tipos de arroz y temperaturas de remojo.

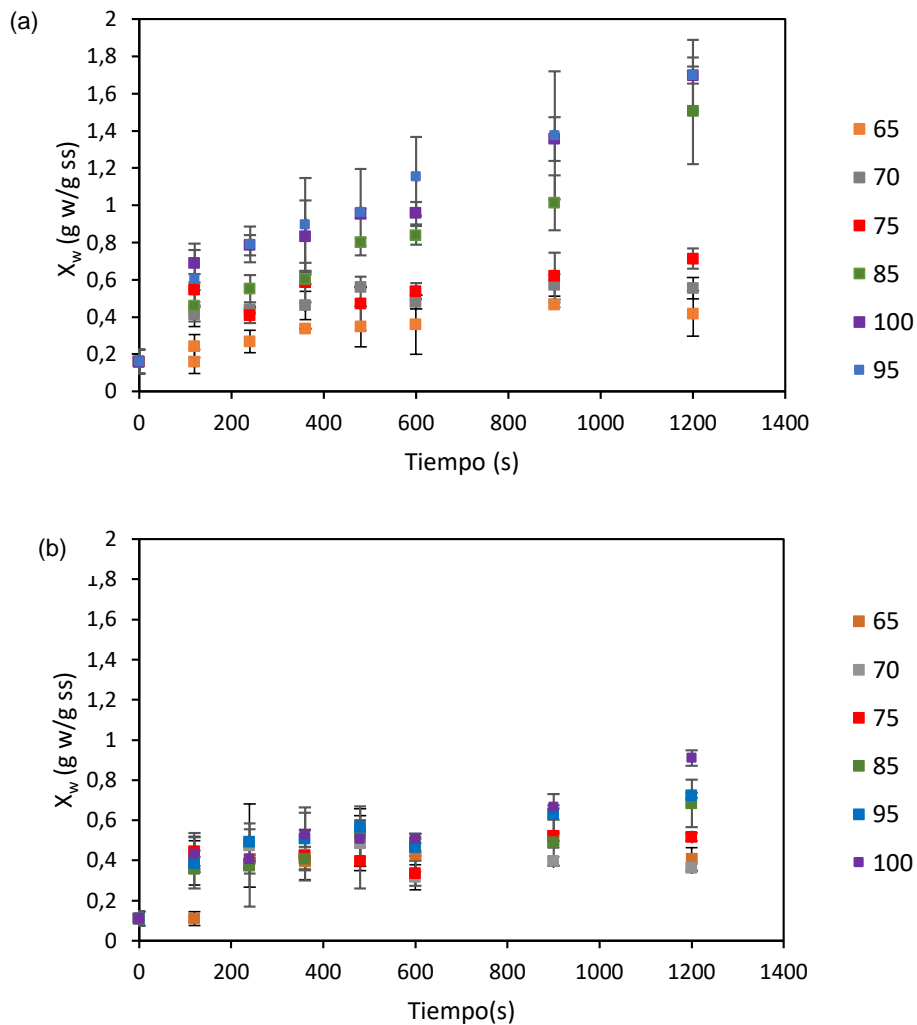
Tipo arroz	T(°C)	$D_e * 10^{10}$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	ds	$R^2$
Blanco	25	1,3	0,3	0,54
	35	0,7	0,9	0,68
	45	2,0	1,0	0,81
	55	1,6	0,6	0,80
	60	1,1	0,7	0,91
Integral	25	2,4	1,1	0,75
	35	1,4	1,4	0,78
	45	1,8	1,6	0,87
	55	3	2	0,83
	60	2,8	0,4	0,80

Como puede observarse, la bondad del ajuste en muchos casos fue muy baja, por lo que el modelo difusivo de Fick parece no explicar tampoco la cinética de absorción de agua en los granos a bajas temperaturas. Cabe destacar que la ecuación difusional de Fick fue desarrollada para sistemas gaseosos ideales o sistemas líquidos próximos a una situación de equilibrio, por lo que la aplicación de esta ecuación a sistemas alimentarios puede resultar excesivamente simple (Barrera, 2007). Concretamente los granos de arroz no son sistemas isótropos, homogéneos, ni continuos, lo que dificulta la aplicación directa de modelos difusionales simples como el de Fick. Además, la elevada variabilidad en la humedad de las muestras con el tiempo, como consecuencia del agua superficial y la salida de solutos, comentada con

anterioridad, también está influyendo en la dispersión de los valores de difusividad obtenidos.

### 3.3 Cinética de absorción de agua en la etapa de precocción

La figura 7 muestra la variación de la razón másica de agua (g agua/g ss) con el tiempo de los granos de arroz sometidos a temperaturas de cocción superiores a 65°C. Puede observarse que cuanto mayor es la temperatura de cocción, mayor es el nivel de humedad final alcanzada por las muestras. Durante la cocción del arroz se produce esencialmente la gelatinización e hinchamiento de los gránulos de almidón del endospermo del mismo (Colina & Guerra et al., 2009), siendo el grado de hinchamiento dependiente de la temperatura. Además, se observa que el arroz blanco alcanza un nivel mayor de humedad de equilibrio que el arroz integral, debido, probablemente a la presencia del salvado que ejerce de barrera frente a la difusión de agua.

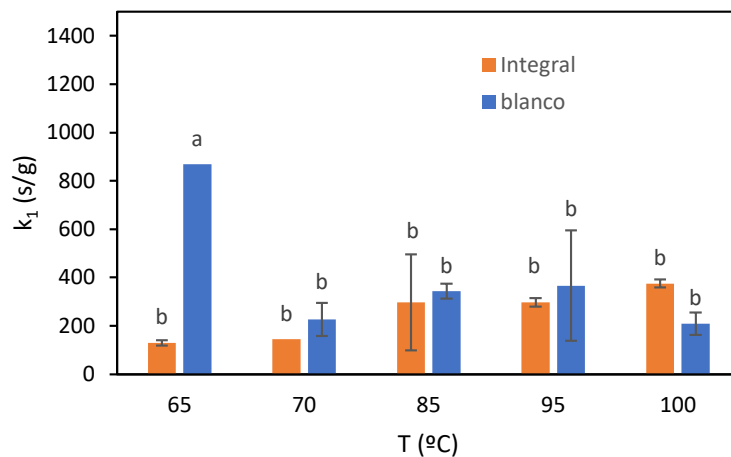


**Figura 7.** Ganancia de humedad (b.s.) de los granos de arroz blanco (a) e integral (b) a diferentes temperaturas de precocción.

Los resultados obtenidos se ajustaron al modelo de Peleg aplicando las ecuaciones 2 y 3.

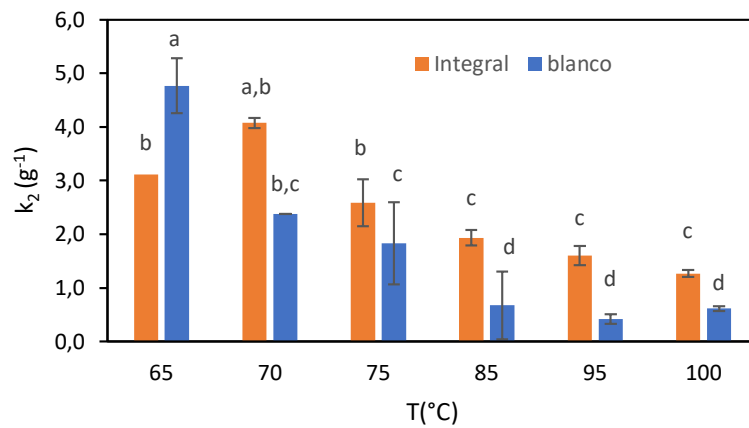
No se encontraron diferencias significativas en el valor de la constante  $k_1$  (constante de velocidad) por efecto del tipo de arroz (Figura 8). En cuanto al efecto de la temperatura, solo en el caso de arroz blanco a 65°C el valor de la constante es significativamente mayor que a mayores temperaturas. Este mayor valor de la constante a esta temperatura podría estar relacionado con los fenómenos de gelatinización que tienen lugar a esta temperatura, consecuencia de los cuales disminuye la velocidad de absorción de agua. A mayores temperaturas (<70°C) la velocidad de transferencia de agua no varía al aumentar la temperatura y es similar en ambos tipos de arroz.

En general, los valores de la constante de velocidad son inferiores a los obtenidos en la fase de remojo, lo que implica mayores velocidades de hidratación a temperaturas por encima de la de gelatinización. Durante este proceso tienen lugar cambios irreversibles en los gránulos de almidón, los granos de arroz se hinchan considerablemente, provocando la rotura de la estructura del grano y facilitando la velocidad de absorción (Bello *et al.*, 2005).



**Figura 8.** Valor de la constante de velocidad del modelo de Peleg ( $k_1$ ) en función de la temperatura de hidratación y el tipo de arroz. Letras iguales indican los grupos homogéneos

Con respecto a la constante  $k_2$  (Figura 9), relacionada con la máxima capacidad de absorción de agua, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) tanto por efecto de la temperatura como por el tipo de arroz. En general, la constante disminuye al aumentar la temperatura, por lo que la capacidad de absorción de agua aumenta con la temperatura de hidratación. Comparando los dos tipos de arroces, el integral tiene menor capacidad de absorción que el arroz blanco a estas temperaturas, lo que estaría relacionado con la presencia de la cáscara que ejerce una barrera a la difusión.



**Figura 9.** Valor de la constante de capacidad del modelo de Peleg ( $k_2$ ) en función de la temperatura de hidratación y el tipo de arroz. Letras iguales indican los grupos homogéneos.

A partir de esta constante se determinó el valor de la humedad de equilibrio (b.s.) para cada temperatura (Tabla 3).

**Tabla 3.** Humedad de equilibrio (b.s.) para cada temperatura de hidratación y tipo de arroz

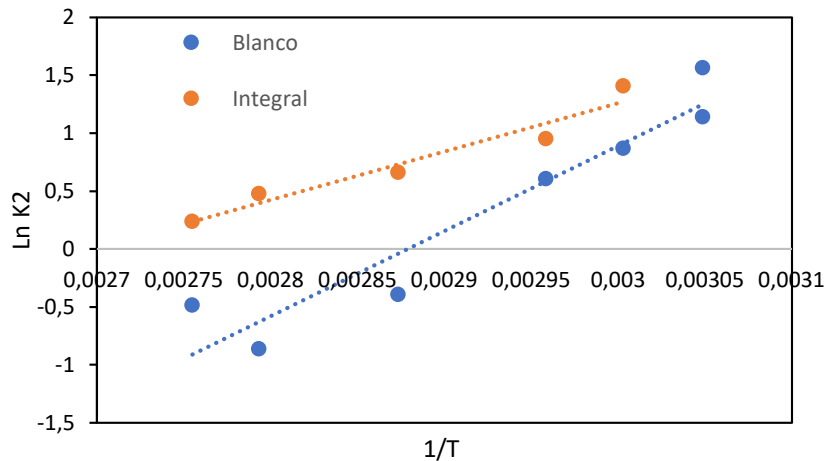
Tipo arroz	T (°C)	$X_e$ (g agua/g ss)
Blanco	65	0,36 ± 0,00
	70	0,58 ± 0,01
	75	0,72 ± 0,13
	85	1,7 ± 0,3
	95	2,77 ± 1,11
	100	1,79 ± 0,17
Integral	65	0,48 ± 0,05
	70	0,52 ± 0,00
	75	0,56 ± 0,11
	85	0,70 ± 0,17
	95	0,78 ± 0,03
	100	0,94 ± 0,02

La influencia de la temperatura sobre el valor de  $k_2$  se ajustó a un modelo de Arrhenius (Ec. 5):

$$k_2 = A \cdot e^{\frac{E_a}{RT}} \quad (5)$$

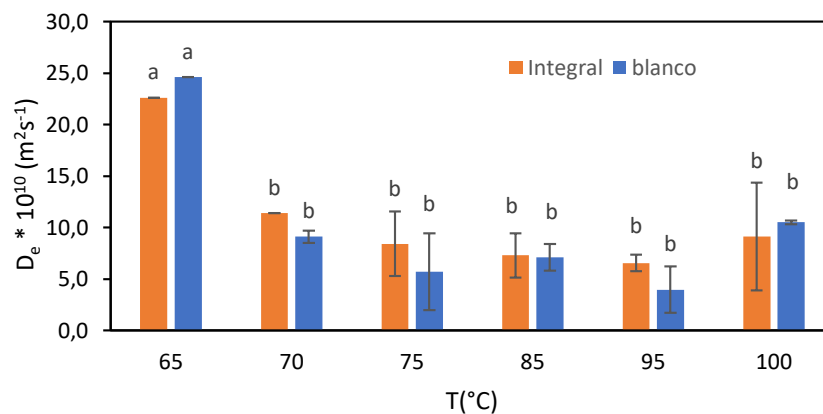
siendo  $k_2$  la constante de capacidad ( $g^{-1}$ ),  $A$  una constante,  $E_a$  la energía de activación,  $R$  la constante de los gases y  $T$  la temperatura.

A partir de la linealización de la ecuación 5 (Figura 10) se determinaron la energía de activación para el arroz blanco (61 kJ/mol K) y el integral (34,6 kJ/mol K) siendo 0,91 y 0,94 la bondad de los ajustes respectivamente.



**Figura 10.** Linealización de la ecuación de Arrhenius en función del tipo de arroz

Las curvas de absorción de agua a diferentes temperaturas se ajustaron también al modelo difusional de Fick considerando una geometría esférica a tiempos largos. Los valores obtenidos de difusividad efectiva se muestran en la figura 11.



**Figura 11.** Difusividad efectiva de agua en granos de arroz a diferente temperatura de hidratación. Letras iguales indican grupos homogéneos

Como puede observarse, el coeficiente de difusión efectiva de agua no varía significativamente para los dos tipos de arroz utilizados, siendo significativo el efecto de la temperatura ( $p < 0,05$ ). Se observa un coeficiente de difusión mayor cuando la temperatura es de 65°C, disminuyendo posteriormente y manteniéndose constante al aumentar la temperatura. Los

valores de difusividad obtenidos son del mismo orden que los reportados por Bakshi y Singh (1980), Lin (1993) y Bello et al. (2007), todos ellos en granos de arroz en un intervalo de temperaturas entre 50 y 120°C. Sin embargo, en este trabajo no se encontró un aumento de la difusividad con el aumento de la temperatura, tal y como cabría esperar. Durante el hinchamiento de los granos varía el radio medio de los mismos, mientras que en el modelizado de Fick se ha establecido un único radio medio de los granos, lo que podría estar interfiriendo en el buen ajuste de los datos experimentales.

#### **4. CONCLUSIONES**

Se ha determinado la temperatura de gelatinización del almidón de arroz tipo Senia blanco e integral, no observándose diferencias significativas por efecto del tipo de arroz. Esta temperatura ha permitido diferenciar dos etapas en la hidratación de los granos.

Durante la fase de remojo (temperaturas por debajo de 65 °C), tanto la velocidad de absorción de agua como la capacidad de absorción no parecen depender de la temperatura ni del tipo de arroz, aunque los valores experimentales tuvieron una gran dispersión. Por este motivo, sería recomendable contrastar estos resultados.

Durante la fase de precocción (temperaturas superiores a 65°C) la velocidad de absorción de agua no depende de la temperatura, pero sí la capacidad de absorción. A mayor temperatura la humedad de equilibrio de los granos aumenta y ésta es mayor en arroz blanco que en integral.

#### **5. REFERENCIAS**

- Bakshi, A. S., & Singh, R. (1980). Kinetics of water diffusion and starch gelatinization during rice parboiling. *Journal of Food Science*, 45(5), 1387-1392.
- Bello, M. O., Tolaba, M. P., & Suarez, C. (2007). Water absorption and starch gelatinization in whole rice grain during soaking. *LWT-Food science and Technology*, 40(2), 313-318.
- Birch, G. G., & Priestley, R. J. (1973). Degree of gelatinisation of cooked rice. *Starch-Stärke*, 25(3), 98-100.
- Borges CWC, Jorge LMM, Jorge RMM (2017). Kinetic modeling and thermodynamic properties of soybean cultivar (BRS257) during hydration process. *Journal of Food Process and Engineering*. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12579>.
- Botelho, F.M., Corrêa, P.C., Goneli, A.L.D., Martins, M.A., Baptestini, F.M. (2010). Análise da hidratação do arroz na parboilização. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30, 713-718. doi:10.1590/S0101-20612010000300023.
- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion*. Ed. Clarendon Press Oxford.
- Charles, A. L., Chang, Y. H., Ko, W. C., Sriroth, K., & Huang, T. C. (2005). Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(7), 2717-2725.



- Coello Ortiz, V., & Garces Barcia, C. (2015). Análisis de propiedades térmicas durante gelatinización en tres variedades de arroz iniap aplicando el calorímetro diferencial de barrido (dsc) (Bachelor's thesis, Espol).
- Colina, J., & Guerra, M. (2009). Obtención y evaluación de arroz integral de cocción rápida. *Interciencia*, 34(10).
- Conselleria de Medio Ambiente, GVA (2002). Importancia del Cultivo del Arroz en el Parc Natural de L'Albufera. Valencia. [En línea] Disponible en: [https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiR8Nay-vHUAhWJVbQKHfGnALUQFqgnMAA&url=http%3A%2F%2Fwww2.chj.gob.es%2FAlbufera%2F01\\_WEB\\_ED%2F01\\_AV\\_DSAV%2F04\\_GA%2F01\\_MC%2F7-Linkdocs%2F21121\\_Importancia%2520arrozal%2520Albufera.pdf&usq=AFQjCNHDrC7YqD800InmFnwMRuxKZnrqmA&cad=rja](https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiR8Nay-vHUAhWJVbQKHfGnALUQFqgnMAA&url=http%3A%2F%2Fwww2.chj.gob.es%2FAlbufera%2F01_WEB_ED%2F01_AV_DSAV%2F04_GA%2F01_MC%2F7-Linkdocs%2F21121_Importancia%2520arrozal%2520Albufera.pdf&usq=AFQjCNHDrC7YqD800InmFnwMRuxKZnrqmA&cad=rja). Fecha consulta: 17/06/2017
- Corrêa P.C., Horta de Oliveira G.H., Rodrigues de Oliveira A.P.; Mendes Botelho, F.; Duarte Goneli A.L. (2017). Thermodynamic properties of drying process and water absorption of rice grains. *CyTA-Journal of Food* Vol. 15:2, 204-210, DOI: 10.1080/19476337.2016.1238012
- Denominación de Origen Arroz de Valencia (2012), [En línea], Disponible en: <http://www.arrozdevalencia.org/variedades-2/>. Fecha de consulta: 23/05/2017
- Eroski Consumer (2013) El arroz [en línea], disponible en <http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/guia-alimentos/cereales-y-derivados/2001/07/05/34967.php>. Fecha de consulta: 30/06/2017.
- FAO (2017) Seguimiento del Mercado del Arroz, Abril de 2017 [En línea], Disponible en: <http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>. Fecha de consulta: 06/05/2017
- Ikegwu, O. J., Orji, A. E. (2016). Modelling of hydration kinetics of brown and grey African yam bean varieties using Peleg's Equation. *Nigerian Food Journal*, 34(1), 140-146.
- Infoalimentación (2017). Alimentos precocinados. [en línea] Disponible en: [http://www.infoalimentacion.com/documentos/alimentos\\_precocinados.htm](http://www.infoalimentacion.com/documentos/alimentos_precocinados.htm). Fecha consulta: 17/06/2017.
- Lin, S. H. (1993). Water uptake and gelatinization of white rice. *LWT-Food Science and Technology*, 26(3), 276-280.
- Maroto, M. (2016). Caracterización de arroces con crianza en bodega. Tesis Fin de Master, Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/72041>.
- Ospina, J. F. A., & Castro, R. A. F. (2009). Aplicación de la ley de fick y el modelo de peleg para estudiar la absorción de agua en el frijol cargamanto ombligo amarillo (*phaseolus vulgaris* L.) y la arveja seca (*pisan sativa*) durante la rehidratación. *Publicaciones e Investigación*, 3(1), 15-28.
- Gómez-Senent, C. (2017) Aspectos técnicos sobre el arroz. [en línea] Disponible en: <http://www.lapaella.net/aspectos-tecnicos-sobre-el-arroz/>. Fecha consulta: 17/06/2017.

- Shafaei, S.M., Masoumi, A.A., Roshan, H. (2016). Analysis of water absorption of bean and chickpea during soaking using Peleg model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15, 135–144. doi:10.1016/j.jssas.2014.08.003
- Suzuki, U., Kunota, K., Omichi, M., & Hosaka, H. (1976). Kinetic studies on cooking of rice. *Journal of Food Science*, 41(5), 1180-1183.
- Puigdollers, C. B. (2007). Estudio de la deshidratación osmótica y del secado por aire caliente como operaciones de estabilización de productos de manzana (var. Granny Smith) enriquecidos en calcio (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Peleg, M. (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53(4): 1216-1219.
- Tian, Y., Zhao, J., Xie, Z., Wang, J., Xu, X., & Jin, Z. (2014). Effect of different pressure-soaking treatments on color, texture, morphology and retrogradation properties of cooked rice. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 368-373.
- Turhan, M., Sayar, S., Gunasekaran, S. (2002). Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *Journal of Food engineering*, 53(2), 153-159.
- Yu, L., Turner, M. S., Fitzgerald, M., Stokes, J. R., & Witt, T. (2016). Review of the effects of different processing technologies on cooked and convenience rice quality. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 124-138.