



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Efecto de las condiciones de cocción sobre la penetración de calor y propiedades texturales en patata (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa).

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

ALUMNO: Adrián Gómez García

TUTORA ACADEMICO: Purificación García Segovia
COTUTOR/DIRECTOR EXPERIMENTAL: Javier Martínez Monzó

Curso Académico: 2016/2017

VALENCIA, 25/09/2017

Revisión: VALENCIA, 09/10/2017

Efecto de las condiciones de cocción sobre la penetración de calor y propiedades texturales en patata (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa).

Gómez García Adrián¹; Purificación García Segovia²; Javier Martínez Monzó²

Resumen:

La cocción en condiciones de vacío continuo (*cook-vide*), es un tratamiento en el que el producto se cocina junto al medio de cocción en condiciones de presión subatmosférica. Al trabajar a menor presión se consigue reducir el punto de ebullición del líquido de cocción y del agua de constitución del producto, lo que permite deshidrataciones a menor temperatura y cocciones a baja temperatura con los beneficios que ello representa para las características texturales y nutricionales. En lo referente a calidad nutricional y sensorial, al trabajar a bajas temperaturas, se produce un menor deterioro de los compuestos que son susceptibles a elevadas temperaturas y se reducen oxidaciones al trabajar en condiciones de baja presión de oxígeno. Sin embargo este tipo de tratamientos requiere mayores tiempos de cocción para obtener texturas similares a las del producto cocinado a presión atmosférica. El objetivo de este trabajo ha sido estudiar los efectos de diferentes temperaturas y tiempos de cocción a vacío y a presión atmosférica sobre la penetración de calor en la patata (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) así como los cambios texturales que se producen en esta. Como segundo objetivo, se caracteriza el consumo energético de la placa de inducción que se utiliza durante el proceso de cocción. Se ha obtenido como resultado la caracterización de la olla obteniendo la evolución de la presión y la temperatura (100, 90 y 70°C) frente al tiempo. Por otro lado se ha obtenido la curva de consumo energético de la placa de inducción en función de la temperatura del tratamiento. Por último se ha valorado la textura de la patata cocida mediante ensayos reológicos. Se ha llegado a la conclusión de que el mejor tratamiento desde el punto de vista económico y reológico es a 90°C a vacío durante 20 minutos.

Palabras Clave: *Cook-vide*, textura, penetración de calor, patata

Resum:

La cocció en condicions de buit continu (*cook-vide*) és un tractament on el producte es cuina junt al medi de cocció en condicions de pressió subatmosfèrica. Al treballar amb menor pressió, s'aconsegueix reduir el punt d'ebullició del líquid de cocció i de l'aigua de constitució del producte, el que permet deshidratacions a menor temperatura i coccions a baixa temperatura amb els beneficis que representa per a les característiques texturals i nutricionals. Referent a la qualitat nutricional i sensorial, al treballar amb baixes temperatures, es produeix un menor deteriorament dels compostos

¹ Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo

² Grupo de Investigación CUINA. Departamento de Tecnología de Alimentos
Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n 46022. Valencia. España

que són susceptibles a elevades temperatures i es redueixen oxidacions al treballar en condicions de baixa pressió d'oxigen. No obstant això, aquest tipus de tractament requereix majors temps de cocció per obtenir textures similars a les del producte cuinat a pressió atmosfèrica. L'objectiu d'aquest treball ha sigut estudiar els efectes de diferents temperatures i temps de cocció a buit i a pressió atmosfèrica sobre la penetració de la calor en la creïlla (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa), així com també els canvis texturals que es produeixen en aquesta. El segon objectiu és caracteritzar el consum energètic de la placa de inducció que se utilitza en el procés de cocció. S'ha obtingut com a resultat la caracterització de l'olla obtenint l'evolució de la pressió y la temperatura (100, 90 y 70°C) en funció del temps. Per altra banda, s'ha obtingut la corba de consum energètic de la placa de inducció en funció de la temperatura del tractament. Per últim, s'ha valorat la textura de la creïlla cuita mitjançant assajos reològics. S'ha arribat a la conclusió de que el millor tractament des de el punt de vista econòmic y reològic es a 90°C en buit durant 20 minuts.

Paraules clau: *Cook-vide*, textura, penetració de calor, creïlla

Abstract:

The cooking in conditions of continuous vacuum (*cook-vide*), is a treatment in which the product cooks with the cooking media in conditions of sub atmospheric pressure. When we work at lower pressure the boiling point of the cooking liquid and the water of constitution of the product is reduced, which allows to dehydrations to smaller temperature and cook to low temperature with the benefits that it represents for the textural and nutritional characteristics. With respect to nutritional and sensorial quality, when working to low temperatures, a smaller deterioration of the compounds takes place that are susceptible to high temperatures and oxidations are reduced when working in conditions of low oxygen pressure. Nevertheless this type of treatments requires longer times of cooking to obtain textures similar to those of the cooked product under atmospheric pressure. The objective of this work has been to study the effects of different temperatures and times in atmospheric and *cook-vide* treatments on the heat penetration as well as changes in the textural properties of potato (*Solanum tuberosum* L., CB. Monalisa). As a further aim, the energy consumption of the induction cooker used in the cooking process is characterized. The obtained result is the characterization of the cooking pot according to the pressure and the temperature evolution in time (100, 90 and 70°C). On the other hand, the energy consumption curve of the induction cooker in relation to the treatment temperature is obtained. Last, but not least the cooked potato texture is assessed via rheological tests. In conclusion, the best treatment from both the economical and rheological point of view is at 90 °C in vacuum along 20 minutes.

Key words: *Cook-vide*, texture, heat penetration, potatoe

1. INTRODUCCIÓN

La patata (*Solanum tuberosum*) es uno de los principales cultivos agrícolas que consumen a diario millones de personas de diversos orígenes culturales. La cocción de patata es un porcentaje muy alto de los alimentos cocinados tanto en restaurantes como a nivel doméstico (Chiavaro E et al., 2006). La textura es un factor esencial en la percepción de la calidad de los productos cuando se consumen, especialmente si se trata de patata (García-Segovia P et al., 2008).

Los procesos culinarios mejoran la calidad de los productos que consumimos, sin embargo provocan efectos no deseados como la pérdida del valor nutritivo. Aquellos procesos que implican el uso de calor son los más destructivos y las condiciones del proceso (temperatura, tiempo o presión) marcarán unas características en el alimento (Suarez Hernández P et al., 2004).

Antiguamente, se realizaba una cocción de la patata a 100°C y a presión atmosférica. Una de las alternativas a este método es la cocción utilizando el vacío que permite trabajar a menos temperatura alcanzando la textura de la patata deseada por el consumidor y conservando las características organolépticas (Baldwin Douglas E., 2012).

Hasta el momento lo que se conoce en cuanto al vacío aplicado a la cocina es el sistema *sous-vide* (bajo vacío) donde los alimentos crudos o precocinados son envasados al vacío en bolsas herméticas y estables al calor que permiten su cocinado con combinaciones de temperaturas bajas (65-90 °C) y tiempos largos (Armesto J et al., 2017). Por otro lado, se encuentra la llamada *cocina al vacío* donde se realiza la cocción del alimento de forma tradicional y, posteriormente, se envasa el alimento en bolsas de plástico hermético y se realiza el vacío del interior de la bolsa (Úbeda Miguel Ángel H., 2001).

Los últimos desarrollos en cocción a vacío es el llamado *cook-vide*, un tratamiento del producto en condiciones de vacío continuo dentro del utensilio de cocina, es decir, una cocción en condiciones de presión subatmosféricas. La cocción bajo estas condiciones permite reducir el punto de ebullición del líquido y por tanto conseguir alcanzar un hervido del producto a temperaturas menores de 100°C (García-Segovia P y Martínez Monzó J, 2010). Estas condiciones se alcanzan expulsando del utensilio de cocina (olla) todo el aire de su interior hasta alcanzar presiones subatmosféricas.

Gran parte de las investigaciones han ido dirigidas al desarrollo de técnicas para utilizar *sous-vide* y *cook-vide* en el sector de la alta cocina. Se han desarrollado equipos y procesos que pueden habilitar el uso de estas técnicas y se han obtenido resultados de mejoras en la calidad organoléptica y textural de los alimentos cocinados (Iborra-Bernad C et al., 2013). Sin embargo los equipos usados en la técnica *cook-vide* están poco desarrollados y, prácticamente, no caracterizados. Esto no permite tener conocimiento de cómo se quedará nuestro producto al final del cocinado y, por tanto, dificulta la elección de los parámetros a utilizar (presión, tiempo y temperatura) según el objetivo que se busque.

Entre los beneficios de este tipo de cocción, se puede encontrar la reducción de las temperaturas de cocción consiguiendo los mismos resultados que la cocción atmosférica pero manteniendo la textura, el color y los nutrientes originales (Baldwin Douglas E., 2012). Por otra parte, al crear el espacio confinado subatmosférico en la olla se consigue extraer todo el oxígeno, incluido el del interior del alimento (poroso). Al finalizar la cocción y reestablecer las condiciones atmosféricas el producto sufre un “efecto esponja” absorbiendo de forma natural el líquido que se encuentra a su alrededor por su estructura porosa (Caracuel García Á, 2008). Esta técnica descrita es la impregnación al vacío y es la base de otras investigaciones en la tecnología de alimentos. Esto podría abrir una nueva línea de investigación (Martelo Castaño YJ. et al., 2011).

El objetivo de este trabajo es la caracterización del equipo utilizado para realizar la cocción *cook-vide*. Es decir conocer cómo evolucionan los parámetros de temperatura en función del tiempo en condiciones subatmosféricas y como la cocción bajo estos parámetros influye sobre la textura del producto. Como objetivo secundario se pretende conocer como administra la potencia la placa de inducción y cuál es su consumo energético durante el proceso de cocción. Esta investigación, por tanto, persigue la finalidad de saber que parámetros (temperatura, presión y tiempo) hay que utilizar para alcanzar un objetivo de calidad organoléptica sin descuidar el consumo energético de la placa de inducción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

2.1.1. PATATA

Las patatas (*Solanum tuberosum var.monalisa*) se compraron en un supermercado. Se mantuvieron almacenadas en oscuridad hasta el momento de preparación de las muestras, para evitar podredumbre y deterioro durante la fase experimental.

Las muestras fueron peladas y cortadas manualmente en cilindros de 20 mm de altura por 20 mm de diámetro (**FIGURA 1**). Este proceso se realizaba para cada fase experimental en el mismo momento para evitar la oxidación del producto. Se pesaba la muestra hasta alcanzar un peso total de 300 gramos.

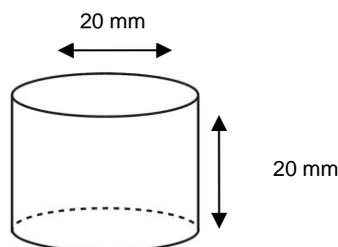


FIGURA 1. Geometría del cilindro de patata

Tras cada tratamiento las muestras eran atemperadas a temperatura ambiente durante 15 minutos antes de proceder a su análisis de textura.

2.1.2. AGUA

El agua utilizada fue agua de red fría. Se utilizó siempre la misma cantidad de agua por peso de producto para así estandarizar el proceso de las experimentaciones. La relación de agua utilizada fue de 0.007 litros de agua por gramo de patata. Es decir, para 300 gramos de patata se usaron 2.1 litros de agua fría.

2.1.3. TRATAMIENTO DE COCCIÓN

Se realizaron dos tipos de cocción a diferentes temperaturas y tiempos. Se realizó una cocción atmosférica y otra a vacío.

El equipo utilizado es una olla a presión convencional la cual ha sido modificada para poder realizar una cocción a vacío (**FIGURA 2**). El vacío se consigue manteniendo una aspiración constante del aire del interior de la olla mediante una bomba.

La olla está equipada con tres termopares K de tipo vaina Inconel de 0.5 mm (Termya, San Sebastián de los Reyes, España) y un transmisor de presión (Huba Control, Barcelona, España). De los tres termopares dos se pinchaban en uno de los cilindros de patata para hacer un seguimiento de la temperatura en el producto. Uno en el centro y el otro en la superficie del producto. El tercer termopar analiza la temperatura del agua de cocción. La adquisición de datos de temperaturas y presión se realizó a través del registrador VR-18 Paperless Recorder (BrainChild Electronic, Taipei, Taiwan).

En la **TABLA 1** se muestran las diferentes sondas de la olla.

TABLA 1. Sondas del ensayo.

Numeración sonda	Medida
AI3	Presión de la olla
AI4	Temperatura del agua
AI5	Temperatura del centro del producto
AI6	Temperatura de la superficie del producto

El calentamiento del proceso se realizó mediante una placa de inducción de marca *Siemens* modelo *Schoot ceran*, la cual tiene una sonda de temperatura que permite alcanzar la temperatura marcada y mantenerla constante el tiempo establecido.

Por último se llevó a cabo un registro de la potencia utilizada durante el proceso de cocción para comparar consumos entre tratamientos. Esta adquisición de datos se realizó mediante un medidor de potencia de uso universal de marca PCE modelo PA6000 con interfaz RS 232 (PCE Instruments S.L., Tobarra, España).

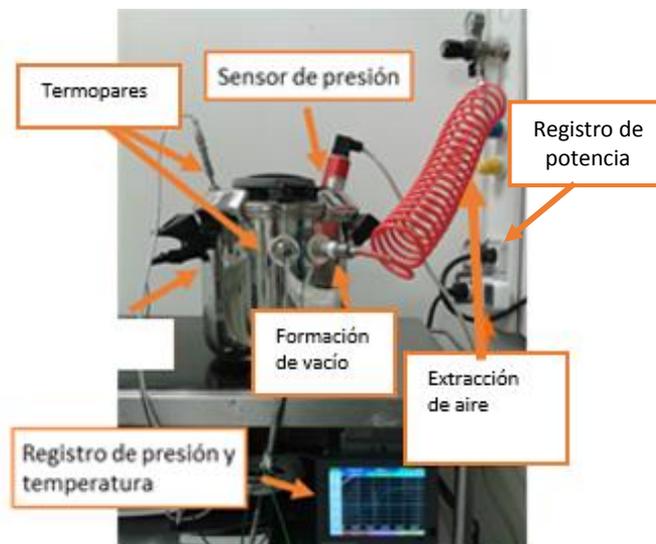


FIGURA 2.Olla a vacío.

2.2. Métodos

2.2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El plan experimental se muestra en la siguiente **TABLA 2**

TABLA 2.Diseño experimental.

Presión	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
Atmosférica	100	10
		15
		20
		30
Vacío	70	20
		30
	90	20
		30

Cada una de las experiencias se realizó por triplicado. Para tener una buena consistencia y repetibilidad de los datos se realizó una media de todas las curvas para cada tratamiento con el fin de obtener una media con una desviación mínima.

Para la caracterización y ajuste de las gráficas de temperatura se utilizó el modelo general sigmoideal de Chapman (**ECUACIÓN 1**):

$$y = y_0 + a (1 - e^{-bx})^c \quad (1)$$

Donde:

y_0 = Temperatura inicial (°C).

a = Temperatura inicial – Temperatura de equilibrio (°C)

x = tiempo (min)

y = Temperatura (°C)

b y c = Parametros relacionados con la forma sigmoide

2.2.2. TEXTURA

El análisis de las propiedades mecánicas se realizó mediante ensayos de relajación de tensión a deformación constante y ensayos de cizalla (corte). Estos se llevaron a cabo en las muestras cilíndricas con una prensa TA.XT2 2 “Texture Analyser” de la firma Stable Micro Systems (SMS). Tras la cocción las muestras se dejaron a temperatura ambiente para atemperarlas y se llevaron al Analizador de Textura. Se realizaron dos ensayos de textura y se analizaron los resultados:

-Ensayo de cizalla: acción de corte mediante una célula de Warner-Bratzler que produce la separación del producto sobre una base en dos trozos tras aplicar esfuerzos tangenciales (Chiralt A. et al., 2007). En este caso el cilindro se coloca tumbado para simular un mordisco. Para el análisis del ensayo de cizalla (corte) se procesaron los datos con el software “TextureExponent 32” obteniendo los parámetros de fuerza máxima (F_{max}) y área bajo la curva de cada curva.

-Ensayo de relajación: se basa en la aplicación de una deformación constante sobre el material y el análisis de la evolución de los valores de la tensión interna en función del tiempo de medida en que el sistema se relaja (Chiralt A. et al., 2007). Las muestras fueron comprimidas con un émbolo de 70 mm de diámetro hasta una deformación de un 10% a una velocidad de compresión de 200 mm/min. Para el análisis de los datos de relajación de tensión se utilizó el Modelo de Maxwell generalizado dado por la **ECUACIÓN 2** desarrollado por Sherman (1970):

$$F(t) = C_0 + \sum_{i=1}^n C_i \cdot e^{-(a_i t)} \quad (2)$$

La **ECUACIÓN 2** se ajustó por un procedimiento de regresión no lineal, considerando dos términos del sumatorio. Para ello, se utilizó el programa Sigma Plot 13.0 de la compañía Jandel Scientific.

En el Modelo de Maxwell las constantes “ C ” y “ a ” son características del material y $F(t)$ representa los valores tomados por la fuerza en función del tiempo de relajación. El término “ C_0 ” está relacionado con el valor de equilibrio alcanzado al final de la relajación de la tensión. Normalmente, dos o tres términos del sumatorio son necesarios para obtener un buen ajuste de las curvas experimentales (Peleg M. y Pollak N., 1982). A partir de los parámetros C_i y a_i obtenidos del ajuste de la **ECUACIÓN 2** se calcularon los módulos de

elasticidad (E_i), coeficientes de viscosidad (η_i) y los tiempos de relajación (T_i) de los diferentes elementos que componen el modelo de Maxwell generalizado (**FIGURA 3**), mediante las ecuaciones siguientes (**ECUACIONES 3, 4, y 5**):

$$E_i = \frac{C_i}{\varepsilon_0 \cdot S} \quad (3)$$

$$T_i = \frac{1}{a_i} \quad (4)$$

$$\eta_i = T_i \cdot E_i \quad (5)$$

Donde:

E_i = módulo de elasticidad (Pa).

$\varepsilon_0 = 0.1$ (deformación uniaxial relativa aplicada en tanto por uno).

S = superficie de contacto sobre la que se aplica la fuerza (m^2).

T_i = tiempos de relajación (s).

η_i = coeficientes de viscosidad (Pa·s).

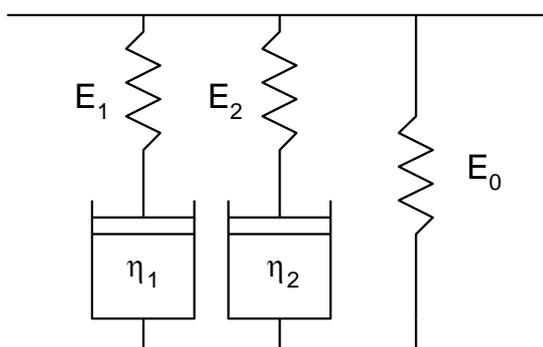


FIGURA 3. Modelo de Maxwell Generalizado (Mohsenin, 1980).

2.2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los datos estudiados en el presente proyecto se realizó con el paquete informático STATGRAPHICS Plus 5.1. (Statistical Graphics Corporation). Los análisis para evaluar la posible existencia de diferencias significativas se realizaron mediante el análisis de la varianza (ANOVA) y Fisher's least-significant-difference (LSD), con un nivel de confianza $p < 0,05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la olla.

La **FIGURA 4** corresponde a la evolución de la medida de presión dentro de la olla de cocción durante el tiempo de 20 minutos. Como se puede observar en la gráfica para el tratamiento a presión atmosférica como es de esperar la presión es de 0 bares.

En los tratamientos de vacío a 70 y 90°C se puede observar un ligero aumento de la presión durante el proceso de cocción aunque durante todo el proceso se mantiene condiciones de vacío. Este fenómeno se debe a que durante la cocción a vacío el agua hierve a una menor temperatura. Esto genera vapor en la cámara de la olla provocando un aumento de la presión durante el proceso (Mir-Bel J. et al., 2012). Comparando los resultados entre ambos tratamientos de vacío y teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado en el tratamiento de 90°C al utilizar una temperatura más alta se genera una mayor cantidad de vapor provocando un aumento de la presión más pronunciado (de -0,8 a -0,4 bares). Por el contrario, en el tratamiento de 70°C a causa de utilizar una temperatura más baja la subida de presión es muy leve (de -0,8 a -0,7 bares) y se mantienen unas mejores condiciones de vacío.

El punto de ebullición del agua (a una determinada temperatura de trabajo), determina la presión de vapor de la cámara. Los datos obtenidos mostraron que para los tratamientos a vacío de 70 y 90 °C a partir de los 15 minutos se establece un equilibrio entre la temperatura de trabajo y la presión de la cámara. Por tanto el sistema se sitúa en la curva de equilibrio de ebullición del agua. Es por esto que a 70°C la presión es de -0,72 bar y para las temperatura de 90°C la presión es de -0,42 bar. Es decir, según cómo funciona el equipo, la temperatura de trabajo fija la presión de vacío.

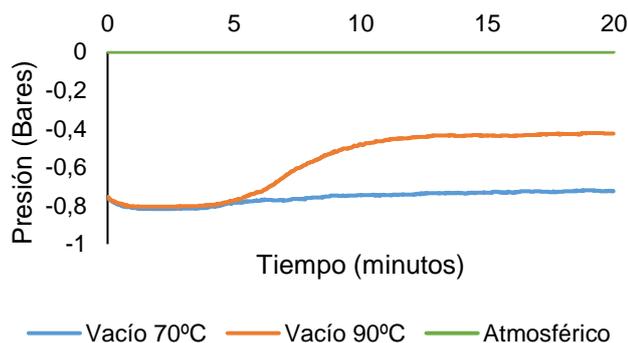


FIGURA 4. Evolución de la presión en la cámara de la olla

La **FIGURA 5** corresponde a la evolución de la temperatura del medio, es decir del agua de cocción durante el tiempo de 20 minutos.

Como se puede observar en la **FIGURA 5** a partir de los 7 minutos se alcanza la temperatura máxima establecida para los tres tratamientos. A partir de aquí, se mantiene constante la temperatura para el resto del tiempo de cocción. Como se puede observar en las pendientes para cada tratamiento,

en el caso de 100°C la pendiente es mucho más pronunciada que para los tratamientos de 70 y 90°C. Esta diferencia en la subida de temperatura (pendiente) entre los tratamientos de 70 y 90°C y el de 100°C se debe, principalmente, al uso de diferente potencia de la placa de inducción a la hora de alcanzar la temperatura de 100°C. El comportamiento de la placa se puede observar en la **FIGURA 11**.

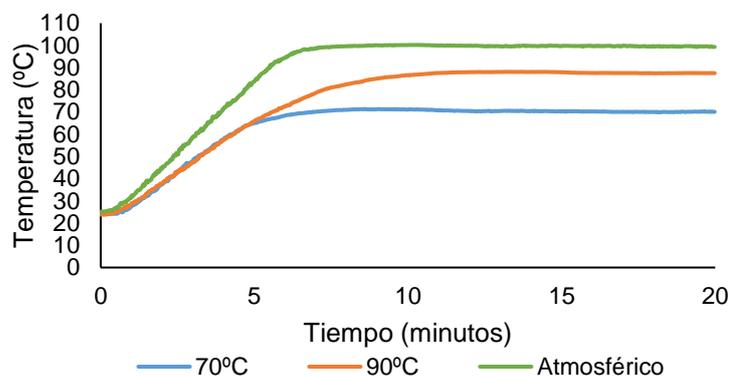


FIGURA 5. Evolución temperatura del medio

La **FIGURA 6** y **FIGURA 7** corresponden a la evolución de la temperatura en la superficie y el centro de la patata respectivamente en los tratamientos de 70, 90 y 100°C.

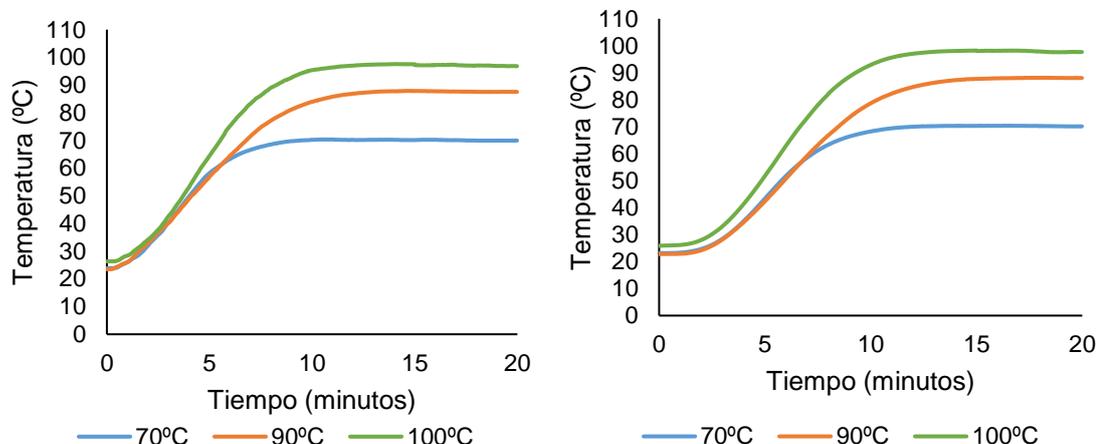


FIGURA 6. Evolución de la temperatura en la superficie de la patata. **FIGURA 7.** Evolución de la temperatura en el centro de la patata.

Las **FIGURA 8** y **FIGURA 9** corresponden a los tratamientos de cocción realizados bajo condiciones de vacío a 70 y 90°C, respectivamente. Por otro lado la **FIGURA 10** corresponde al tratamiento en condiciones atmosféricas o

blanco que se utiliza para comparar el comportamiento de la cocción a vacío continuo o *cook-vide*.

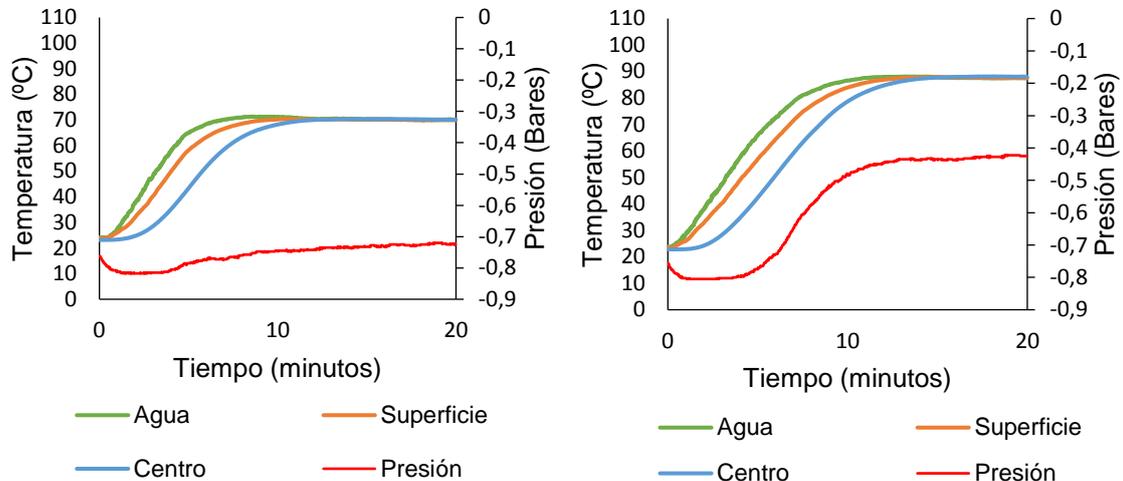


FIGURA 8. Tratamiento a 70°C y en condiciones de vacío

FIGURA 9. Tratamiento a 90°C y en condiciones de vacío.

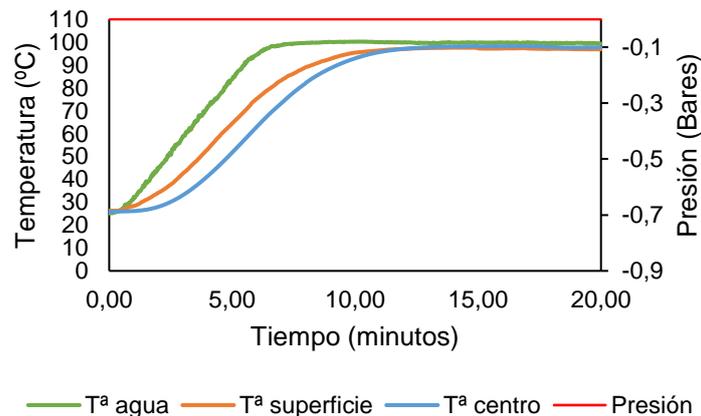


FIGURA 10. Tratamiento en condiciones atmosféricas.

La **TABLA 3** corresponde a los parámetros del modelo general sigmoideal de Chapman obtenidos a partir del ajuste de las gráficas de temperatura anteriormente mencionadas mediante la **ECUACIÓN 1**.

Para este modelo en todos los casos, los parámetros a estudiar indican que la suma de “ y_0 ” y “ a ” es la temperatura de equilibrio que se alcanza al final del tratamiento. Los parámetros “ b ” y “ c ” están relacionados con la forma sigmoideal que toma la curva en cada caso. Cuanto mayor es “ b ” y menor es “ c ” la curva es menos sigmoideal y la subida de temperatura es más recta y viceversa. Los valores de los parámetros “ b ” y “ c ” están también relacionados con la dificultad con la que penetra el calor en el interior de la patata. Por esto mismo, valores en el centro de la patata son contrarios a los valores del medio.

En el caso de la temperatura del medio en el tratamiento a 100°C se observa que donde “b” es el valor máximo y “c” es el mínimo la subida de temperatura es rectilínea. Por el contrario en la superficie y el centro de la patata cuando los valores de “b” disminuyen y “c” aumentan las formas de la curva se perfilan de forma sigmoideal (**FIGURA 10**). Para el tratamiento de 70°C la evolución de los parámetros es similar a los del tratamiento de 100°C, produciéndose un efecto similar en la gráfica de temperatura (**FIGURA 8**). Por el contrario tal y como se observa en la **TABLA 3** en el tratamiento de 90°C los parámetros de “b” y “c” son similares en el medio, la superficie y el centro (**FIGURA 9**). Este cambio se debe a la forma con la que suministra la potencia la placa para la temperatura fijada de 90°C, tal y como se explica en el apartado 3.2..

Como se observa en los resultados el modelo de Chapman se ajusta perfectamente a las gráficas de temperatura ya que la R² en todos los casos es superior a 0,99.

TABLA 3.Parámetros modelo general sigmoideal de Chapman.

Tratamiento	Parámetros modelo	a	b	c	y ₀	R ²
100 °C	Medio	71,58	0,60	4,66	28,87	0,9970
	Superficie	69,40	0,46	5,76	28,60	0,9992
	Centro	71,84	0,44	9,20	27,18	0,9994
70 °C	Medio	45,61	0,69	4,79	25,13	0,9984
	Superficie	45,25	0,58	5,48	25,17	0,9994
	Centro	46,81	0,51	10,32	23,85	0,9997
90 °C	Medio	62,86	0,41	3,01	25,69	0,9989
	Superficie	63,23	0,36	3,65	25,67	0,9989
	Centro	65,89	0,36	7,04	23,61	0,9995

3.2. Consumo de potencia de la placa de inducción

La **FIGURA 11** corresponde al consumo de potencia de la placa de inducción durante el tratamiento de 100, 70 y 90°C.

Como se puede observar en la **FIGURA 11** en los 7 primeros minutos es el margen de tiempo donde la placa de inducción hace uso de una mayor potencia para poder alcanzar la temperatura establecida. A partir de este momento el consumo de la placa disminuye drásticamente, ya que únicamente tiene que mantener la temperatura en el objetivo establecido.

Para el tratamiento de 100°C la placa hace el mayor consumo de potencia inicial (de hasta 2500 vatios) en comparación con los otros dos tratamientos. Por otro lado, en los tratamientos de 70 y 90°C la placa alcanza potencias iniciales inferiores (de hasta 1800 vatios). En el caso del tratamiento de 90°C la placa utiliza la misma potencia inicial que para el tratamiento de 70°C pero se mantiene en este régimen de potencia durante más tiempo. Este diferente uso de potencias iniciales de la placa de inducción es lo que genera una pendiente de subida de temperatura mucho más pronunciada en la curva de 100°C, como se mencionó anteriormente (**FIGURA 5**). En los tratamientos de

70 y 90°C como es lógico se mantiene la misma pendiente de subida de temperatura ya que se usa la misma potencia. Únicamente en el tratamiento de 90°C está pendiente se mantiene durante más tiempo ya que tiene que alcanzar una temperatura superior con la misma potencia (**FIGURA 5**). Para el caso del tratamiento de 90°C la forma diferente con la que administra la potencia la placa genera en la mayoría de casos curvas sigmoidales como anteriormente se ha mencionado. Para el tratamiento de 70°C ocurre lo mismo pero en menor proporción.

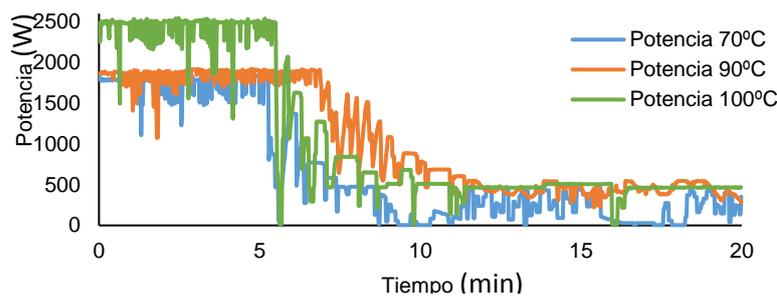


FIGURA 11. Consumo de potencia de la placa de inducción.

La **TABLA 4** corresponde a la potencia media (Wattios) de la placa de inducción para cada tratamiento a los 5, 10 y 20 minutos del tratamiento. A partir de aquí se obtiene el consumo medio de cada tratamiento y el gasto que este implica.

Observando los resultados, se puede decir que los 5 primeros minutos de todos los tratamientos son los que mayor potencia se utiliza. Estos datos de potencia corresponden con la mayor subida de temperatura como se puede observar en la **FIGURA 5**. A los 10 y 20 minutos la potencia media disminuye drásticamente, ya que alcanzada la máxima temperatura la placa de inducción únicamente mantiene esta temperatura disminuyendo la potencia utilizada.

Haciendo una valoración del gasto económico que implica la cocción de cada tratamiento, interesa utilizar la menor temperatura posible, con el menor tiempo posible, pero manteniendo las características texturales óptimas de consumo de la patata. (Iborra Bernad C et al., 2015 y Iborra-Bernad C et al., 2014). Esto se discute en el apartado 3.2.1

TABLA 4. Consumo medio de potencia por tratamiento

Temperatura		70°C	90°C	100°C	
Tiempo (min)	5	Potencia (W)	1763	1835	2425
		Consumo (kW/h)	0,147	0,153	0,202
		Gasto (€)	0,017	0,017	0,023
	10	Potencia (W)	1163	1595	1689
		Consumo (kW/h)	0,194	0,266	0,282
		Gasto (€)	0,022	0,030	0,032
	20	Potencia (W)	682	1033	1075
		Consumo (kW/h)	0,227	0,344	0,358
		Gasto (€)	0,026	0,039	0,040

3.3. Análisis de textura.

3.2.1. CORTE

La **FIGURA 12** corresponde a los ensayos de corte para los tratamientos de 100, 90 y 70°C para los tiempos 10, 15, 20 y 30 minutos de tratamiento. En estas gráficas se representa la fuerza (N) aplicada por el texturometro frente al tiempo (s).

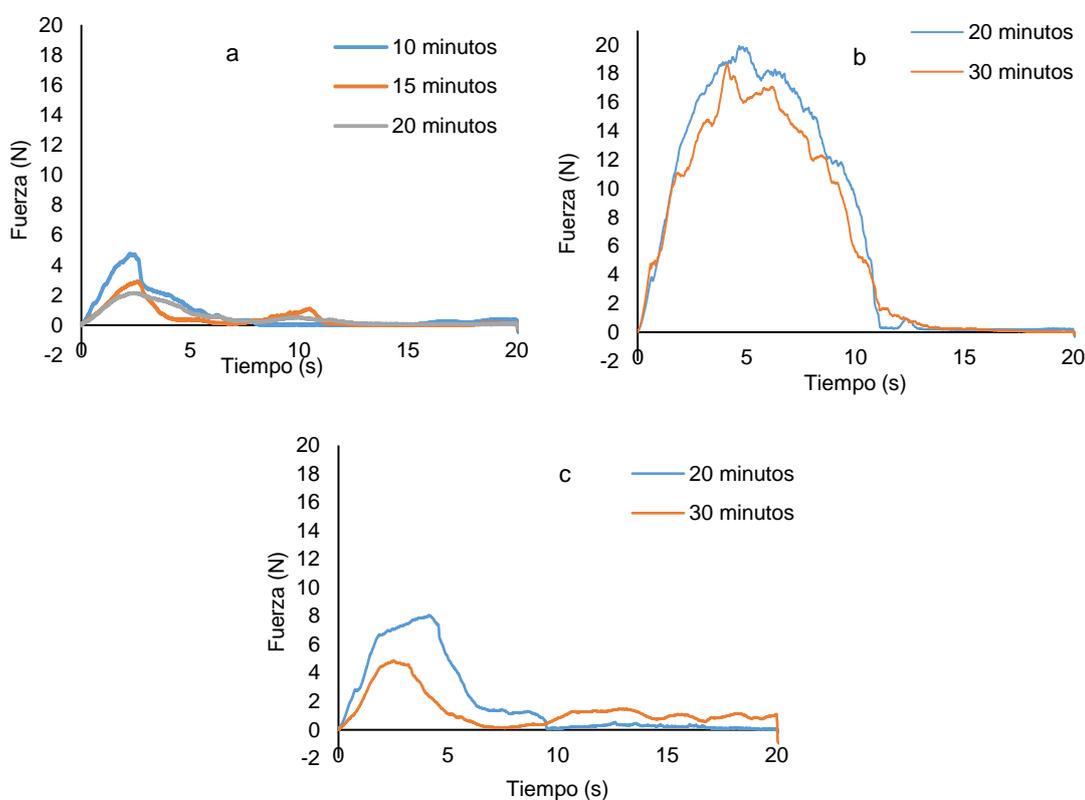


FIGURA 12. Ensayo de corte: Tratamiento 100°C (a), 70°C (b) y 90°C (c).

La **TABLA 5** corresponde a los resultados medios de los parámetros de Fuerza máxima (N) y Área bajo la curva (N.s) obtenidos a partir de los ensayos de corte.

Como se puede observar en la **TABLA 5** el tratamiento a vacío a 70°C durante 20 y 30 minutos son los que tienen mayor valor de fuerza máxima medio (17,3 y 16,7 N) y área (126 y 115 N.s). Esto quiere decir que la patata en estos dos tratamientos está poco hecha ya que la textura es muy dura.

Por otro lado, para el tratamiento atmosférico a 100°C para todos los tiempos mostrados los valores de fuerza máxima son muy bajos (3,7, 2,3 y 2,4 N) y los valores medios de área también (11, 8 y 8 N.s). Estos valores

indican que la patata probablemente esté muy blanda, es decir, demasiado hecha.

Por último, el tratamiento a vacío a 90°C durante 20 y 30 minutos es el que muestra valores medios de fuerza máxima (7,7 y 4,6 N) y área (33 y 29 N.s).

TABLA 5. Resultados del ensayo de corte.

Presión (bar)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	F _{Máx} (N)	Área (N·s)
Atmosférica	100	10	3,7 ^{a,1} ± 0,7	11 ^{1,a} ± 3
	100	15	2,3 ^{a,2} ± 0,5	8 ^{1,b} ± 3
	100	20	2,4 ^{a,2} ± 0,6	8 ^{1,b} ± 2
Vacío	70	20	17,3 ^{b,3} ± 3,8	126 ^{2,c} ± 30
	90	20	7,7 ^{c,4} ± 1,6	33 ^{3,d} ± 8
	70	30	16,7 ^{b,3} ± 3,4	115 ^{2,c} ± 23
	90	30	4,6 ^{c,5} ± 2,6	29 ^{3,d} ± 13

^{a,b,c...} Superíndices con letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor≤0,05) entre tratamientos sin tener en cuenta el tiempo.

^{1,2,3...} Superíndices con números diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor≤0,05) entre tratamientos teniendo en cuenta tiempos de cocción.

Trabajos previos (Iborra-Bernad C et al., 2015 y Iborra-Bernad C et al., 2014) mostraron que para tratamientos a menores temperaturas 90°C proporcionan una mayor retención de nutrientes en la patata (vitamina C) por lo que serían más recomendables. Como se comentó anteriormente, los tratamientos a 100°C a los tiempos más cortos ensayados (10 min) proporcionan una textura excesivamente blanda. La recomendación realizada en trabajos anteriores sería un tiempo entorno a los 25 min a una temperatura de 90°C (Iborra-Bernad C et al., 2015 y Iborra-Bernad C et al., 2014)

3.2.2. RELAJACIÓN

La **FIGURA 13** corresponde a los ensayos de relajación para los tratamientos de 100, 90 y 70°C para los tiempos 10, 15, 20 y 30 minutos de tratamiento. En estas gráficas se representa la fuerza (N) aplicada por el texturometro frente al tiempo (s).

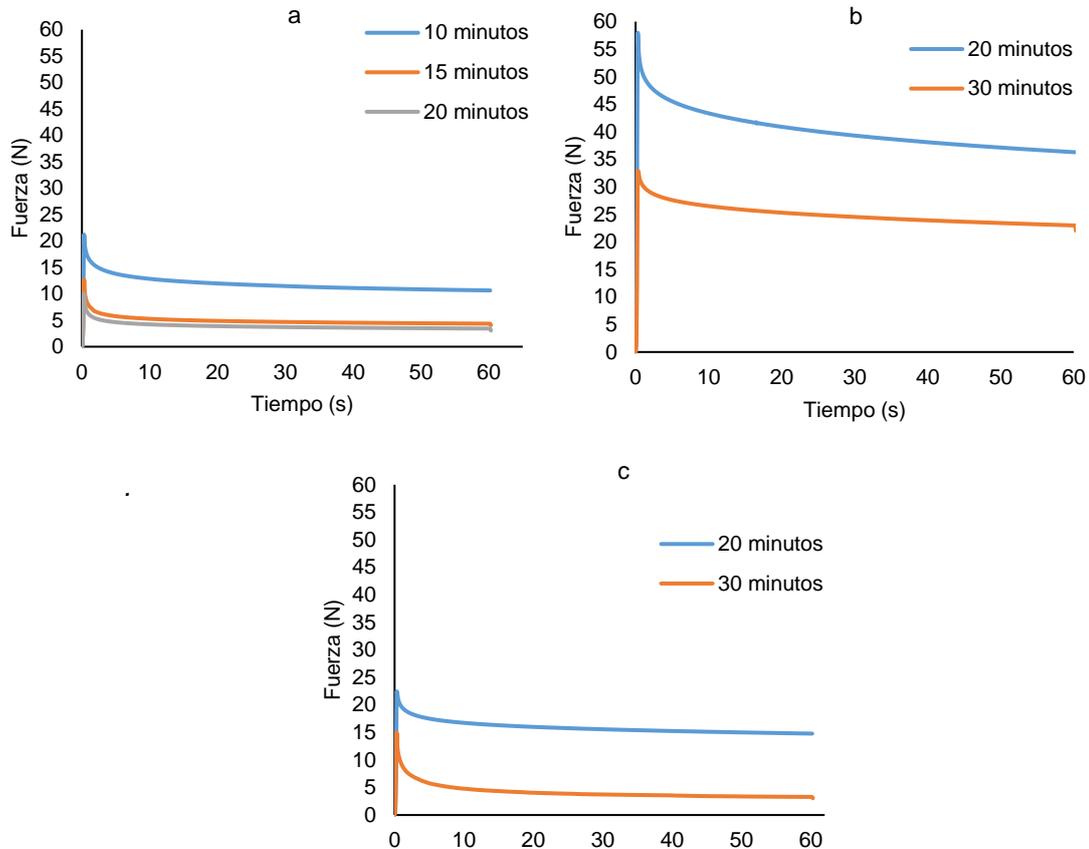


FIGURA 13. Ensayo de relajación: Tratamiento de 100°C (a), 70°C (b) y 90°C (c).

La **TABLA 6** corresponde a los resultados del módulo de elasticidad E_0 del modelo parametrizado de Maxwell, que se explicó anteriormente en el apartado 2.2.2. El E_0 corresponde al módulo de elasticidad residual, es decir el carácter elástico del producto a tiempos largos de relajación (**FIGURA 3**). La elasticidad del producto está relacionada directamente con el punto de cocción. A texturas más blandas menor elasticidad y viceversa. Por tanto, como se puede observar en la **TABLA 6** dentro del tratamiento de 100°C el que tiene mayor elasticidad es el de 10 minutos, después el de 15 y por último el de 20 minutos. De la misma forma, para los tratamientos a vacío a 70 y 90 °C los de mayor elasticidad serán los tiempo de 20 minutos y después los de 30 minutos. Comparando entre temperaturas, los tratamientos a vacío de 70°C tienen una mayor elasticidad que aquellos de 90°C.

TABLA 6. Resultados del ensayo de relajación: Módulo 0.

P (bar)	T(°C)	T (min)	E ₀ (Pa)	
Atmosférica	100	10	239996 ^{1;a}	± 76757
	100	15	93573 ^{1;a,b}	± 34282
	100	20	52348 ^{1,c}	± 26541
Vacío	70	20	1041529 ^{2,c}	± 169055
	90	20	537287 ^{3,c}	± 206783
	70	30	856158 ^{2;b,c}	± 168684
	90	30	186896 ^{3;b,c}	± 62531

^{a,b,c...}Superíndices con letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor≤0,05) entre tratamientos sin tener en cuenta el tiempo.

^{1,2,3...}Superíndices con números diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor≤0,05) entre tratamientos teniendo en cuenta tiempos de cocción.

La **TABLA 7** y **TABLA 8** corresponden a los resultados de E₁ y E₂ respectivamente del modelo parametrizado de Maxwell que se explicó anteriormente en el apartado 2.2.2. El E₁ y E₂ corresponden al módulo de elasticidad y viscosidad asociada en función del tiempo (**FIGURA 3**). En función de estos parámetros de elasticidad y viscosidad se caracteriza la textura del alimento estudiado.

A partir de los resultados de la **TABLA 7** y **TABLA 8**, se puede observar que estos módulos se comportan de forma parecida al E₀ (**TABLA 6**). A texturas más duras, mayor elasticidad. Por tanto, como se puede observar en la **TABLA 7** y **TABLA 8** dentro del tratamiento de 100°C el que tiene mayor elasticidad es el de 10 minutos, después el de 15 y por último el de 20 minutos. De la misma forma, para los tratamientos a vacío a 70 y 90 °C los de mayor elasticidad serán los tiempo de 20 minutos y después los de 30 minutos.

Por tanto, sabiendo que tratamientos de 100°C y tiempos largos dan texturas muy blandas y que los valores de elasticidad de estos tratamientos son demasiado bajos (60944 Pa), se supone que la elasticidad óptima está comprendida entre los valores medios (alrededor de 150000 Pa). Por tanto, como ya se ha mencionado, los tratamientos que se consideran óptimos desde el punto de vista del ensayo de relajación son a 90°C a vacío a tiempos alrededor de 20-25 minutos.

TABLA 7. Resultados de ensayo de relajación: Módulo 1.

P (bar)	T(°C)	T (min)	E ₁ (Pa)	T ₁ (s)	n ₁ (Pa.s)
Atmosférica	100	10	143300 ^{1;a,b} ± 32116	0,9 ^{1;a} ± 0,2	133986 ^{1;a} ± 40436
	100	15	114009 ^{1;a} ± 31935	0,55 ^{1;a} ± 0,07	63210 ^{1;a} ± 20929
	100	20	60944 ^{1;a} ± 33569	0,60 ^{1;a} ± 0,08	34912 ^{1;a} ± 16413
Vacío	70	20	207599 ^{2;a} ± 52575	1,2 ^{1;a} ± 0,1	241481 ^{1;a} ± 46510
	90	20	147691 ^{2;a} ± 27289	1,4 ^{1;a} ± 0,3	211226 ^{1;a} ± 52910
	70	30	160904 ^{2;b} ± 21552	1,6 ^{1;a} ± 0,2	252581 ^{1;a} ± 49439
	90	30	138496 ^{2;b} ± 67454	0,9 ^{1;a} ± 0,2	161648 ^{1;a} ± 38037

^{a,b,c...}Superíndices con letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor≤0,05) entre tratamientos sin tener en cuenta el tiempo.

^{1,2,3...}Superíndices con números diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor≤0,05) entre tratamientos teniendo en cuenta tiempos de cocción.

TABLA 8. Resultados de ensayo de relajación: Módulo 2.

P (bar)	T (°C)	t (min)	E ₂ (Pa)	T ₂ (s)	n ₂ (Pa.s)
Atmosférica	100	10	95833 ^{1;a,b} ± 28524	17 ^{1;a,b} ± 2	1635427 ^{1;ab} ± 613663
	100	15	466927 ^{1;a} ± 10636	13 ^{1;a} ± 1	5919998 ^{1;a} ± 143139
	100	20	28960 ^{1;b,c} ± 14329	13 ^{1;a,b} ± 1	392702 ^{1;a,b} ± 184243
Vacío	70	20	286105 ^{2;bc} ± 101061	33 ^{2;a,b} ± 5	9381259 ^{2;ab} ± 3887333
	90	20	144733 ^{3;bc} ± 38100	22 ^{1;a,b} ± 4	3212254 ^{1;ab} ± 1190289
	70	30	240649 ^{2;c} ± 54429	30 ^{2;b} ± 1	7360989 ^{2;b} ± 1490798
	90	30	115984 ^{3;c} ± 21422	15 ^{1b} ± 2	1756320 ^{1;b} ± 319555

^{a,b,c...}Superíndices con letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor≤0,05) entre tratamientos sin tener en cuenta el tiempo.

^{1,2,3...}Superíndices con números diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% (p-valor≤0,05) entre tratamientos teniendo en cuenta tiempos de cocción.

4. CONCLUSIONES

Como conclusiones de este trabajo se ha conseguido la caracterización de la olla a vacío controlando la evolución de la temperatura, la presión y los tiempos de cocción en los tratamientos de 70 y 90°C a diferentes tiempos (20 y 30 minutos). Se obtuvieron las gráficas de evolución de temperatura del medio de cocción, de la superficie y del centro de la patata.

Por otro lado, se obtuvo el consumo de potencia de la placa de inducción para cada tratamiento conociendo así el gasto económico que implica la cocción de la patata en función de la temperatura y los tiempos utilizados. Concluyendo así el mejor tratamiento desde el punto de vista económico y desde el punto de vista de las características organolépticas del producto (textura óptima).

Por último se ha conseguido comprender el funcionamiento de la placa de inducción desde el punto de vista de administración de la potencia ya que hasta el momento la mayoría de investigaciones se habían realizado con resistencias eléctricas. En función del objetivo preestablecido la placa hace una administración de potencia distinta afectando al proceso de cocción. Es importante conocer el funcionamiento de la fuente calorífica para poder tener un control sobre el proceso de cocción y por tanto sobre las características texturales finales de nuestro producto.

5. REFERENCIAS

- Armesto J, Gómez-Limia L, Carballo J, Martínez S. Impact of vacuum cooking and boiling and refrigerated storage on the quality of galega kale (*Brassica oleracea* var. *acephala* cv. Galega). *LWT-Food Science and Technology* 2017;79:267-277.
- Baldwin Douglas E. Sous vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 2012;1(1):15-30.
- Caracuel García Á. Técnicas de cocción saludables aplicables a la alimentación mediterránea. *Real Academia de Ciencias de Andalucía Oriental* 2008.
- Chiavaro E, Barbanti D, Vittadini E, Massini R. The effect of different cooking methods on the instrumental quality of potatoes (cv. Agata). *J Food Eng* 2006;77(1):169-178.
- Chiralt A, Martínez-Navarrete N, González C, Talens P, Moraga G. Propiedades físicas de los alimentos. *Valencia: Editorial Universidad Politècnica de Valencia* 2007.
- García-Segovia P, Martínez-Monzó J. Estudio del proceso de cocción en patata "Violette" (*Solanum tuberosum* var. Blue). *Universidad politècnica de valencia* 2010.
- García-Segovia P, Andrés-Bello A, Martínez-Monzó J. Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. *J Food Eng* 2008;88(1):28-35.
- Iborra-Bernad C, García-Segovia P, Martínez-Monzó J. Physico-Chemical and Structural Characteristics of Vegetables Cooked Under Sous-Vide, Cook-Vide, and Conventional Boiling. *J Food Sci* 2015;80(8).
- Iborra-Bernad C, García-Segovia P, Martínez-Monzó J. Effect of vacuum cooking treatment on physicochemical and structural characteristics of purple-flesh potato. *J Food Sci Tech* 2014;49(4):943-951.
- Iborra-Bernad C, Philippon D, García-Segovia P, Martínez-Monzó J. Optimizing the texture and color of sous-vide and cook-vide green bean pods. *LWT-Food Science and Technology* 2013;51(2):507-513.
- Martelo Castaño YJ, Cortes Rodriguez M, Suarez Mahecha H. Development of minimally processed celery fortified with vitamine, by matrix engineering. *Dyna* 2011;78(165):28-39.
- Mir-Bel J, Oria R, Salvador ML. Influence of temperature on heat transfer coefficient during moderate vacuum deep-fat frying. *J Food Eng* 2012;113(2):167-176.
- Mohsenin NN. Thermal properties of foods and agricultural materials. *New York.USA* 1980.
- Peleg M, Pollak N. The problem of equilibrium conditions in stress relaxation analyses of solid foods. *J Texture Stud* 1982;13(1):1-11.
- Sherman P. Industrial rheology with particular reference to foods, pharmaceuticals, and cosmetics. 1970.
- Suárez Hernández P, Rodríguez Rodríguez E, Díaz Romero C. Cambios en el valor nutritivo de patatas durante distintos tratamientos culinarios. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 2004;4(4).
- Úbeda Miguel Ángel H. Las nuevas tecnologías en restauración hospitalaria: su aplicación en el cocinado, conservación y distribución y servicio. *V Congreso internacional: Alimentación, nutrición y dietética* 2001.