

Determinación del efecto de diferentes niveles de rehidratación sobre algunas propiedades de calidad, durante el enlatado y esterilización de dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) cultivadas en el departamento de Nariño.

Andrés Felipe cerón cárdenas

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Maestría en Innovación Alimentaria y Nutrición.

Asesor:

Oswaldo Osorio Mora

Ph.D. Ciencia y Tecnología de Alimentos

Co-asesor:

Luis Fernando Garcés Giraldo

Ph.D. Ciencias

Corporación Universitaria Lasallista

Facultad de Ingenierías

Caldas Antioquia

2016

Nota de responsabilidad

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	13
Planteamiento del problema de investigación y su justificación en términos de necesidades y pertinencia.....	19
Descripción de la situación.....	19
Pregunta de investigación	22
Revisión de literatura.....	23
Generalidades de la arveja (<i>Pisum sativum</i> L.).....	23
<i>Composición química</i>	24
<i>Situación de la arveja (Pisum sativum L.) en el país.</i>	25
Fundamentos Teóricos.....	26
<i>Rehidratación</i>	26
<i>Cinética de rehidratación</i>	28
<i>Arvejas rehidratadas en conserva</i>	28
<i>Tratamiento térmico (enlatado y esterilización)</i>	29
Estado de desarrollo.	30
<i>Cinéticas de rehidratación</i>	30
<i>Estudio de propiedades físicas dependientes de la humedad en granos</i>	31
<i>Tratamiento térmico (enlatado y esterilización)</i>	32
Objetivos	34
Objetivo General	34
Objetivo Específicos.....	34

Determinación de constantes cinéticas de velocidad y la difusividad efectiva ($Deff$) durante la rehidratación de dos variedades de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.)	35
<i>Resumen</i>	35
<i>Introducción</i>	35
<i>Materiales y métodos</i>	37
<i>Material de estudio</i>	37
<i>Rehidratación del material</i>	38
<i>Determinación humedad</i>	39
<i>Capacidad de absorción de agua (RC)</i>	39
<i>Determinación constante de velocidad de rehidratación</i>	39
<i>Estudio de la transferencia de agua como modelo difusivo</i>	40
<i>Análisis estadístico</i>	41
<i>Resultados y discusiones</i>	42
<i>Análisis físico y proximal</i>	42
<i>Capacidad de absorción de agua (RC)</i>	43
<i>Cinética de absorción de agua</i>	44
<i>Conclusiones</i>	50
Efecto de la humedad sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.).....	52
<i>Resumen</i>	52
<i>Introducción</i>	52
<i>Materiales y métodos</i>	54
<i>Material de estudio</i>	54

<i>Rehidratación del material</i>	54
<i>Diseño experimental</i>	54
<i>Determinación humedad</i>	55
<i>Resultados y discusión</i>	56
<i>Peso de mil semillas</i>	56
<i>Densidad real y aparente</i>	59
<i>Porosidad</i>	61
<i>Rehidratación material vegetal metodología de Cerón, Osorio, & Garcés, (2016)</i>	62
<i>Propiedades físicas semillas diferentes contenidos de humedad antes del tratamiento térmico</i>	63
<i>Conclusiones</i>	67
<i>Análisis del efecto de la variedad de arveja y el nivel de rehidratación durante la operación de enlatado</i>	69
<i>Determinación de los parámetros de penetración de calor y tiempo del tratamiento térmico para el enlatado de arveja (Pisum sativum L.) de dos variedades en diferentes niveles de rehidratación</i>	69
<i>Resumen</i>	69
<i>Introducción</i>	70
<i>Materiales y métodos</i>	71
<i>Materia prima</i>	71
<i>Rehidratación</i>	71
<i>Formulación líquido de cobertura</i>	72
<i>Tratamiento térmico</i>	72

<i>Determinación parámetros de penetración de calor y el tiempo del tratamiento térmico.</i>	73
<i>Resultados y discusión.....</i>	74
<i>Determinación punto frío.....</i>	74
<i>Determinación parámetros de penetración de calor y tiempo de proceso.....</i>	76
<i>Efecto del tratamiento térmico.....</i>	80
<i>Conclusiones.....</i>	81
Evaluación de propiedades físico-químicas del líquido de cobertura adicionado con calcio en arvejas (<i>Pisum sativum</i> L.) enlatadas a diferentes humedades.	83
<i>Resumen.....</i>	83
<i>Materiales y métodos</i>	85
<i>Tratamiento material vegetal.....</i>	85
<i>Tratamiento térmico.</i>	85
<i>Caracterización líquido de cobertura.....</i>	85
<i>Diseño experimental.....</i>	86
<i>Resultados y discusión.....</i>	86
<i>Características líquidos de cobertura antes del tratamiento térmico.....</i>	86
<i>Características líquidos de cobertura después del tratamiento térmico.</i>	87
<i>Características líquidos de cobertura tratamientos.</i>	88
<i>Conclusiones.....</i>	90
<i>Resumen.....</i>	91
<i>Introducción.....</i>	92
<i>Materiales y métodos</i>	93
<i>Tratamiento material vegetal.....</i>	93

<i>Tratamiento térmico.</i>	93
<i>Diseño experimental enlatado (Tratamiento térmico)</i>	94
<i>Determinación de características físicas</i>	94
<i>Evaluaciones sensoriales y análisis proximal</i>	95
<i>Análisis estadístico</i>	96
<i>Resultados y discusión</i>	96
<i>Evaluación sensorial</i>	98
<i>Análisis proximal</i>	100
<i>Conclusiones</i>	103
Evaluación variación de características físicas y nutricionales del producto a través del tiempo.	105
Evaluación de la variación de las características físicas y nutricionales de arveja en conserva con líquido de cobertura adicionado con calcio a través del tiempo.....	105
<i>Resumen</i>	105
<i>Introducción</i>	106
<i>Materiales y métodos</i>	106
<i>Materia prima</i>	106
<i>Rehidratación</i>	107
<i>Formulación liquido de cobertura.</i>	107
<i>Tratamiento térmico.</i>	107
<i>Diseño experimental enlatado (Tratamiento térmico)</i>	108
<i>Determinación de características físicas</i>	108
<i>Análisis estadístico</i>	109

<i>Resultados y discusión</i>	109
<i>Análisis proximal</i>	111
<i>Conclusiones</i>	112
Conclusiones generales	113
Referencias bibliográficas	114

Lista de imágenes

	Pág.
Imagen 1. Diferencias en las características físicas para las marcas de arveja disponibles en el mercado local.	22
Imagen 2. Material rehidratado humedades deseadas.	63
Imagen 3. Efecto de la humedad en propiedades físicas de semillas de arveja	80
Imagen 4. Efecto del tratamiento térmico sobre el material vegetal.....	81
Imagen 5. Efecto de la variedad y nivel de rehidratación durante el tratamiento térmico. 98	
Imagen 6. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable porcentaje de aceptación.....	99
Imagen 7. Variedad San Isidro en conserva enlatada bajo diferentes niveles de humedad. 100	
Imagen 8 . Efecto del almacenamiento sobre propiedades físicas de la arveja en conserva. 111	

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Composición química arveja por cada 100 gramos de porción comestible, en diferentes condiciones.....	24
Tabla 2. Composición proximal semillas de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.)	43
Tabla 3. Capacidad de absorción de agua (RC), letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza).....	44
Tabla 4. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste del modelo exponencial. (Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza).....	47
Tabla 5. Parámetros cinéticos y bondad de ajuste del modelo de Peleg's. (Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza).....	48
Tabla 6. Coeficientes de difusión rehidratación de arveja (<i>Pisum sativum</i> L). (Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza).....	49
Tabla 7. Tiempos calculados para las humedades deseadas.....	62
Tabla 8. Características físicas arvejas a diferentes contenidos de humedades.	63
Tabla 9. Características bromatológicas arvejas a diferentes contenidos de humedades.	65
Tabla 10. Valores de fh para la determinación del punto más frío.	75

Tabla 11. Parámetros de penetración de calor y tiempo del tratamiento térmico variedad San Isidro.	77
Tabla 12. Parámetros de penetración de calor y tiempo del tratamiento térmico Sureña.	79
Tabla 13. Características físico-químicas líquido de cobertura sin tratamiento térmico.	87
Tabla 14. Características físico-químicas líquido de cobertura con tratamiento térmico.	88
Tabla 15. Características físico-químicas líquidos de cobertura después del tratamiento térmico (líquidos fortificados).	89
Tabla 16. Resultados características físicas (color y firmeza) arveja procesada bajo diferentes condiciones.	97
Tabla 17. Resultados evaluación sensorial	99
Tabla 18. Composición química arveja por cada 100 gramos de porción comestible, en diferentes condiciones.	102
Tabla 19. Resultados características físicas (color y firmeza) arveja almacenada. ...	110
Tabla 20. Composición química arveja por cada 100 gramos de porción comestible, en diferentes condiciones.	112

Lista de figuras

	Pág.
Figura. 1. Cinética de rehidratación semillas de arveja: A) San Isidro, B) Sureña.	45
Figura. 2: (■) San Isidro: $y=-2072.994x-16.633$, $R^2 = 0.861$ (▲) Sureña: $y =-1113.077x-19.919$, $R^2 = 0.849$	50
Figura 3. Efecto de la humedad sobre el peso de mil semillas: rehidratación temperatura ambiente 18 °C.	57
Figura 4. Efecto de la humedad sobre la esfericidad: rehidratación temperatura ambiente 18 °C.	58
Figura 5. Efecto de la humedad sobre la densidad real: rehidratación temperatura ambiente 18 °C.....	59
Figura 6. Efecto de la humedad sobre la densidad aparente: (a) rehidratación 6 °C; (b) rehidratación temperatura ambiente 18 °C; (c) rehidratación 30 °C.	60
Figura 7. Efecto de la humedad sobre la porosidad a granel: rehidratación temperatura ambiente 18 °C.	61
Figura 8. Monitoreo punto frio envase de hojalata arvejas al 35% de humedad A: San Isidro 35%, B: Sureña	76
Figura 9. Perfil de temperaturas autoclave versus material vegetal.	77

Resumen

Antecedentes. Uno de los productos más consumidos por la población colombiana han sido las arvejas secas remojadas, producto sometido a rehidratación y posterior esterilización para asegurar su conservación. No obstante, durante la esterilización la temperatura sigue favoreciendo la rehidratación. El líquido de cobertura ingresa en los tejidos del material vegetal ocasionando ruptura; liberando el contenido de las semillas y modificando las propiedades de calidad del producto. **Objetivo.** Determinar el efecto de diferentes niveles de rehidratación sobre algunas propiedades de calidad, durante el enlatado y esterilización de dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) Sureña y San Isidro. **Métodos.** La rehidratación se realizó a 6, 18 y 30°C empleando una relación semillas/agua 1:4 (p/v) se tomaron mediciones de entre 0 y 24 horas. El efecto de la temperatura fue evaluado mediante la capacidad de absorción de agua de las semillas, mientras que el fenómeno de absorción de agua fue estudiado con dos modelos (Exponencial y Peleg's). Posteriormente, mediante un diseño completamente al azar se estudió el efecto del contenido de humedad de las semillas sobre algunas propiedades físicas (peso de mil semillas, esfericidad, densidad real, densidad aparente y porosidad) y efecto de la esterilización asociada al contenido de humedad de las semillas sobre propiedades físico-químicas del líquido de cobertura adicionado con calcio (sólidos solubles, pH, densidad (g/mL), turbidez (NTU) y viscosidad (cp)). A continuación, se utilizó un diseño multinivel factorial categórico mediante el cual se estudió el efecto de la variedad y el nivel de rehidratación de las semillas sobre las propiedades nutricionales, físicas y sensoriales del producto esterilizado. Para ello, se utilizó un autoclave vertical con vapor saturado. Los datos de

tiempo y temperatura obtenidos, se analizaron mediante el método de Ball.

Resultados. La capacidad de absorción de agua aumentó con el incremento de la temperatura del agua. Los modelos expuestos describen adecuadamente la cinética de absorción de agua. Tanto la difusividad como los parámetros cinéticos presentan dependencia con la temperatura y al evaluarlos con la ecuación de Arrhenius se obtienen energías de activación de 17.235 kJ/mol para San Isidro y 9.254 kJ/mol para Sureña. Así mismo, la ganancia de humedad ocasionó aumentos en peso de mil semillas y porosidad, mientras, que la esfericidad, densidad real y aparente, disminuyen. La adición del calcio lácteo al líquido de cobertura ocasionó disminución de pH de 8.0 a 6.80 y aumento en 372 veces la turbidez. Después del tratamiento térmico la formulación del líquido de cobertura estándar presento aumento en 200 veces los sólidos solubles, el pH cayó de 8.0 a 5.98, la turbidez aumento en un 25.71% y la viscosidad aumento en 91.33%. Por otra parte, el punto frío de los envases se ubicó en el tercio inferior. Los tiempos de esterilización se vieron afectados por el contenido inicial de humedad de las semillas, a menores contenidos de humedad las semillas presentan mayor densidad (g/mL) provocando que la zona de calentamiento más lenta migre hacia el fondo del envase.

Conclusión. El nivel de rehidratación antes del tratamiento térmico y la variedad de arveja presentan efecto significativo sobre las propiedades de calidad del alimento enlatado y esterilizado.

Palabras clave: *Pisum sativum*, rehidratación, difusividad, liquido de cobertura, esterilización, Ball.

Abstract

Background. One of the products most consumed by the population have been dried peas soaked, subjected product rehydration and subsequent sterilization to ensure their conservation. However, during sterilization temperature still favors rehydration. The liquid medium enters tissues causing rupture of the plant material; releasing the contents of seeds and modifying the properties of product quality. **Objective.** To determine the effect of different levels of rehydration on some quality properties during canning and sterilization of two varieties of pea (*Pisum sativum* L.) Sureña and San Isidro. **Methods.** Rehydration was performed at 6, 18 and 30 ° C using a seed / water ratio 1: 4 (w / v) of between 0 and 24 hours measurements were taken.

The effect of temperature was evaluated by the water adsorption capacity of the seeds, while the water adsorption phenomenon was studied in two models (Exponential and Peleg's). Subsequently, in a completely randomized design the effect of moisture content of the seeds on some physical properties (kernel weight, sphericity, true density, bulk density and porosity) and sterilization effect associated moisture content was studied seeds on physico-chemical liquid medium with added calcium (soluble solids, pH, density (g / mL), turbidity (NTU) and viscosity (cp)) properties. Then a multilevel categorical factorial design by which the effect of the variety and level of rehydration of the seeds on nutrition, physical and sensory properties of sterilized product was studied was used. For this purpose, a vertical autoclave with saturated steam was used. The data obtained time and temperature, were analyzed by the Ball method. **Results.** The water adsorption capacity increased with increasing water temperature. The models adequately describe the adsorption kinetics of water. Both

diffusivity and kinetic parameters have temperature dependence and to evaluate the Arrhenius equation with activation energy of 17.235 kJ/mol for San Isidro and 9.254 kJ/mol for Sureña are obtained. Also, the moisture gain caused increases thousand seed weight and porosity, while the sphericity, real and apparent density, decrease. The addition of milk calcium liquid medium pH caused decreased from 8.0 to 6.80 and 372 times increase in turbidity. After heat treatment of the liquid formulation presented standard coverage 200 times increase in soluble solids, the pH fell from 8.0 to 5.98, the turbidity increased by 25.71% and the viscosity increased 91.33%. Moreover, the cold point of packaging is ranked in the lower third. Sterilization times were affected by the initial moisture content of the seeds, lower moisture content seeds have a higher density (g/mL) causing the area of slower warming migrate to the bottom of the container. **Conclusion.** The level of rehydration before heat treatment and variety of vetch have significant effect on the quality properties and sterilized canned food.

Key Words: *Pisum sativum*, rehydration, diffusivity, liquid medium, sterilization, Ball.

Introducción

En Colombia la investigación en arveja (*Pisum sativum* L.) se ha enfocado hacia la obtención de nuevos materiales, uso de tutores y manejo del cultivo; en 2012 el grupo de investigación Cultivos Andinos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Nariño, evaluó 20 líneas de arvejas proporcionadas por la Universidad Nacional de Colombia. El resultado de la evaluación en campo arrojó, que la línea 7143-3, fue apta agronómicamente, siendo una nueva variedad denominada Sureña, superior en calidad comercial y productividad a las ya existentes.

Sin embargo, se ha encontrado que para esta situación particular, no existe investigación en que desarrolle la transformación agroindustrial de este material frente a las actuales; teniendo en cuenta que las arvejas se consumen en estado fresco y en estado seco. En el caso de las arvejas en estado seco, deben ser rehidratadas para su consumo o uso agroindustrial, este es un proceso complejo, que merece especial atención; no obstante aún son escasas las investigaciones referentes al fenómeno de rehidratación de las semillas y los cambios que puede ocasionar en las propiedades físicas del grano y cómo puede afectar los procesos posteriores de transformación.

Ahora bien, una alternativa de transformación son las arvejas rehidratadas en conserva; que involucran la operación de esterilización, siendo necesario un adecuado conocimiento de las propiedades físicas del grano, debido a que afectan la transmisión de calor; así mismo, es necesario tener en cuenta que la intensidad de esta operación puede afectar, las propiedades sensoriales, físicas y nutricionales.

En este sentido, el objetivo de esta investigación fue “determinar el efecto de diferentes niveles de rehidratación sobre algunas propiedades de calidad, durante el

enlatado y esterilización de dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.), Sureña y San Isidro, cultivadas en el departamento de Nariño”. Para ello, se realizó la cinética de rehidratación de las dos variedades; se tomando como base el contenido inicial de agua de las semillas, para posteriormente adicionar agua en relación semillas/agua 1:4 (p/v), por espacio de 24 horas, esto se determinó en tres diferentes temperaturas, el mecanismo de transferencia de masa se estudió como un modelo difusivo.

Una vez obtenidas las cinéticas, se tomó cuatro estados de rehidración (diferentes contenidos de humedad) se determinó algunas propiedades físicas (esfericidad, densidad real y aparente, color, firmeza entre otras); estos estados posteriormente fueron sometidos a enlatado (tratamiento térmico), en esta etapa se determinó el tiempo de la operación (método de BALL), posteriormente, se analizó nuevamente las propiedades citadas, incluyendo las propiedades sensoriales (tipo aceptación) y nutricionales. Así mismo, se evaluó una formulación de líquido de gobierno, a la cual se le determinó (pH, °Brix, turbidez, entre otras); esto se realizó antes y después del tratamiento térmico. Al final, se almacenó el producto por 60 días, en los cuales se tomaron muestras cada 30 días comenzando en el día 0.

Los resultados esperados en esta investigación fueron: las cinéticas de rehidratación de los dos materiales objeto de estudio; la determinación del nivel más adecuado de humedad antes de realizar el tratamiento térmico; la determinación de una formulación adecuada para el líquido de gobierno en función de las características esperadas en el producto final y las tendencias actuales de los consumidores y la determinación del efecto del almacenamiento en las propiedades físicas y nutricionales de los materiales.

Planteamiento del problema de investigación y su justificación en términos de necesidades y pertinencia.

Descripción de la situación

En Colombia la producción de arveja (*Pisum sativum* L.) se concentra en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Tolima y Nariño (Zamorano, López, & Alzate, 2008). Siendo este último el principal productor (Cerón et al., 2015). Sin embargo, según Solarte & Osorio, (2016) Nariño sigue siendo una despensa agrícola a nivel nacional, solo al 10% de algunas materias primas como cebolla, papa y algunas frutas, se les realiza alguna operación agroindustrial, evidenciando la necesidad de generar un mayor valor agregado con productos transformados. Así mismo, dichos autores mencionan que la cadena productiva de la arveja se ve afectada por una amplia cadena de intermediación; cuya longitud dependerá del lugar de comercialización. Los destinos de la arveja fresca en vaina producida en Nariño son: Bogotá con un promedio total comercializado del 33%, seguido de Cali con el 27%, Pereira con el 24%; Medellín con el 12% y Bucaramanga con un 4%. La central de acopio tiene una oferta mensual promedio de 33.949 bultos equivalente a 1.697 Toneladas (Solarte & Osorio, 2016); por ello, serán los intermediarios de estos lugares quienes perciben las ganancias de la cadena productiva.

Por otra parte, Solarte & Osorio, (2016) encontraron en su estudio que 11 empresas fabrican arveja enlatada, de las cuales tres son estadounidense, una es chilena, y ocho son nacionales, de estas últimas 4 se encuentran ubicadas en Antioquia y 3 en Cundinamarca, resultados que reafirman el poderío industrial y competitivo de estas dos regiones, por ende, es necesario desarrollar una ventaja competitiva

relevante para ser implementada en el departamento de Nariño.

Ahora bien, en el año 2012 se realizó el lanzamiento de la variedad Sureña apta agronómicamente para el departamento de Nariño y superior en calidad comercial y productividad a las ya existentes (Díaz, Cerón, Osorio, & Mejía, 2014). Sin embargo, Cerón et al., (2015) mencionan que las investigaciones en arveja en departamento se han enfocado hacia la obtención de nuevos materiales, uso de tutores y manejo del cultivo.

Encontrado que para esta situación particular, no existe investigación en que desarrolle la transformación agroindustrial de este material frente a las actuales. Por ello, una alternativa de evaluación agroindustrial son las arvejas secas rehidratadas en conserva, por ser uno de los productos más consumidos (Mayer, Bertoluzzo, & Bertoluzzo, 2013). No obstante, Brousse, Nieto, Linares, & Vergara, (2012) mencionan que la etapa de rehidratación es una operación compleja, que merece especial atención ya que pretende obtener productos con características similares a los productos frescos. A pesar de ello, aún son escasas las investigaciones referentes al fenómeno de absorción de agua por parte de las semillas de arveja.

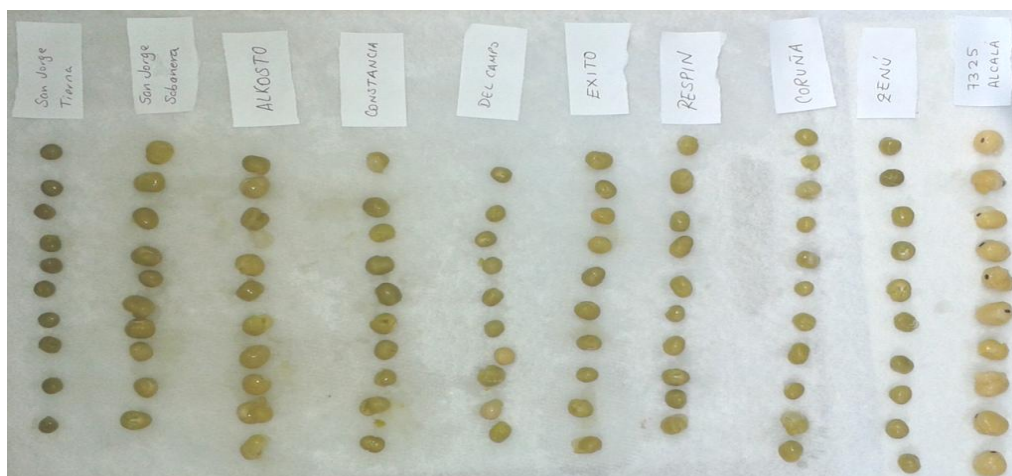
Cerón, Osorio, & Garcés, (2016) mencionan que la comprensión de la absorción de agua en las legumbres es de importancia ya que afecta a los procesos posteriores. Como el proceso citado para la evaluación (enlatado y esterilización). La rehidratación modifica las propiedades físicas de las semillas (Yalçın, Özarlan, & Akbaş, 2007) peso, densidad real y aparente, porosidad, esfericidad, entre otras; propiedades que afectan la transmisión de calor durante la operación (Jimenez, Gonzales, Botello, & Navarrete, 2005). Siendo necesario el estudio del fenómeno de transferencia de agua

en las semillas y cómo afecta las propiedades físicas de las semillas antes del enlatado y esterilización.

Así mismo, es necesario mencionar que la esterilización no es un proceso selectivo (Alvarado et al., 2009) por lo que las pérdidas del valor nutricional y sensorial del alimento son inherentes al proceso. La temperatura del proceso sigue favoreciendo la rehidratación. El líquido de cobertura ingresa en los tejidos del material ocasionando ruptura de los mismos liberando el contenido de las semillas, evidenciando la necesidad de alternativas que inhiban la absorción de agua durante esta etapa; Paredes, Quiroz, Quispe, Reyes, & Zavaleta, (2012) resaltan que los iones de calcio alteran algunas moléculas dentro del material vegetal, por lo que la estructura que se forma no deja pasar el agua y el material permanece duro, siendo esta una alternativa.

En la imagen 1 se muestra los efectos del proceso en mención sobre algunos productos ofrecidos en el mercado local por diferentes marcas. La línea de arveja en la última posición de izquierda a derecha, fue un estudio previo realizado en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño, en la cual el material fue rehidratado hasta el 54% en base humedad, provocando cambios significativos en el tamaño de la semillas frente a las marcas comerciales, dicho efecto se torna poco atractivo para el consumidor.

Imagen 1. Diferencias en las características físicas para las marcas de arveja disponibles en el mercado local.



Fuente. Estudio anterior (preliminar)

Lo anterior, muestra la necesidad de realizar estudios de evaluación de la aptitud agroindustrial para esta nueva variedad frente a una actual.

Pregunta de investigación

Todos los anteriores aspectos conducen al planteamiento de las siguientes preguntas:

¿Cuál es el efecto de la variedad de arveja (*Pisum sativum* L.) San Isidro y Sureña y los niveles de rehidratación (35%, 40%, 45% y 50%) sobre algunas propiedades de calidad (físicas, sensoriales y nutricionales) durante el enlatado y esterilización?

Revisión de literatura

Generalidades de la arveja (*Pisum sativum* L.)

Según Perales, Loli, Alegre, & Camarena, (2009) la arveja, junto con el frijol y el haba son las especies de legumbres de mayor importancia en el mundo. En la Enciclopedia Terranova Agropecuaria (2001) citada por Carapaz & Román, (2012) se menciona que la arveja (*Pisum sativum* L.), es una leguminosa herbácea, pertenece a la familia Fabaceae o leguminoseae, subfamilia Papilionoideae, género *Pisum*, especie *sativum*, vegeta normalmente en climas templados, templado frío y húmedo (FENALCE, 2010).

En Colombia la producción se concentra en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Tolima (Zamorano et al., 2008), siendo el mayor productor Nariño, con una participación del 55.2 % (Latorre, Mejía, & Osorio, 2016) la diversidad es amplia, con un gran número de variedades que se han mejorado por rendimiento y por calidad del producto fresco o como materia prima para la agroindustria (Ligarreto & Ospina, 2009); las variedades más sembradas en el país son: Santa Isabel, Piquinegra, Guatecana, Sindamanoy, San Isidro y Obonuco Andina (FENALCE, 2010).

Sin embargo, en el año 2012, el grupo de investigación Cultivos Andinos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Nariño (Pasto- Colombia), evaluaron 20 líneas, proporcionadas por la Universidad Nacional de Colombia y el programa de recursos genéticos de Corpoica La Selva (Valencia, Timaná, & Checa, 2012). El resultado de la evaluación en campo arrojó que la línea 7143-3 y 7325 fueron apta agronómicamente para el departamento de Nariño, siendo dos nuevas variedades

(Sureña y Alcalá); superiores en calidad comercial y productividad a las mencionadas (Díaz et al., 2014).

Composición química

Varios autores reportan que la arveja (*Pisum sativum* L.) es fuente importante de proteínas, carbohidratos y vitaminas (Barac et al., 2010; Alisano et al., 2008; Paksoy & Aydin, 2006; Yalçın et al., 2007). Sin embargo, su composición química puede variar de acuerdo al estado en el que se encuentre. En la tabla 1, se muestra los cambios en la composición química de la arveja en diferentes condiciones, algunos de ellos atribuidos al incremento de la humedad y otros al tratamiento térmico (Cocción), siendo significativo este último en el contenido de vitaminas.

Tabla 1.

Composición química arveja por cada 100 gramos de porción comestible, en diferentes condiciones.

Característica	**Grano fresco	*Grano seco	*Grano seco cocido s/sal
Energía (Kcal)	383.20	341.00	118.00
Agua (g)	62.48	11.27	69.49
Proteína (g)	8.37	24.55	8.34
Carbohidratos (g)	24.28	60.37	21.10
Fibra (g)	3.17	25.50	8.30
Grasa (g)	0.55	1.16	0.39
Ceniza (g)	1.15	2.65	0.68
Calcio (mg)	23.00	55.00	14.00
Fosforo	103.80	366	99
Hierro (mg)	1.40	4.43	1.29
Vitamina C (mg)	18.20	2.00	0.00
Tiamina (mg)	0.24	0.73	0.19
Riboflavina (mg)	0.12	0.22	0.066

Niacina (mg)	2.00	2.89	0.89
Vitamina A (mg)	0.36	0.007	0.00
Colesterol (mg)	0.00	0.00	0.00
Zinc (mg)	1.10	3.01	1.00
Potasio (mg)	1583.00	961.00	362.00
Sodio (mg)	3.70	15.00	2.00
Magnesio (mg)	32.00	115.00	36.00
Fracción comestible (%)	1.00	1.00	1.00

Fuente: * (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 2012); ** (Betancourth & Montenegro, 2004).

Situación de la arveja (*Pisum sativum* L.) en el país.

Según Solarte & Osorio, (2016) en el año 2013 en Colombia se produjeron 100.451 toneladas de arveja, de las cuales el 57% fueron en Nariño, cifra que pone a este departamento en el primer lugar de producción de arveja a nivel nacional. Hoy en día la central de acopio de la ciudad de Ipiales-Nariño tiene una oferta mensual promedio de 33.949 bultos equivalente a 1.697 Toneladas. Sin embargo, a pesar de dicha producción el mercado nacional absorbe toda la producción del país, siendo las exportaciones casi nulas.

Ahora bien, respecto de la arveja en estado seco, los estudios indican que Colombia no tiene exportaciones en este estado, y que el consumo interno se satisface con las importaciones realizadas en su gran mayoría desde Canadá, cabe resaltar que existe una mínima producción nacional pero que es utilizada como semilla y la producción para el consumo es muy insignificante, en tal sentido dadas estas condiciones actuales no es posible que el departamento e incluso el país produzca arveja seca para satisfacer la demanda interna.

Recuérdese que la arveja en este estado es utilizada para producir las arvejas rehidratadas en conserva; en la actualidad existe la presencia de 11 empresas fabricantes de arveja enlatada, de las cuales tres son estadounidenses, una es chilena, y ocho son nacionales. El estudio de Solarte & Osorio, (2016) pone de manifiesto que 71% de la arveja se consume de forma fresca, el 22% seca y el 7% enlatada (estudio realizado en las ciudades de Cali y Pasto). Ahora bien, respecto del consumo per cápita en Colombia este se ha mantenido constante en 1.48 Kg (Osorio & Castaño, 2011).

Fundamentos Teóricos

Rehidratación

Según Brousse et al., (2012) la rehidratación es una operación compleja; Marin, Lemus, Flores, & Vega, (2006) mencionan que la rehidratación no es la operación inversa a la deshidratación, ya que ambos fenómenos tienen diferentes mecanismos de transferencia de materia y dependen de factores distintos; al rehidratar se pretende obtener productos que al reconstituirse adquieran lo más posible las características iniciales de los productos frescos (Melquíades, López, & Rosas, 2009); entre las propiedades de calidad más importantes de un alimento que ha sido rehidratado, están las propiedades estructurales, ópticas, texturales, mecánicas, sensoriales y nutricionales (Marin et al., 2006); el conocimiento de estas propiedades, constituyen una información fundamental de ingeniería para adecuar y operar máquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento, montar sistemas adecuados de transporte, además, es un parámetro fundamental para el diseño de empaques, en el análisis de calidad y en el control de procesos (Sessiz, Esgici, & Kızıl, 2007; Altuntaş, 2008;

Ordóñez, Gely, & Pagano, 2012; Pradhan, Said, & Singh, 2013) tal es el caso de equipos de clasificación, separación, transporte entre otros, que se diseñan en función del contenido de agua (Sharma et al., 2011).

Cinética de rehidratación

Según García-Pascual, Sanjuán, Melis, & Mulet, (2006) los modelos utilizados para describir la cinética de absorción de agua pueden ser clasificados en dos categorías: teóricos y empíricos; varios autores citados por Brousse et al., (2012) estudiaron la transferencia de masa sobre la rehidratación de alimentos, aplicando en general la primera y segunda ley de Fick. Sin embargo, estos modelos teóricos son complejos e implican numerosas funciones y parámetros, y, por lo tanto, no son convenientes para los cálculos prácticos en la mayoría de las situaciones. En ese sentido, Brousse et al., (2012) cita otros autores que mencionan que en un intento de simplificar el modelado del proceso de absorción de agua, se han propuesto los modelos empíricos desarrollados por Pilosof, Singh y Kulshrestha, Peleg y el modelo exponencial, como herramientas de análisis precisos para la predicción y la optimización de la cinética de rehidratación.

Sopade, Xun, Halley, & Hardin, (2007) concluyeron que los modelos de Pilosof, Singh y Kulshrestha y Peleg, son matemáticamente equivalentes y pueden usarse cualquiera de ellos para modelar el comportamiento de absorción de los alimentos; en el mismo sentido Brousse et al., (2012) concluyeron que el modelo exponencial es equivalente al modelo de Pilosof, siendo una alternativa para el cálculo de los parámetros cinéticos.

Arvejas rehidratadas en conserva

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 4434 (ICONTEC, 2009) la arveja rehidratada en conserva se definen como un producto que se elabora a partir de semillas secas, la cuales deben ser envasadas en un recipiente bromatológicamente

apto, con un medio de cobertura apropiado y sometido a esterilización industrial para asegurar su conservación.

Tratamiento térmico (enlatado y esterilización).

Según Balsa-Canto, Rodríguez-Fernández, & Banga, (2007) el tratamiento térmico es una de las más importantes operaciones industriales para la conservación de alimentos; varios autores citados por Alvarado et al., (2009) mencionan que son dos los tipos de procesos térmicos más utilizados por la industria alimentaria: el proceso aséptico y el enlatado. Este último, objeto de estudio en esta investigación involucra la operación de esterilización. Según Awuah, Ramaswamy, & Economides, (2007) el concepto de esterilización en el recipiente (enlatado) implica la aplicación de un tratamiento térmico a alta temperatura durante un tiempo suficientemente largo para destruir microorganismos; el cierre hermético mantiene un entorno en el contenedor que impide el crecimiento de otros microorganismos de mayor resistencia y lo más importante, evita la recontaminación y crecimiento de patógenos que pueden producir toxinas durante el almacenamiento.

Sin embargo, según Alvarado et al., (2009), no es un proceso selectivo, por lo que las pérdidas del valor nutricional y sensorial del alimento son inherentes al proceso. Los parámetros de un tratamiento térmico adecuado estarán entonces, relacionados directamente con la información recopilada del historial térmico del producto; siendo necesario conocer la zona de calentamiento más lenta dentro del envase, como lo manifiesta Jiménez et al., (2005) para asegurar la esterilidad en la producción de alimentos enlatados, es necesario conocer la dinámica de calentamiento del punto frío de la lata; la cual depende de la forma y orientación del envase, las propiedades

termodinámicas del alimento y de la dinámica de calentamiento (Alvarado et al., 2009); esto permitirá desarrollar un proceso que garantice la esterilidad comercial y minimice el efecto negativo sobre las propiedades físicas, organolépticas y nutricionales del alimento; un alimento “estéril comercialmente” se define como un producto que no se altera en condiciones normales de almacenamiento, ni supondrá un peligro para la salud del consumidor; por lo que la función principal del envasado y esterilización serán las de acomodar el producto y protegerlo contra los diversos riesgos que pueden afectar desfavorablemente su calidad durante la manipulación, distribución y almacenamiento (Fellows, 2000).

Estado de desarrollo.

Cinéticas de rehidratación

Varios autores reportan el cálculo de los parámetros cinéticos, durante la rehidratación de productos secos; Salimi, Maghsoudlou, & Jafari, (2011) estudiaron el efecto de la temperatura del agua, la variedad y vida útil sobre la cinética de rehidratación de cubos de papa secos con microondas; Zambrano, Rodríguez, & Álvarez, (2011) realizaron un estudio cinético y de superficie de respuesta para la rehidratación de zanahorias (*Daucus carota*) liofilizadas; Melquíades et al., (2009) de igual forma realizaron el estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*Daucus carota*) deshidratada; Fernández et al., (2007), obtuvieron el modelo matemático de la cinética y velocidad de hidratación del grano de maíz blanco dentado durante la cocción alcalina; Resio, Aguerre, & Suarez, (2006) realizaron la cinética de hidratación del grano de amaranto; Bello, Tolaba, & Suarez, (2007) estudiaron la absorción de agua y la gelatinización del almidón en el grano entero de arroz durante el remojo.

Todas estas investigaciones concluyeron, la existencia de factores externos e internos que afectan la rehidratación (velocidad), siendo la absorción de agua facilitada a mayor temperatura; en el mismo sentido concluyeron que la rehidratación presenta cambios en las propiedades físicas, químicas y nutricionales del alimento en cuestión.

Estudio de propiedades físicas dependientes de la humedad en granos

Según Rojas (2010) el contenido de humedad es el factor de mayor importancia en el comportamiento del grano durante el manejo poscosecha; en especial en el almacenamiento y procesamiento.

Existen algunas investigaciones respecto de propiedades físicas dependientes de humedad en semillas de arveja, tal es el caso de los estudios realizados por Yalçın et al., (2007) en semillas de arveja variedad Bolero y Paksoy & Aydin, (2006) para la variedad Ronda, ambas cultivadas en Turquía; sin embargo, estas investigaciones trabajaron con contenidos inferiores al 40% en base humedad, lo cual ha limitado el conocimiento respecto de la variación de las propiedades físicas a contenidos de humedad mayor.

Así mismo, se reportan investigaciones en otras semillas: Selvi, Pınar, & Yeşiloğlu, (2006) en semillas de linaza; Cetin, (2007) en semillas de frijol; Rojas, (2010) en semillas de vitabosa; (Altuntaş, Ozgoz, & Taser, 2005) en semillas de fenogreco; Zewdu & Solomon, (2007) en semillas de Tef; Coşkuner & Karababa, (2007) en semillas de cilantro; Gharibzahedi, Etemad, & Fos, (2010) en piñas de pino; Kaleemullah & Gunasekar, (2002) en semillas de garbanzo; Adejumo & Abayomi, (2012) en semillas de moringa; (Reza & Reza, 2010) en semillas de girasol.

Estas investigaciones concluyeron, que la humedad presenta cambios significativos en las propiedades físicas de los granos, conforme aumentó algunas propiedades físicas aumentaron su valor (peso de mil semillas, porosidad, entre otras); sin embargo, también se evidenció disminuciones en los valores de las siguientes propiedades (densidad real, densidad aparente, esfericidad, entre otras.)

Tratamiento térmico (enlatado y esterilización)

Betancourth & Montenegro, (2004) estudiaron el proceso térmico y analizaron su efecto durante el enlatado para las variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) Obonuco San Isidro y Obonuco Andina en fresco, encontrando una letalidad óptima F_0 de 6, así mismo determinaron que las variedades evaluadas presentaban buenas características para el procesamiento en conserva. Garrote, Silva, & Roa, (2009) estudiaron la difusión y la degradación térmica de ácido ascórbico durante el enlatado y esterilización de arvejas verde fresca; en mencionada investigación se evidencia el método para la preparación de la arveja antes y durante la esterilización (formulación líquido de gobierno, dimensiones de la lata, temperatura de operación, entre otras). Van Loey, Fransis, Hendrickx, Maesmans, & Tobback, (1995) realizaron estudios de la cinética de calidad en función de los cambios en arvejas verdes y frijol blanco durante el procesamiento térmico; en mencionada investigación se determinaron los efectos del tratamiento sobre el color y dureza, los cuales fueron cuantificados mediante evaluación sensorial; los datos obtenidos se ajustaron a una cinética de primer orden.

De otra parte, varios autores reportan estudios de los parámetros cinéticos del procesamiento térmico, que pueden ser usados en el desarrollo de esta investigación. Awuah et al., (2007) realizaron en una revisión de literatura a la cual titularon “El

proceso térmico y calidad: los principios y visión general”, en mencionando artículo se encuentran las ecuaciones para el cálculo del tiempo de proceso. Simpson, Teixeira, & Almonacid, (2007) realizaron una revisión de los avances en el control inteligente y la automatización en línea del tratamiento térmico de los alimentos enlatados; mencionado la evolución reciente en los últimos 10 años que han avanzado aún más el estado de la técnica en el mejoramiento de la seguridad alimentaria, la calidad y la fabricación de la eficiencia en la industria de alimentos en conserva en todo el mundo. La revisión también describe los últimos avances en la automatización industrial, incluyendo nuevos sistemas de retorta para paquetes retortables flexibles y semirrígidos, y materiales automatizados sistemas de manipulación de carga y descarga de cámaras batch.

Corradini, Normand, & Peleg, (2005) en su estudio titulado “cálculo de la eficacia de los procesos de esterilización por calor”, muestran diferentes perfiles de penetración de calor y muestran las curvas de supervivencia para diferentes microorganismos indicadores, lo cual da un indicio de las condiciones de operación.

Baucour, Cronin, & Stynes, (2003) estudiaron estrategias de optimización de proceso para disminuir la variabilidad en la calidad de los alimentos envasados durante el procesamiento térmico.

Stoforos, (1995) realizó una revisión de literatura sobre el diseño del proceso térmico, en mencionada revisión se expone el método general y el método de Ball, como dos alternativas para el cálculo del tiempo del proceso térmico, además cita literatura (libros), de autores como Ball, de gran ayuda para obtener las ecuaciones necesarias para un buen diseño de proceso térmico.

Objetivos

Objetivo General

Determinar el efecto de diferentes niveles de rehidratación sobre algunas propiedades de calidad, durante el enlatado y esterilización de dos variedades de arveja (*Pisum sativum L.*), Sureña y San Isidro, cultivadas en el departamento de Nariño.

Objetivo Específicos

- Determinar las constantes cinéticas de velocidad y la difusividad efectiva ($Deff$), durante la rehidratación de dos variedades de arveja (*Pisum sativum L.*) Sureña y San Isidro.
- Analizar el efecto de la variedad de arveja y el nivel de rehidratación durante la operación de enlatado (tratamiento térmico) sobre algunas propiedades físicas, sensoriales y nutricionales.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas del líquido de cobertura adicionado con calcio en arvejas (*Pisum sativum L.*) enlatada a diferentes humedades.
- Evaluar la variación de las características físicas y nutricionales de la arveja en conserva con líquido de cobertura adicionado con calcio a través del tiempo.

Constantes cinéticas de velocidad, difusividad efectiva (D_{eff}) y cambios en propiedades físicas durante la rehidratación de dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.)

Determinación de constantes cinéticas de velocidad y la difusividad efectiva (D_{eff}) durante la rehidratación de dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.).

Resumen

Se realizó la cinética de absorción de agua en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.) de las variedades San Isidro y Sureña. La rehidratación se realizó a tres temperaturas (6, 18 y 30 °C), empleando una relación semillas/agua 1:4 (p/v), se tomaron mediciones a 0, 3, 6, 9, 12 y 24 horas. El efecto de la temperatura fue evaluado mediante la capacidad de absorción de agua, mientras que la cinética de absorción de agua fue estudiada con dos modelos (Exponencial y Peleg's). La capacidad de absorción de agua aumentó con el incremento de la temperatura del agua. Los modelos expuestos describen adecuadamente la cinética de absorción de agua. Tanto la difusividad como los parámetros cinéticos presentan dependencia con la temperatura y al evaluarlos con la ecuación de Arrhenius se obtienen energías de activación de 17.235 kJ/mol para San Isidro y 9.254 kJ/mol para Sureña.

Palabras clave: rehidratación; temperatura; constantes cinéticas; difusividad.

Introducción

La arveja (*Pisum sativum* L.) es uno de los principales cultivos comestibles en el mundo (Amarakoon, Thavarajah, McPhee, & Thavarajah, 2012) ocupa el cuarto lugar en la producción mundial junto a la soja, maní y frijol (Villalobos Solis, Patel, Orsat,

Singh, & Lefsrud, 2013) es fuente de proteína con aminoácidos esenciales, hidratos de carbono complejos, fibra dietética y microelementos: fósforo, calcio, magnesio, hierro y vitaminas: C, B1, B2, PP, E y carotenos (De Almeida Costa, Da Silva Queiroz-Monici, Pissini Machado Reis, & De Oliveira, 2006; Szymanowska, Jakubczyk, Baraniak, & Kur, 2009; Wang, Sharp, & Copeland, 2011). El consumo de esta leguminosa, se da en estado fresco o seco (<14 % humedad base húmeda), siendo la ventaja de este último, la conservación del alimento por mayor tiempo, la reducción de la humedad previene el crecimiento de microorganismos y minimiza las reacciones de deterioro (Ibarz y Barbosa-Canovas, 2005; Téllez-Pérez et al., 2012). Sin embargo, los alimentos en este estado, deben ser rehidratados para su consumo o uso agroindustrial (Parthasarathi & Anandharamakrishnan, 2014) esta es una operación compleja que ayuda a restaurar las propiedades del alimento fresco, anteriormente deshidratado (Brousse et al., 2012); no obstante, aún son escasas las investigaciones referentes al fenómeno de absorción de agua por parte de las semillas de arveja. Turhan et al., (2002) y Yildirim, Öner, & Bayram, (2011) mencionan que la comprensión de la absorción de agua en las legumbres es de importancia ya que afecta a los procesos posteriores. Tal como lo cita Cerón et al., (2015) en el proceso de elaboración de arveja rehidratada en conserva (envasado y esterilización). Así mismo, Sharma et al., (2011) resalta que la construcción de equipos de clasificación, separación, transporte, entre otros, se diseñan en función del contenido de agua.

En este sentido, Paksoy & Aydin, (2006), Yalçın, Özarıslan, & Akbař, (2007) y Wang, Hatcher, & Gawalko, (2008) realizaron la rehidratación de las semillas de arveja (*Pisum sativum* L.) estudiando el efecto de la variedad y el proceso sobre los nutrientes

y los cambios en las propiedades físicas de las semillas conforme aumento el contenido de humedad, pese a lo anterior no se estudió el proceso de absorción de agua expresado mediante un modelo matemático. Actualmente, este fenómeno se ha estudiado bajo la primera y segunda ley de Fick (Yildirim et al., 2011) y bajo la utilización de modelos empíricos, para la predicción y la optimización de la cinética de rehidratación; Sopade, Xun, Halley, & Hardin, (2007) concluyeron que los modelos de Pilosof, Singh y Kulshrestha y Peleg, son matemáticamente equivalentes y puede usarse cualquiera de ellos para modelar este fenómeno; en el mismo sentido Brousse et al., (2012) y Brousse, Vergara, Zubreski, Cruz, & Martos, (2014) concluyeron que el modelo exponencial es equivalente al modelo de Pilosof, siendo una alternativa para el cálculo de los parámetros cinéticos. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue realizar la cinética de absorción de agua en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.) de dos variedades San Isidro y Sureña, determinando y comparando algunos parámetros cinéticos.

Materiales y métodos

Material de estudio

Se utilizaron 5 Kg de semillas de arvejas (*Pisum sativum* L.) de la variedad San Isidro (semilla verde, hilum blanco, lisa) y 5 Kg Sureña (semilla verde, hilum negro, lisa), el material se recolectó al sexto mes de establecido el cultivo en la granja del Centro Internacional de Producción Limpia LOPE, Sena Regional Nariño, ubicado a 2650 metros sobre el nivel del mar, temperatura promedio 13 °C y precipitación promedio anual de 700 mm, condiciones favorables para el cultivo. Los materiales fueron inspeccionados de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 791 (ICONTEC,

2004) solo se utilizó semillas con diámetro promedio mayor a 6.35 mm consideradas por la norma como semillas grandes; la humedad promedio de las semillas se encontró entre 16 y 17 % (base húmeda).

Rehidratación del material

La humedad de los materiales se llevó hasta un 14.211 ± 1.184 % (base húmeda) para la variedad San Isidro y 12.911 ± 1.924 % (base húmeda) para la variedad Sureña, empleando un secador de bandejas construido por Industrias Químicas FIQ LTDA, a una temperatura de 45 °C con velocidad de aire de 2 m/s durante 6 horas; posteriormente se determinó la esfericidad de las semillas para ello se midieron las tres dimensiones lineales (longitud (L), anchura (W) y grueso (T), utilizando un calibrador con precisión de 0.05 milímetros; posteriormente se aplicó la ecuación 1 (Yalçın et al., 2007); así mismo, se realizó la caracterización químico proximal de los materiales según el método de análisis de alimentos propuesto por Bernal, (1998) determinando: energía, humedad, materia seca, ceniza, extracto etéreo, fibra cruda, proteína, extracto no nitrogenado, calcio, hierro.

Caracterizado el material, se realizó la rehidratación por inmersión en recipientes de polietileno de alta densidad (capacidad 3 L), utilizando agua destilada en relación semillas/agua 1:4 (p/v), por espacio de 24 horas, tomando mediciones a las 0, 3, 6, 9, 12 y 24 horas a tres diferentes temperaturas (6 °C, temperatura ambiente 18 °C y 30 °C); para el control de la temperatura se utilizó un baño termostático Eyela OSB 2000, con precisión de ± 0.1 °C y un equipo de enfriamiento Chiller Polyscience SD28R, con precisión ± 0.1 °C; el registro de la temperatura se realizó utilizando un Datalogger Oakton Temp 10T.

$$\emptyset = \frac{(LWT)^1}{L} \quad (1)$$

Determinación humedad

Se eliminó la humedad superficial de las semillas mediante el uso de toallas de papel; posteriormente se utilizó la metodología descrita por Bernal (1998), empleando un horno eléctrico (Thermolab Dies) a 100 °C, por un tiempo de 24 horas hasta lograr un peso constante; la humedad se expresó en g de agua / g solido seco.

Capacidad de absorción de agua (RC)

Se determinó mediante la metodología expuesta por (Melquíades et al., 2009) empleando la ecuación 2.

$$RC = \frac{Wr}{Wd} \quad (2)$$

Dónde: Wr: peso total al final del proceso de rehidratación y Wd: peso del material seco.

Determinación constante de velocidad de rehidratación

Las constantes cinéticas de velocidad de rehidratación se determinaron mediante la metodología descrita por Brousse et al., (2012), modelo exponencial (ecuación 3) y la metodología descrita por Jideani & Mpotokwana, (2009) modelo de Peleg's (ecuación 4).

$$C_{(t)} = C_{\infty} (1 - \exp^{-k t}) \quad (3)$$

$$C_{(t)} = C_0 + \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (4)$$

Donde: $C(t)$: contenido de agua a tiempo t , g de agua/g de sólido seco; C_{∞} : contenido de agua en el equilibrio a tiempo infinito, g de agua/g de sólido seco; C_0 : contenido de humedad inicial, g de agua/g de sólido seco; K : constante de velocidad de absorción de agua, min^{-1} ; t : tiempo de absorción de agua (min o h). K_1 : constante de velocidad de Peleg ($\text{h}\%^{-1}$); K_2 : constante de capacidad de Peleg ($\%^{-1}$).

Los parámetros cinéticos C_{∞} , K , K_1 y K_2 se obtuvieron a partir de los datos experimentales mediante regresión no lineal.

Estudio de la transferencia de agua como modelo difusivo

Se utilizó la metodología descrita por Melquíades et al., (2009) a partir de la segunda Ley de Fick, ecuación de difusión, con geometría de un cilindro (ecuación 5).

$$\frac{m - m_s}{m_0 - m_s} = \frac{4}{5.783} \exp\left(\frac{5.783 \text{ Def } t}{R^2}\right) \quad (5)$$

Dónde: Def : coeficiente de difusión de agua en el grano; t : tiempo; m_0 : humedad inicial; m_s : humedad en equilibrio y R : radio de la semilla equivalente.

En el mismo sentido, se determinó la energía de activación (E_a), de la operación de rehidratación, a partir del coeficiente de difusión que se ajusta a la ecuación de Arrhenius debido a su dependencia con la temperatura (Melquíades et al., 2009) ecuación 6.

$$\text{Def} = \text{Do} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (6)$$

Dónde: D0: factor pre-exponencial; E_a : energía de activación (kJ/mol) y R: constante de los gases (8.314 J/ (g mol K)).

Análisis estadístico

Todos los resultados se expresaron como media más o menos la desviación estándar. Los gráficos fueron realizados con ayuda del programa Sigma Plot 10 (SPSS, USA); así mismo, se efectuó el análisis de varianza y prueba de comparación mediante la mínima diferencia significativa (LSD) de Fisher a un 5 % de nivel de significancia mediante el programa Statgraphics centurión © Plus versión XV.II. La bondad de ajuste del modelo se evaluó con los parámetros R^2 (coeficiente de determinación), % E (error porcentual promedio) ecuación 7 y RMSE (raíz cuadrada del error medio cuadrático) ecuación 8.

$$\% E = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|C_{cal} - C_{exp}|n}{C_{exp} n}}{n} \cdot 100 \quad (7)$$

$$\text{RMSE} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (C_{cal} - C_{exp})^2}{n} \right]^{0.5} \quad (8)$$

Donde: C_{cal} : valor calculado; C_{exp} : valor experimental; n : número de determinaciones. Varios autores citados por Brousse et al., (2014) mencionan que un buen ajuste es indicado por $R^2 > 85$, $E \% < 10 \%$ y valores pequeños de RMSE

indicando que los valores del pronóstico son muy aproximados a los valores reales, valores grandes significan que existen grandes errores en el pronóstico. En este estudio se aceptan $RSME < 0.3$.

Resultados y discusiones

Análisis físico y proximal

La variedad San Isidro presentó valores de esfericidad de 0.909 ± 0.022 mientras que la variedad Sureña 0.890 ± 0.033 ; siendo estos valores cercanos a los valores reportados para geometría de un cilindro 0.874 y distantes de los valores de una esfera 1.0 y un cubo 0.804 (Bayram, 2005).

Respecto del análisis proximal los resultados se expresaron en base húmeda, para cada variedad, en la tabla 2 se muestran los valores.

Tabla 2.**Composición proximal semillas de arveja (*Pisum sativum* L.)**

Característica	Unidades	Variedad	
		San Isidro	Sureña
Energía	Kcal/100 g	367.767	375.428
Humedad	g/100 g	14.322	12.911
Materia seca	g/100 g	85.678	87.089
Extracto etéreo	g/100 g	1.271	1.397
Proteína	g/100 g	20.180	19.863
Carbohidratos totales	g/100 g	56.856	57.749
Fibra cruda	g/100 g	4.393	5.519
Ceniza	g/100 g	2.627	2.678
Calcio	mg /100 g	61.871	63.593
Hierro	mg /100 g	4.911	5.006

Capacidad de absorción de agua (RC)

El análisis de varianza (ANOVA) solo mostró influencia significativa de la temperatura sobre el RC de la variedad San Isidro ($p < 0.05$). Respecto de la comparación entre variedades, no se encontró diferencias en cada una de las temperatura objeto de estudio ($p > 0.05$). Sin embargo, se evidenció aumentos de los RC, debido a que la absorción de agua se facilitada a mayores temperaturas (Bello, Tolaba, & Suarez, 2007; Salimi, Maghsoudlou, & Jafari, 2011; Muñoz, Garcia-Gil, Arnau, & Gou, 2012). Este fenómeno puede estar relacionado con la alta tasa de difusión del agua y solutos a mayor temperatura, otorgando una reducción importante del tiempo de rehidratación (Marin, Lemus, Flores, & Vega, 2006; Kashiri,

Kashaninejad, & Aghajani, 2010). Los valores promedios de RC en función de la temperatura, se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.

Capacidad de absorción de agua (RC), letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza).

Temperatura (°C)	RC (g semilla rehidratada / g semilla seca)	
	San Isidro	Sureña
6	1.831 ± 0.104 ^a	1.835 ± 0.121 ^a
18	1.979 ± 0.119 ^b	1.928 ± 0.126 ^{ab}
30	1.997 ± 0.060 ^b	1.965 ± 0.102 ^b

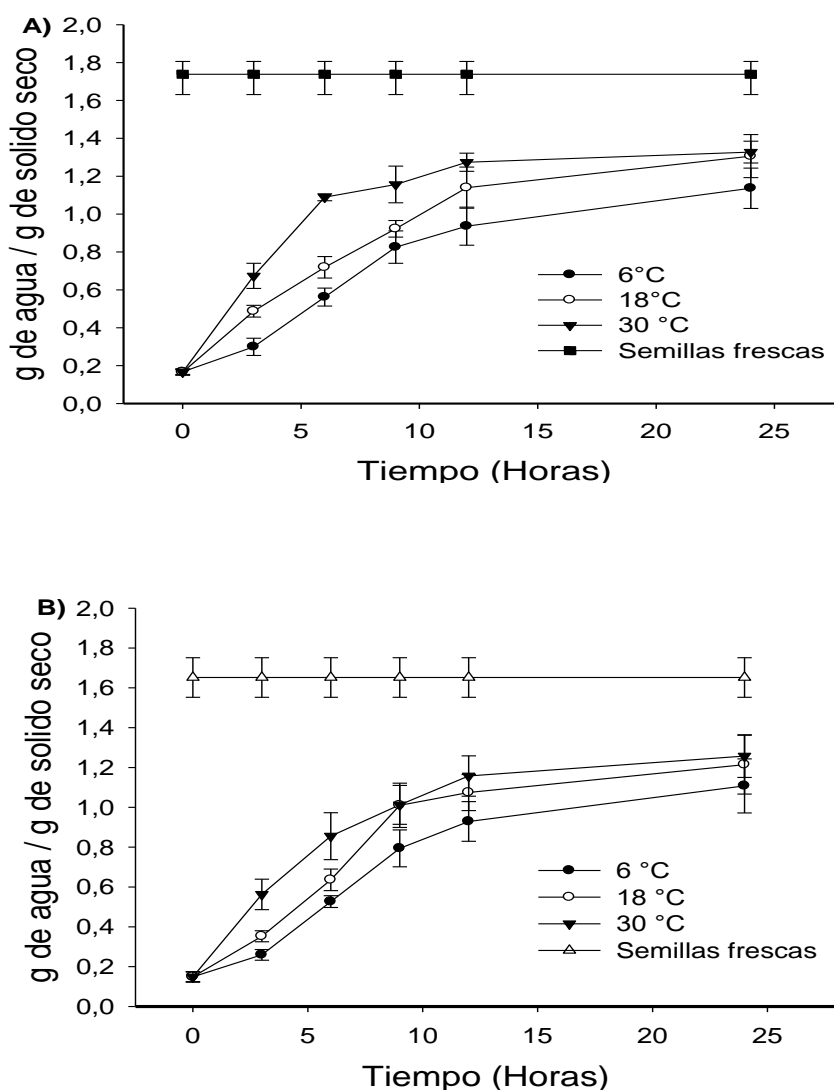
Según la tabla 3 los valores de RC de la variedad San Isidro fueron mayores que la variedad Sureña, una posible explicación de este fenómeno, sería el mayor grado de deshidratación que sufrió dicha variedad durante el secado, (Salimi et al., 2011) mencionan que la operación de rehidratación depende de cambios estructurales en los tejidos o células del material alimentario, que se dan durante el secado, operación que ocasiona la contracción y el colapso de los mismos, reduciendo la capacidad de absorción de agua, explicando el fenómeno observado.

Cinética de absorción de agua

En la figura 1 se muestra el comportamiento cinético de la rehidratación de las semillas de arveja (*Pisum sativum* L.) de las dos variedades. La velocidad de absorción de agua fue mayor al inicio de la operación de rehidratación, para luego disminuir lentamente hasta el valor de equilibrio, Lucas, Le Ray, & Mariette, (2007) observaron igual fenómeno en la rehidratación de cereales para desayuno (crispís de arroz),

Cunningham, Mcminn, Magee, & Richardson, (2008) en la rehidratación de papa, Yildirim, Durdu, & Bayram, (2010) y (Shafaei & Masoumi, 2014b) en la rehidratación de garbanzos. Este fenómeno se debe a que todos los espacios intercelulares o intracelulares quedan saturados con agua conforme transcurre el tiempo (Marin et al., 2006).

Figura. 1. Cinética de rehidratación semillas de arveja: A) San Isidro, B) Sureña.



El ajuste de los datos experimentales mostro que el modelo exponencial (tablas 3) describe mejor la absorción de agua en las semillas de arveja de las dos variedades, como lo muestran los valores de R^2 , RMSE y E %; no obstante, el modelo de Peleg's (tabla 4) es una buena opción para describir la absorción de agua de la variedad San Isidro a temperaturas de 18 y 30 °C, y para la variedad Sureña a temperatura de 30 °C. Parthasarathi y Anandharamakrishna (2014) afirman que varios autores en sus estudios concluyeron que el modelo de Peleg describe adecuadamente la hidratación de diversos productos alimenticios, confirmando lo obtenido.

Así mismo, los datos muestran que a menor temperatura, la humedad en equilibrio alcanzada fue menor; resultados similares reportaron Melquíades et al., (2009) durante la rehidratación de zanahoria. Pese a lo anterior, no se evidenció diferencias significativas entre las humedades en equilibrio alcanzadas a las 24 horas de rehidratación, tanto de la semilla de la variedad San Isidro como de la variedad Sureña ($p>0.05$); no obstante, existen diferencias significativas entre los valores de humedad de las semillas en estado fresco, frente a los valores obtenidos en el equilibrio ($p<0.05$), lo cual permite afirmar que los cambios estructurales que sufrieron las semillas durante el secado son irreversibles, Krokida y Philippopoulos (2005) observaron efectos similares en varias frutas y verduras deshidratadas. Con respecto a la comparación entre variedades no se encontró diferencias significativas entre las humedades en equilibrio alcanzadas en cada una de las temperaturas ($p>0.05$).

Por otra parte, al aumentar la temperatura las constantes de velocidad de absorción de agua aumentaron significativamente ($p<0.05$) para las dos variedades (tabla 3). Mientras que bajo el modelo de Peleg's (tabla 4) los valores de K_1 fueron

inversos a la temperatura. Jideani y Mpotokwana (2009) reportaron conclusión similar afirmando que el tiempo y la temperatura tienen efecto significativo sobre la velocidad de rehidratación de semillas de bambara; así mismo, Kashiri et al., (2010) mencionan que el efecto inverso observado indica una creciente velocidad de absorción de agua a temperaturas más altas.

Tabla 4.

Parámetros cinéticos y bondad de ajuste del modelo exponencial.

Variedad	Temperatura °C	C _(∞) (g de agua/g de sólido seco	*K (x 10 ⁻³ min ⁻¹)	R ²	Bondad de ajuste	
					RMSE	E %
San Isidro	6	1.136±0.106 ^a	2.304±0.121 ^a	96.221	0.225	10.052
	18	1.130±0.113 ^a	2.558±0.113 ^a	95.354	0.101	4.495
	30	1.327±0.057 ^a	4.170±0.152 ^b	97.772	0.059	2.637
Sureña	6	1.107±0.135 ^a	2.422±0.112 ^a	94.998	0.334	13.931
	18	1.214±0.147 ^a	3.198±0.156 ^b	94.260	0.261	11.155
	30	1.257±0.107 ^a	3.311±0.212 ^b	98.228	0.111	4.973

(Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza).

Respecto de la constante K₂, está inversamente relacionada con la capacidad de absorción de agua (Jideani y Mpotokwana, 2009). En la tabla 5 se muestran aumentos significativos de K₂ conforme se incrementó la temperatura, Jideani y Mpotokwana (2009) observaron efecto similar en la rehidratación de semillas de bambara, afirmando que lo anterior demuestra que la velocidad de absorción de agua se incrementó y la capacidad de absorción de agua disminuyó con el aumento de la temperatura.

Tabla 5.

Parámetros cinéticos y bondad de ajuste del modelo de Peleg's.

Variedad	Temperatura (°C)	K ₁ (x 10 ⁻² h ⁻¹)	K ₂ (x 10 ⁻² h ⁻¹)	R ²	Bondad del ajuste	
					RMSE	E %
San Isidro	6	9.589±0.532 ^a	0.515±0.032 ^a	89.807	0.336	15.016
	18	7.077±0.356 ^b	0.556±0.026 ^a	96.459	0.091	4.112
	30	2.699±0.215 ^c	0.731±0.028 ^b	98.599	0.138	6.194
Sureña	6	10.010±0.450 ^a	0.593±0.025 ^a	89.399	0.387	17.316
	18	6.281±0.312 ^b	0.649±0.032 ^{ab}	89.699	0.371	16.606
	30	4.377±0.413 ^c	0.700±0.045 ^b	98.732	0.087	3.911

(Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza).

En la tabla 6 se muestra los coeficientes de difusión, evidenciando la dependencia de este parámetro a medida que aumentó la temperatura de rehidratación, confirmado, mediante el análisis de varianza (ANOVA) el cual mostró diferencias estadísticamente significativas entre los valores de difusividad a diferente temperatura para la variedad San Isidro y Sureña ($p < 0.05$). Conclusión similar reportaron Khazaei y Mohammadi (2009) en semillas de sésamo y (Shafaei & Masoumi, 2014a) en frijol, afirmando que temperaturas más altas aumentan la difusividad y por ende la velocidad de rehidratación, lo cual permite alcanzar la humedad de equilibrio en menor tiempo. Al comparar las dos variedades en cada una de las temperaturas, se determinó que a temperaturas de 6 y 18 °C San Isidro no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto de los valores de Sureña a 6 °C. Los valores encontrados se encuentran dentro del rango reportado por varios autores 10^{-9} y 10^{-12} citados por Téllez-Pérez et al., (2012) y Kashiri et al., (2010).

Tabla 6.

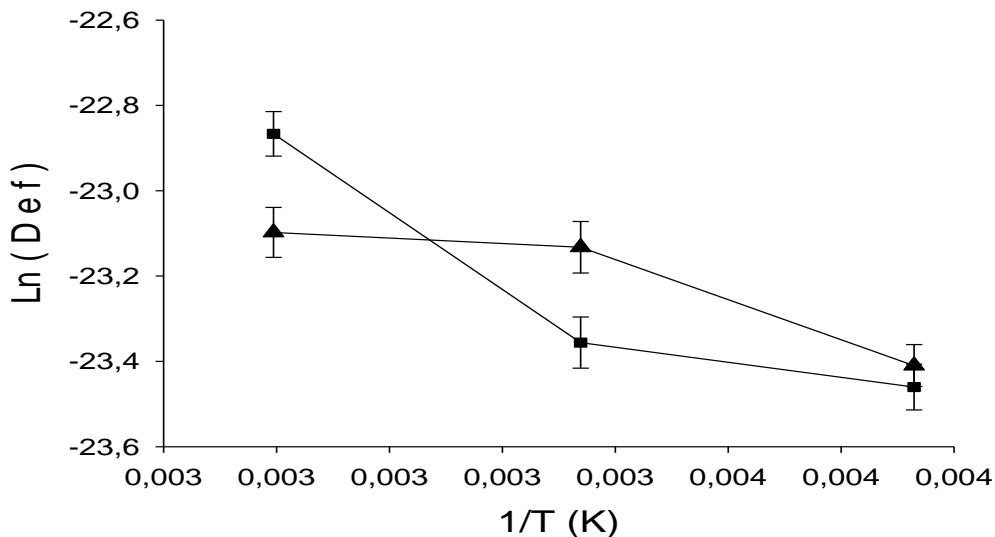
Coefficientes de difusión rehidratación de arveja (*Pisum sativum* L).

Temperatura (°C)	San Isidro	R ²	Sureña	R ²
	Def (x 10 ⁻¹¹ m ² .s ⁻¹)		Def (x 10 ⁻¹¹ m ² .s ⁻¹)	
6	6.483±0.347 ^a	96.22	6.817±0.336 ^a	94.99
		1		1
18	7.197±0.431 ^a	95.35	9.001±0.543 ^b	94.26
		4		0
30	11.74±0.612 ^b	97.71	9.318±0.545 ^b	98.25
		4		0

(Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza).

La energía de activación se determinó a partir de la pendiente de la figura 2 (gráfico de Arrhenius), los valores obtenidos fueron: San Isidro 17.235 kJ/mol y Sureña 9.254 kJ/mol; según Melquíades et al., (2009) estos valores, termodinámicamente representan la energía que necesitan las moléculas de agua para su migración o movimiento dentro del producto.

Figura. 2: (■) San Isidro: $y=-2072.994x-16.633$, $R^2 = 0.861$ (▲) Sureña: $y=-1113.077x-19.919$, $R^2 = 0.849$.



Los valores de energía de activación obtenidos en esta investigación son razonables al compararse con los datos presentados por diversos autores citados por Kashiri et al., (2010) para otros granos: 24.21 kJ/mol para sorgo, 37.62 y 35.69 kJ/mol para caupí y bambara y 11.979 kJ/mol para trigo.

Conclusiones

El modelo exponencial utilizado para simular el proceso de rehidratación mostró una buena calidad de ajuste sobre las curvas de rehidratación experimental, validando su utilización; mientras que el modelo de Peleg's describe adecuadamente la cinética de absorción de agua de la variedad San Isidro a temperaturas de 18 y 30 °C mientras que para la variedad Sureña a temperatura de 30 °C.

Se determinó influencia estadísticamente significativa de la temperatura sobre la cinética de rehidratación de las semillas de arveja (*Pisum sativum* L.) tanto para la

variedad San Isidro como Sureña, permitiendo inferir que bajo el modelo de Peleg's el aumento de K_2 muestra incremento en la velocidad de absorción de agua mientras que la capacidad de absorción de agua disminuye conforme aumenta la temperatura.

Efecto de la humedad sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.).

Resumen

La rehidratación por inmersión en agua es una operación compleja que pretende reconstituir productos; sin embargo, aún son escasas las investigaciones referentes a características físicas dependientes de la humedad en semillas de arveja, la investigación se ha enfocado en la obtención de nuevos materiales, uso de tutores y manejo del cultivo. En este sentido se determinó el efecto de la humedad ganada sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.). La rehidratación se realizó a temperatura de 18 °C empleando una relación semillas/agua 1:4 (p/v). Se tomaron mediciones a 0, 3, 6, 9, 12 y 24 horas. Se utilizó un diseño experimental unifactorial completamente aleatorizado con diez repeticiones, mediante el cual se estudió influencia de la ganancia de humedad sobre algunas propiedades físicas (peso de mil semillas, esfericidad, densidad real, densidad aparente, porosidad y firmeza). Se determinó que la ganancia de humedad ocasionó aumentos en peso de mil semillas y porosidad, mientras que la esfericidad, densidad real y aparente y la firmeza, disminuyen.

Palabras clave: semillas, arvejas, temperatura, tiempo, humedad.

Introducción

La arveja (*Pisum sativum* L.) es fuente importante de proteínas, carbohidratos y vitaminas (Barac et al., 2010; Alisano et al., 2008; Paksoy & Aydin, 2006) su composición química, en estado fresco, proporciona: proteína 6.7 %, carbohidratos 13.9 % y grasa 0.5 % (Yalçın et al., 2007) mientras, que en estado seco, proteína 24 %,

carbohidratos 60.3 % y grasa 1.16 % (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 2012).

En Colombia la diversidad en arveja es amplia, con un gran número de variedades que se han mejorado por rendimiento y por calidad del producto fresco o como materia prima para la agroindustria (Ligarreto & Ospina, 2009). Las variedades más cultivadas en el país son: Santa Isabel, Piquinegra, Guatecana, Sindamanoy, San Isidro, y Obonuco Andina, las cuales se consumen frescas y en estado seco (FENALCE, 2010).

En el caso de las arvejas secas, deben ser rehidratadas para su consumo o uso agroindustrial; este es un proceso complejo (Brousse et al., 2012) que merece especial atención. Según Marin, Lemus, Flores, & Vega, (2006) la rehidratación no es el proceso inverso a la deshidratación, ya que ambos fenómenos tienen diferentes mecanismos de transferencia de materia y dependen de factores distintos; sin embargo, al rehidratar se pretende obtener productos con características similares a los productos frescos (Melquíades et al., 2009).

Entre las propiedades de calidad más importantes de un alimento que ha sido rehidratado, están las propiedades estructurales, ópticas, texturales, mecánicas, sensoriales y nutricionales (Marin et al., 2006). El conocimiento de estas propiedades proporciona datos de ingeniería, para el diseño de equipos y procesos (Sessiz, Esgici, & Kızıl, 2007; Altuntaş, 2008; Ordóñez, Gely, & Pagano, 2012; Pradhan, Said, & Singh, 2013) tal es el caso de equipos de clasificación, separación, transporte, entre otros, que se diseñan en función del contenido de agua (Sharma et al., 2011). Sin embargo, aún son escasas las investigaciones referente a características físicas dependientes de la

humedad en semillas de arveja, como lo reportan Yalcin et al. (2007). La investigación en el país se ha enfocado hacia la obtención de nuevos materiales, uso de tutores y manejo del cultivo (Fenalce 2010).

Dentro de este contexto, el objetivo de investigación fue determinar el efecto de la humedad ganada sobre algunas propiedades físicas (peso de mil semillas, esfericidad, densidad real, densidad a granel y porosidad), en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.).

Materiales y métodos

Material de estudio

Se utilizaron semillas de arvejas (*Pisum sativum*, L). El material fue clasificado de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 791 (Dp > 6.35 mm) arveja seca grande (ICONTEC, 2004). La humedad de las semillas base húmeda fue de 16.756 ± 2.323 %.

Rehidratación del material.

Se utilizó la metodología descrita en el numeral 4.1.3.2. descrita por (Cerón, Osorio, & Garcés, 2016). Así mismo, se utilizó la metodología descrita por Cerón, Osorio, & Garcés, (2016) mediante la cual se calculó el tiempo de rehidratación para alcanzar humedades de entre 35 y 50% bajo el modelo exponencial resuelto por dichos autores para la variedad San Isidro y Sureña.

Diseño experimental

El factor de estudio evaluado fue el contenido de humedad de las semillas de arvejas. Para ello se tomó como base el contenido inicial (14.211 %), para posteriormente someterlas a rehidratación bajo las condiciones descritas

anteriormente. Se utilizó un diseño unifactorial completamente aleatorizado (DCA), con diez repeticiones con el fin de determinar el efecto de la humedad ganada sobre algunas propiedades físicas (peso de mil semillas, esfericidad, densidad real, densidad a granel, porosidad a granel y firmeza).

El análisis de los resultados se realizó con ayuda del programa Statgraphics centurión © Plus versión XV.II., mediante el cual se efectuó el análisis de varianza y prueba de comparación mediante la mínima diferencia significativa (LSD de Fisher) a un 5 % de nivel de significancia.

Determinación humedad

Se realizó conforme al numeral 4.1.3.3 metodología descrita por (Cerón, Osorio, & Garcés, 2016).

Determinación de características físicas

Se utilizó la metodología descrita por Cerón *et al.*, (2015) mediante la cual se determinó: peso de mil semillas, esfericidad (ecuación 1), densidad aparente (ecuación 2), densidad real (ecuación 3), porosidad (ecuación 4).

$$\emptyset = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L} \quad (1)$$

$$\rho b = \frac{Mrl - Mrv}{Vr} \quad (2)$$

$$\rho_s = \frac{(wps - wp)}{(wpl - wp) - (wpls - wps)} \rho_l \quad (3)$$

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) * 100 \quad (4)$$

Dónde: L: longitud; W: anchura; T: grueso; Mrl: Masa del recipiente lleno; Mrv: Masa del recipiente vacío; Vr: Volumen del recipiente; wps: Masa del picnómetro con la muestra; wp: Masa del picnómetro vacío; wpl: Masa del picnómetro con el líquido; wpls: Masa del picnómetro con la muestra y el líquido; pl: Densidad del líquido; €: es la porosidad en %; pb: densidad aparente en g/mL; y pt: densidad real en g/mL.

Así mismo, se utilizó la metodología descrita por Zapata et al., (2010) para medir la textura; se utilizó un texturometro LLOYD LS1, y como accesorio una punta cilíndrica de 2mm usando una celda de carga de 250 N. Los parámetros del ensayo fueron los que se señalan a continuación: Modo: Medida de fuerza en compresión; Opción: Retorno al Inicio; Velocidad de Pre-Test: 1.0 mm/s; Velocidad de Test: 1.0 mm/s; Velocidad de Post-Test: 10.0 mm/s; Distancia: 50%.

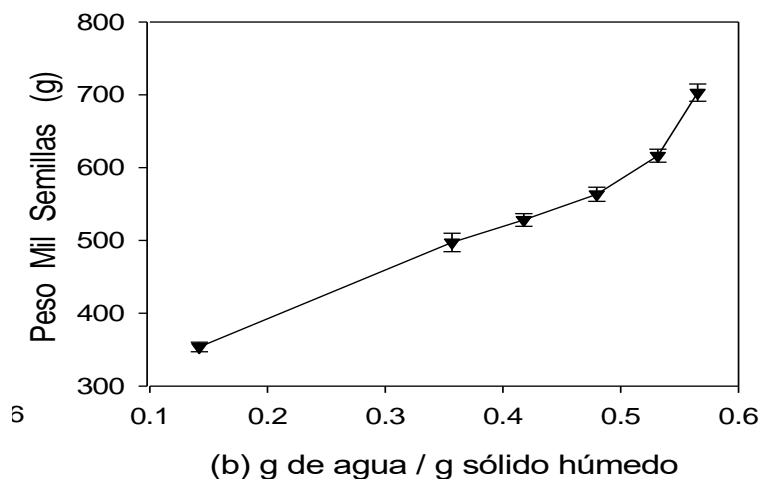
Resultados y discusión

Peso de mil semillas

En la figura 3 se muestra el incremento del peso de mil semillas conforme aumentó la humedad. Existen diferencias estadísticamente significativas frente al peso inicial y final ($p < 0,05$). Los resultados encontrados coinciden con los presentados por Yacin et al. (2007), en semillas de arveja variedad Bolero y los reportados por Paksoy & Aydin (2006), para la variedad Ronda, con incrementos lineales al aumentar el

contenido de humedad

**Figura 3. Efecto de la humedad sobre el peso de mil semillas: rehidratación
temperatura ambiente 18 °C.**



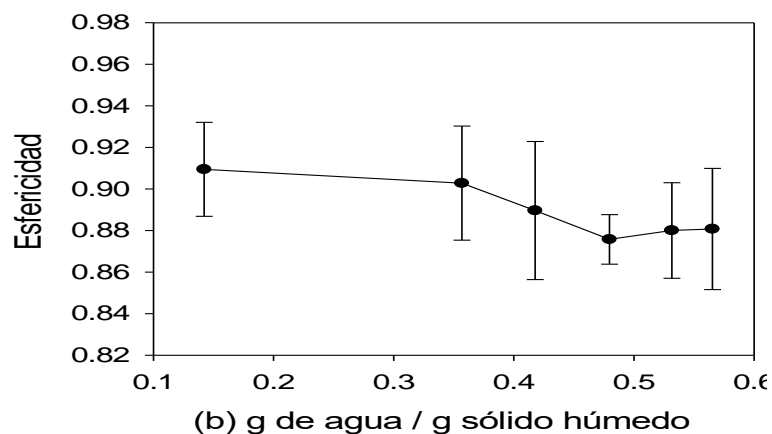
Las ecuaciones que describen el aumento del peso de mil semillas (PS) en función de la humedad (H) a diferente temperatura (T°) son:

$$T^{\circ}18 \text{ °C: } PS = 745,88H + 233,70 \quad (R^2 = 0.9463)$$

Esfericidad

En la figura 4 se evidencian disminuciones de la esfericidad conforme aumentó la humedad de las semillas. Humedades superiores ocasionaron disminuciones del valor inicial, debido a que de las tres dimensiones lineales la longitud (L), aumento en mayor proporción que la anchura (W) y el grueso (T); aunque no se encontraron diferencias significativas entre los valores iniciales y los finales ($p > 0.05$). Según la figura 2 no existe correlación de disminución o aumento del valor de esfericidad.

Figura 4. Efecto de la humedad sobre la esfericidad: rehidratación temperatura ambiente 18 °C.



Según Yacin et al. (2007) para un rango de humedad de entre (14 y 35 % base húmeda) existiría una correlación lineal de aumento de la esfericidad. Sin embargo, contenidos de humedad superiores ocasionan disminuciones de este valor; Zewdu & Solomon, (2007) reportaron una disminución del valor de la esfericidad en semillas de Tef; sin embargo, conforme las semillas se rehidrataron por encima de un 15 % de humedad (base húmeda) el valor de la esfericidad aumentó; pese a ello no se llegó al valor inicial. Resultados similares se reportan en esta investigación (figura 2).

Aun así, no se evidenciaron cambios significativos entre los valores iniciales y los finales; efectos similares reportan Altuntaş, Ozgoz, & Taser, (2005) en semillas de fenogreco, Selvi, Pınar, & Yeşiloğlu, (2006) en semillas de linaza, Cetin, (2007) en semillas de frijol y Rojas, (2010) en semillas de vitabosa, concluyendo que no hay cambios significativos en las proporciones de las dimensiones de las semillas conforme aumenta el contenido de humedad.

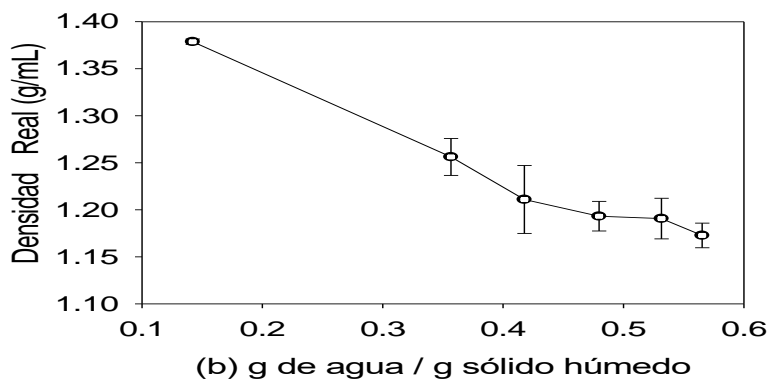
Según Marin et al., (2006) los alimentos deshidratados en condiciones óptimas

se deterioran menos en el proceso de rehidratación; lo anterior se explica debido a que la operación de secado de la arveja hasta valores del 16.756 % se realizó de forma natural en la planta (desección); posteriormente se utilizó un secador de bandejas para llevar la humedad a valores de 14.211 %, confirmando que esta forma fue adecuada.

Densidad real y aparente

En las figuras 5 y 6 se muestran disminuciones en la densidad real y aparente, conforme aumentó la humedad. Existen diferencias significativas entre las medidas iniciales y las finales de cada tratamiento ($p < 0,05$) debido a que el agua va ocupando espacio dentro de la semilla por ende la densidad de las semillas se acerca a la del agua.

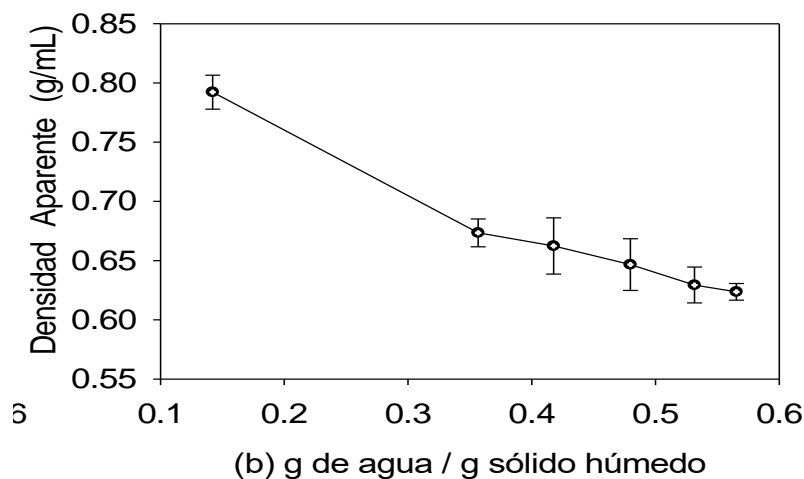
Figura 5. Efecto de la humedad sobre la densidad real: rehidratación temperatura ambiente 18 °C.



Las ecuaciones que describen la disminución de la densidad real (DR) en función de la humedad (H) a diferente temperatura (T°) son:

$$T^\circ 18 \text{ }^\circ\text{C}: DR = -0,488H + 1,436 \quad (R^2 = 0.9638)$$

Figura 6. Efecto de la humedad sobre la densidad aparente: (a) rehidratación 6 °C; (b) rehidratación temperatura ambiente 18 °C; (c) rehidratación 30 °C.



Las ecuaciones que describen la disminución de la densidad aparente (DA) en función de la humedad (H) a diferente temperatura (T°) son:

$$T^{\circ}18\text{ }^{\circ}\text{C: DA= -0,395H+0,835 (R}^2 = 0,9572)$$

Los resultados son similares a los presentados por Yalcin et al. (2007) en arveja, Zewdu & Solomon (2007) en semillas de Teff; Coşkuner & Karababa, (2007) en semillas de cilantro y Gharibzahedi, Etemad, & Fos, (2010) en piñas de pino; sin embargo, son contrarios a los presentados por Paksoy & Aydin, (2006) en semillas de arveja, quienes evidenciaron que los valores de densidad real aumentaron conforme se incrementó la humedad. Igualmente, Reza & Reza, (2010) reportaron aumentos de este valor en semillas de girasol.

Pese a estas dos últimas afirmaciones, una explicación de la disminución de los valores de densidad real y/o aparente radica que el agua va ocupando espacio dentro de la semilla; al ser la densidad del agua menor que la densidad de la semilla, la

densidad de esta se acercará a la del agua (Rojas, 2010).

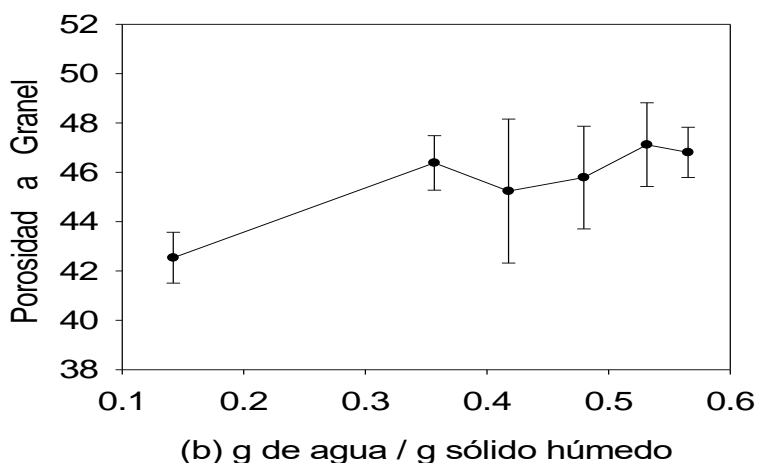
Respecto al uso de los resultados obtenidos, Ordóñez et al., (2012) mencionan que la densidad aparente permite determinar la capacidad de almacenamiento y la capacidad de los sistemas de transporte, mientras, que los datos de densidad real permitirán calibrar los equipos relacionados con la separación

Porosidad

En la figura 7 se evidencia aumento de la porosidad al incrementar la humedad de los materiales, evidenciando diferencias significativas entre las medidas iniciales y finales ($p < 0,05$). En el mismo sentido, no se encontró correlación conforme aumentó la humedad $R^2 < 0.6$.

Figura 7. Efecto de la humedad sobre la porosidad a granel: rehidratación

temperatura ambiente 18 °C.



Los resultados coinciden con los presentados por Yalcin et al. (2007) y Paksoy & Aydin (2006) en semillas de arvejas, Zewdu & Solomon (2007) en semillas de Teff, Kaleemullah & Gunasekar, (2002) en semillas de garbanzo y Gharibzahedi et al. (2010) en piñas de pino; conforme aumenta el contenido de humedad la porosidad a granel

aumenta.

Según Lewicki, (1998) en la rehidratación existen tres procesos simultáneos: la absorción de agua dentro del material deshidratado, la lixiviación de solutos y el hinchamiento del material. Este último provoca un cambio en el volumen del producto (aumentando de tamaño); si se tiene en cuenta que el valor de la porosidad depende de la forma y la distribución de tamaños de las partículas, de la relación entre el diámetro de las partículas y del diámetro del lecho, así como del método utilizado para formar el lecho de partículas (McCabe, Smith & Harriott., 1991), se explica el porqué de la disminución de este valor conforme aumentó la humedad de las semillas.

Rehidratación material vegetal metodología de Cerón, Osorio, & Garcés, (2016).

En la tabla 7 se muestra los tiempos necesarios de rehidratación calculados a partir de los modelos matemáticos expuestos por Cerón, Osorio, & Garcés, (2016).

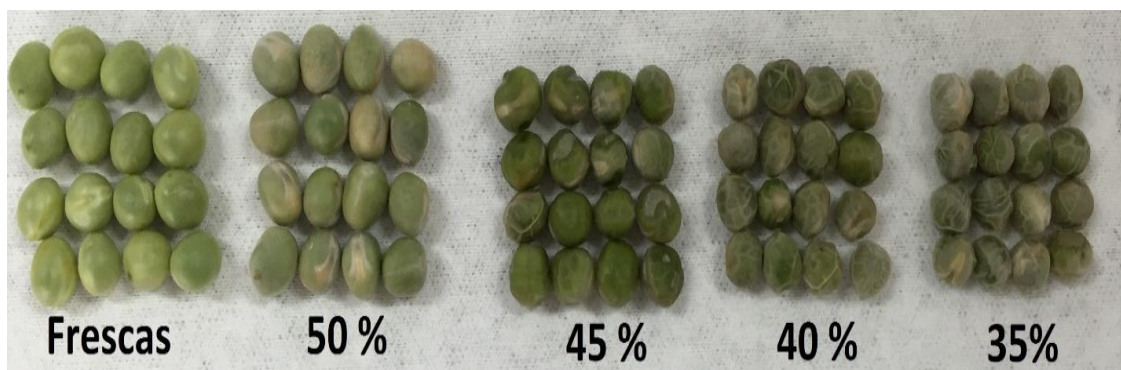
Tabla 7.

Tiempos calculados para las humedades deseadas.

Parámetros	Humedades							
	35%		40%		45%		50%	
modelo	San	Sureña	San	Sureña	San	Sureña	San	Sureña
cinético (18 °C)	Isidro		Isidro		Isidro		Isidro	
Ct	0.54	0.54	0.67	0.67	0.82	0.82	1.00	1.00
C∞	1.13	1.21	1.13	1.21	1.13	1.21	1.13	1.21
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
t min	253.03	183.29	348.52	249.10	503.34	350.44	845.36	542.75
t horas	4.22	3.05	5.81	4.15	8.39	5.84	14.09	9.05

Así mismo en la imagen 2 se muestran los efectos de la rehidratación sobre las semillas de arveja

Imagen 2. Material rehidratado humedades deseadas



Propiedades físicas semillas diferentes contenidos de humedad antes del tratamiento térmico.

En la tabla 8 y 9 se muestra las características físicas y bromatológicas de las semillas de arveja en las condiciones de humedad buscadas, los resultados coinciden con los reportados por Díaz et al., (2014) conforme aumenta la humedad las propiedades citadas se ven modificadas.

Tabla 8.

Características físicas arvejas a diferentes contenidos de humedades.

35 % de Humedad			
Característica	Unidad de medida	San Isidro	Sureña
Peso mil semillas	g	508.748 ± 9.228	512.468±9.072
Esfericidad	--	0.903±0.027	0.909±0.040
Densidad Real	g / mL	1.307±0.033	1.315±0.017
Densidad Aparente	g / mL	0.716±0.043	0.721±0.007
Porosidad	--	45.215±2.367	45.159±4.904
Firmeza	N	62.525±3.701	63.654±4.324
40 % de Humedad			
Peso mil semillas	g	581.960±12.878	585.210±3.951
Esfericidad	--	0.890±0.033	0.918±0.037
Densidad Real	g / mL	1.295±0.018	1.301±0.012
Densidad Aparente	g / mL	0.688±0.037	0.691±0.005
Porosidad	--	45.221±3.337	0.469±3.023
Firmeza	N	54.463±2.983	56.769±4.123
45 % de Humedad			
Peso mil semillas	g	628.628±8.811	633.048±5.435
Esfericidad	--	0.876±0.012	0.926±0.045
Densidad Real	g / mL	1.222±0.013	1.276±0.011
Densidad Aparente	g / mL	0.647±0.022	0.649±0.004
Porosidad	--	46.845±3.036	49.514±3.876
Firmeza	N	45.198±5.016	46.766±5.876
50 % de Humedad			
Peso mil semillas	g	667.357±9.061	676.185±5.588
Esfericidad	--	0.880±0.022	0.886±0.040
Densidad Real	g / mL	1.191±0.021	1.220±0.020
Densidad Aparente	g / mL	0.629±0.015	0.638±0.017
Porosidad	--	47.119±1.697	47.697±1.343
Firmeza	N	38.948±4.231	39.679±3.856

*Valores promedio (n = 10) ± desviación estándar.

Los anteriores resultados permiten inferir la importancia de las propiedades

citadas en el campo agroindustrial, considerando el caso de las **arvejas rehidratadas en conserva**, definidas como un producto que se elabora a partir de semillas secas, las cuales deben ser envasadas en un recipiente apto, con un medio de cobertura apropiado y sometido a esterilización para asegurar su conservación (NTC 4434). Al reflexionar sobre un recipiente (lata), de volumen 250 cm^3 , el cual necesita ser llenado con 160 g de arveja, se podría afirmar que al rehidratar las semillas para posterior esterilización y enlatado, la humedad es de gran importancia. Si ésta aumenta, el peso de las semillas aumentará, por consiguiente se tendría menor número de semillas para alcanzar el objetivo deseado; sin embargo, en el recipiente se tendría menos masa por unidad de volumen, atribuida a la humedad de las semillas, ocasionando disminución en la densidad real, en la densidad aparente y en el aumento de la porosidad. Sin embargo, es necesario realizar estudios de enlatados y posterior esterilización debido a que la temperatura, como se mencionó, favorece la rehidratación, afectando nuevamente las propiedades citadas, y ocasionan que el mecanismo de transferencia de calor por efecto de las propiedades se vea modificado (Jimenez et al., 2005) por lo que es necesario encontrar el nivel adecuado antes de esta operación.

Tabla 9.

Características bromatológicas arvejas a diferentes contenidos de humedades.

Característica	Estado seco		
	Unidad de medida	San Isidro	Sureña
Energía	Kcal /100 g	367.767±36.677	375.428±42.654
Humedad	g/100 g	14.322±0.998	12.911±1.624
Materia Seca	g/100 g	85.678±0.998	87.089±1.624

Proteína		g/100 g	20.18±2.765	19.863±1.987
Grasa		g/100 g	1.271±0.184	1.397±0.176
Extracto nitrogenado	no	g/100 g	56.856±6.786	57.749±7.987
Fibra cruda		g/100 g	4.393±0.576	5.519±0.543
Ceniza		g/100 g	2.627±1.043	2.678±0.387
Calcio		mg/100 g	61.871±7.665	63.593±6.987
Hierro		mg/100 g	4.911±0.634	5.006±0.543
35 % de Humedad				
Energía		Kcal /100 g	274.095±32.322	282.175±37.454
Humedad		g/100 g	36.112±3.242	34.543±2.765
Materia Seca		g/100 g	63.888±3.242	65.457±2.765
Proteína		g/100 g	15.107±2.354	14.761±1.876
Grasa		g/100 g	0.951±0.134	1.133±0.116
Extracto nitrogenado	no	g/100 g	42.565±6.786	44.15±5.654
Fibra cruda		g/100 g	3.289±0.365	3.398±0.412
Ceniza		g/100 g	1.967±0.237	1.939±0.215
Calcio		mg/100 g	46.112±6.654	47.797±5.876
Hierro		mg/100 g	3.660±0.288	3.762±0.268
40 % de Humedad				
Energía		Kcal /100 g	250.475±27.876	249.930±23.765
Humedad		g/100 g	41.654±3.654	42.023±2.897
Materia Seca		g/100 g	58.346±3.654	57.977±2.897
Proteína		g/100 g	13.806±1.652	13.075±1.324
Grasa		g/100 g	0.869±0.097	1.003±0.067
Extracto nitrogenado	no	g/100 g	38.897±4.987	39.105±5.323
Fibra cruda		g/100 g	3.006±0.487	3.009±0.354
Ceniza		g/100 g	1.798±0.076	1.717±0.177
Calcio		mg/100 g	42.139±4.876	42.335±5.098
Hierro		mg/100 g	3.345±0.456	3.332±0.378
45 % de Humedad				
Energía		Kcal /100 g	233.304±32.565	232.687±35.674

Humedad		g/100 g	45.654±2.453	46.023±3.021
Materia Seca		g/100 g	54.346±2.453	53.977±3.021
Proteína		g/100 g	12.859±2.045	12.173±1.098
Grasa		g/100 g	0.810±0.073	0.934±0.104
Extracto nitrogenado	no	g/100 g	36.231±3.876	36.407±4.012
Fibra cruda		g/100 g	2.800±0.345	2.802±0.402
Ceniza		g/100 g	1.674±0.194	1.599±0.203
Calcio		mg/100 g	39.250±4.056	39.414±5.124
Hierro		mg/100 g	3.115±0.345	3.102±0.416
50 % de Humedad				
Energía		Kcal /100 g	210.409±31.453	205.218±29.875
Humedad		g/100 g	50.987±3.234	52.395±2.987
Materia Seca		g/100 g	49.013±3.234	47.605±2.987
Proteína		g/100 g	11.597±1.487	10.736±1.634
Grasa		g/100 g	0.730±0.081	0.824±0.104
Extracto nitrogenado	no	g/100 g	32.675±4.023	32.109±5.126
Fibra cruda		g/100 g	2.525±0.275	2.471±0.342
Ceniza		g/100 g	1.510±0.186	1.410±0.231
Calcio		mg/100 g	35.398±4.162	34.761±3.654
Hierro		mg/100 g	2.810±0.176	2.736±0.246

Conclusiones

Se determinó que la variación del contenido de humedad de las semillas de arveja afecta significativamente las propiedades físicas estudiadas (peso de mil semillas, densidad real, densidad aparente y porosidad), mientras, que en la propiedad esféricidad no se evidenciaron cambios significativos. El conocimiento de estas propiedades proporciona datos de ingeniería, para el diseño de equipos y procesos.

Se recomienda evaluar el efecto de diferentes niveles de rehidratación sobre las

propiedades físicas, durante la esterilización y enlatado de arveja.

Análisis del efecto de la variedad de arveja y el nivel de rehidratación durante la operación de enlatado.

Determinación de los parámetros de penetración de calor y tiempo del tratamiento térmico para el enlatado de arveja (*Pisum sativum* L.) de dos variedades en diferentes niveles de rehidratación

Resumen

Dentro de las alternativas agroindustriales, las arvejas en conserva se destacan, por ser uno de los productos más consumidos por la población. No obstante, para diseñar un proceso térmico (esterilización) es necesario encontrar las combinaciones de tiempo y temperatura adecuados, que permitan la repetitividad del proceso, asegurando la esterilidad comercial del producto. En este contexto se determinó los parámetros de penetración de calor y el tiempo del tratamiento térmico (esterilización) para el enlatado de arveja (*Pisum sativum* L.) de dos variedades San Isidro y Sureña en diferentes niveles de rehidratación, con un líquido de cobertura adicionado con calcio. Las semillas se rehidrataron hasta alcanzar: 35, 40, 45 y 50% de humedad empleando tiempos de rehidratación para San Isidro de 4.22, 5.81, 8.39 y 14.09 horas, mientras que para Sureña 3.05, 4.15, 5.84 y 9.05 horas. Para el tratamiento térmico se utilizó una autoclave vertical con vapor saturado. Los datos de tiempo y temperatura obtenidos, se analizaron mediante el método de Ball utilizando un F_0 de 3.0 min a una temperatura de referencia de 121.1 °C y un valor Z de 10 °C correspondiente a *Clostridium botulinum*. El punto frío se ubicó en el tercio inferior encontrándose valores de fh de entre 26 a 32 min para San Isidro y de entre 27 a 33 min para Sureña. Los

tiempos del tratamiento térmico calculados para los cuatro niveles de rehidratación 35, 40, 45 y 50% de humedad fueron: San Isidro (34.81, 33.95, 32.01 y 30.40 min), Sureña (34.96, 34.60, 33.42 y 31.75 min), respectivamente.

Palabras clave: *Pisum sativum*, San Isidro, Sureña, Ball, esterilización.

Introducción

Según Cerón et al., (2015) el departamento de Nariño se destaca en la producción de arveja (*Pisum sativum* L.) siendo actualmente el primer productor de Colombia. En dicho departamento en el año 2012 se realizó el lanzamiento de la variedad Sureña proveniente del cruce de Santa Isabel x San Isidro, dicha variedad resultó apta agrónomicamente para el departamento (Díaz et al., 2014). Sin embargo, poco se conoce sobre su aptitud en el procesamiento agroindustrial. Pantoja, Osorio, Mejía, & Váquiro, (2016) señalan que el consumo de esta leguminosa se da en estado fresco, deshidratado, enlatado, entre otras presentaciones que manifiestan su potencialidad en cuanto a industrialización. Mayer, Bertoluzzo, & Bertoluzzo, (2013) resaltan que arvejas secas remojadas enlatadas son uno de los productos más consumidos. La NTC 4434 (ICONTEC, 2009) las define como un producto que se elabora a partir de semillas secas, las cuales deben ser envasadas en un recipiente apto, con un medio de cobertura apropiado y sometido a esterilización para asegurar su conservación. Sin embargo, la esterilización no es un proceso selectivo (Alvarado et al., 2009) si el tratamiento es excesivo, el alimento pierde valor nutritivo y puede adquirir características sensoriales indeseables (Welti, Gómez, Vergara, & Marís, 2005) como aroma y sabor a quemado. siendo necesario, conocer los parámetros del tratamiento térmico como la dinámica de la zona de calentamiento más lenta dentro del

envase, la cual según Jimenez, Gonzales, Botello, & Navarrete, (2005) permite asegurar la esterilidad en la producción de alimentos enlatados. En este sentido, Awuah, Ramaswamy, & Economides, (2007) en su estudio “El proceso térmico y calidad: los principios y visión general” presentan los conceptos y ecuaciones para el calculo del tiempo de proceso termico, mencionados autores citan que el método de Ball ha sido ampliamente utilizado en la industria. Dicho metodo permite evaluar la Letalidad (F_0) de un tratamiento y la influencia sobre el proceso al modificar condiciones como la temperatura inicial en el interior del envase o la temperatura de proceso. Ball ideó un procedimiento basado en la curva de penetración de calor. Asi mismo, Gaviria & Mazuera, (2010) exponen las etapas y parámetros a dejar constantes durante el tratamiento térmico de arvejas enlatadas en salmuera.

En este sentido, el objetivo de esta investigación fue determinar los parámetros de penetración de calor y el tiempo del tratamiento térmico (esterilización) para el enlatado de arveja (*Pisum sativum* L.) de dos variedades San Isidro y Sureña en diferentes niveles de rehidratación, con un líquido de cobertura adicionado con calcio.

Materiales y métodos

Materia prima

Se utilizó 10 Kg de semillas de arveja (*Pisum sativum* L.) de la variedad San Isidro y Sureña, en estado seco con humedad entre 16 y 17 % (base húmeda). El material se inspeccionó de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 791 (ICONTEC, 2004) solo se utilizó semillas con diámetro promedio mayor a 6.35 mm.

Rehidratación

Se utilizó la metodología descrita por Cerón et al., (2015) mediante la cual se

empleó un secador de bandejas a una temperatura de 45 °C con velocidad de aire de 2 m/s durante 6 horas, hasta lograr una humedad del 14%. Posteriormente, se realizó la rehidratación de los materiales utilizando agua en relación semillas/agua 1:4 (p/v) por espacio de 4.22, 5.81, 8.39 y 14.09 horas para San Isidro y 3.05, 4.15, 5.84 y 9.05 horas para Sureña hasta alcanzar humedades de 35, 40, 45 y 50% según el modelo matemático expuesto y resuelto por Cerón, Osorio, & Garcés, (2016).

Formulación líquido de cobertura.

Se utilizó agua destilada a la cual se le adicionó una solución al 3 % NaCl y 3 % sacarosa más la adición de 400 mg de lactato de calcio (TruCal® D-7) con 24% de Ca. Según el Codex (CODEX, 1981) la cantidad máxima de calcio en el producto final debe ser 350 mg/kg. La adición de 400 mg significa un aporte de 96 mg de Ca por cada lata de 360 g, inferior a los límites del CODEX.

Tratamiento térmico

Se utilizó la metodología descrita por Garrote, Silva, & Roa, (2009) con algunas modificaciones. El material rehidratado fue seleccionado y escaldado a 100 °C por 1 minuto. Se utilizó latas de 65 x 102 mm las cuales fueron llenadas con 165 g de arveja y completadas con líquido de cobertura (temperatura del líquido 92- 95 °C) hasta obtener espacios de cabeza de 8 mm aproximadamente. Enseguida se llevó a cabo el exhausting por 0.5 minutos a 92-95 °C y se realizó el sellado hermético de las latas con una cerradora Julius M.J. Las latas se colocaron en un autoclave All American Epss modelo 75X. Las condiciones de operación del autoclave se manejaron conforme al protocolo de Gaviria & Mazuera, (2010) mediante el cual se realizó la etapa de venteo y esterilización. En esta última se subió la temperatura lo más rápido posible hasta alcanzar la requerida en el proceso. Posteriormente el producto fue enfriado en agua a

4 °C hasta alcanzar una temperatura promedio de 40 °C.

Determinación parámetros de penetración de calor y el tiempo del tratamiento térmico.

Se utilizó la metodología descrita por Awuah et al., (2007) mediante el uso del metodo de Ball (ecuación 1). La determinación del punto frio dentro de los envases se realizó ubicando termocuplas a tres niveles, tomando como referencia el centro de los envases para luego ubicarlas un tercio por encima y un tercio por debajo de este punto (Condori, Obregón, & Guevara, 2013). La toma de datos se realizó con un equipo EXTECH model SDL 200 el cual se programó para registrar la temperatura a intervalos de 10 segundos. El registro de datos comenzó cuando la temperatura de los envases alcanzo los 65 °C. Con los datos obtenidos, se graficaron las curvas de calentamiento y enfriamiento, a partir de las cuales se determinó los parámetros de la ecuación 1.

$$B = fh \left[\frac{J_h (T_r - T_i)}{g} \right] \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde: B. Tiempo del proceso (min); fh: velocidad de penetración de calor; Jh: Factor de retraso de calentamiento; Tr: temperatura autoclave; Ti: temperatura inicial del producto; g: diferencia temperatura autoclave y temperatura final producto.

Así mismo, según la clasificación Hersom & Hulland, (1985) las conservas de arveja (*Pisum sativum* L.) poseen un pH que oscila entre 5.6 a 6.5 clasificados como alimentos de baja acidez. En este sentido el diseño del proceso térmico se basó en la eliminación de esporas de *C. botulinum*, el cual representa el mayor riesgo para este tipo de alimentos. Fellows, (2000) expone que alimentos con riesgo de este microorganismo se someten a procesos de esterilización equivalentes a 12D; siendo los parámetros cinéticos del microorganismo: $D_{121.1} = 0.21$ min, $n = 12$, $F_{121.1} = 2.52$ min y Z

= 10 °C (Rodríguez et al., 2002).

Resultados y discusión

Determinación punto frío.

En la tabla 1 se presentan los resultados de la determinación del punto frío, para las dos variedades de arveja en cuatro niveles de rehidratación en base a los valores de fh. Los resultados concuerdan con los resultados obtenidos por Condori et al., (2013) quienes encontraron para habas verdes en salmuera el mayor valor de fh a un 1/3 del centro del envase. Según Díaz, Cerón, & Osorio, (2016) este resultado se debe a que las semillas de arveja por mayor densidad se acumulan en el tercio inferior del recipiente, ocasionando que esta sea la zona más lenta de calentamiento (figura 1). Jimenez et al., (2005) y Alvarado et al., (2009) reportan que bajo esta situaciones el mecanismo de transferencia de calor es la convección natural; la cual provoca que la zona de calentamiento más lenta migre hacia el fondo del envase durante el proceso térmico. Así mismo, Condori et al., (2013) reportan que cuando los valores del factor de retraso de enfriamiento (J_c) son cercanos a la unidad (tabla 10 y 11) la transferencia de calor es la convección.

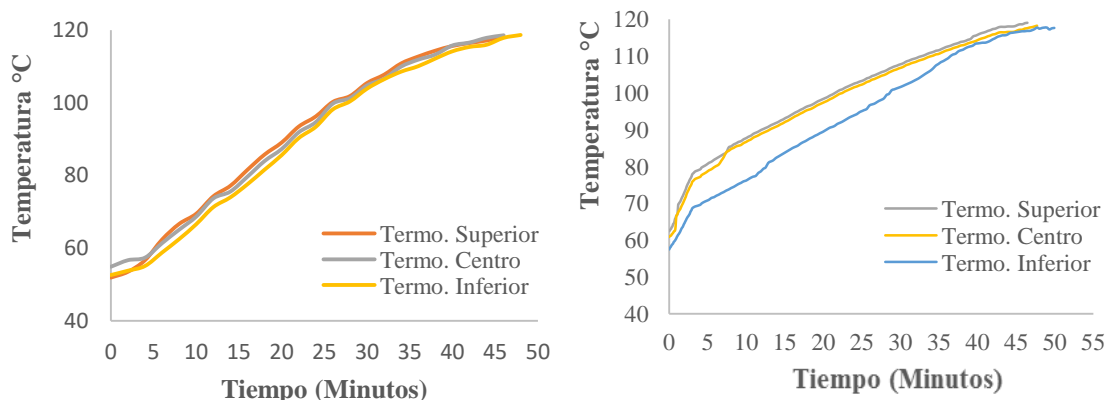
Tabla 10.

Valores de fh para la determinación del punto más frío.

Ubicación termocupla	San Isidro: fh (min)				Sureña: fh (min)			
	35%	40%	45%	50%	35%	40%	45%	50%
2/3 Centro (68 mm)	25.90	22.69	21.00	19.57	26.50	26.15	22.60	20.63
Centro geométrico (51 mm)	29.95	26.74	24.75	23.65	30.55	30.25	26.70	24.73
1/3 Centro (34 mm)	32.80	29.64	27.80	26.40	33.20	32.80	29.20	27.18

Así mismo, se observó que conforme aumentó el porcentaje de humedad de las semillas el valor de fh disminuyó una explicación del fenómeno sería que a menor contenido de humedad en las semillas, la densidad real y densidad aparente de los granos son mayores mientras que la porosidad del lecho formado por las semillas es menor (Cerón et al., 2015) dichas propiedades afectan los mecanismos de transferencia de calor (Jimenez et al., 2005). Por otra parte, los valores de fh de la variedad Sureña en los diferentes niveles de rehidratación 35%, 40%, 45% y 50% son mayores que la variedad San Isidro en 1.22%, 10.66%, 5.04% y 2.95%, respectivamente.

Figura 8. Monitoreo punto frío envase de hojalata arvejas al 35% de humedad A: San Isidro 35%, B: Sureña

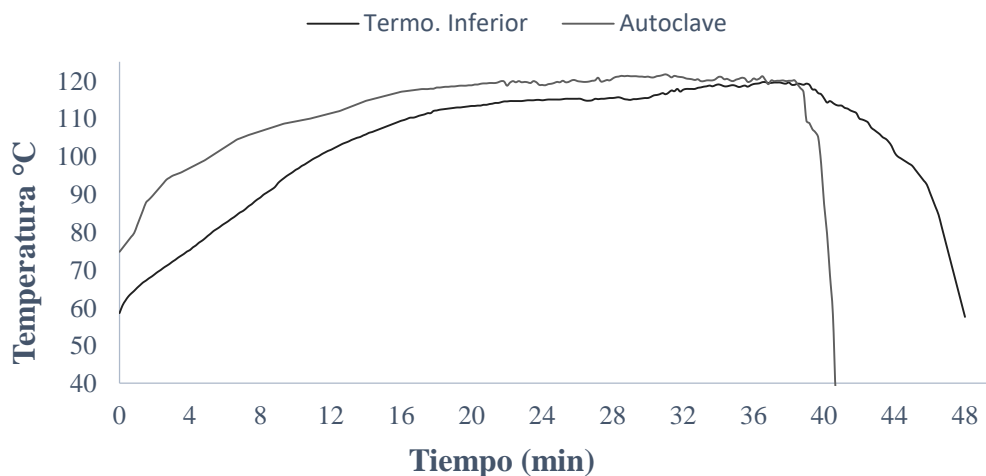


Determinación parámetros de penetración de calor y tiempo de proceso

La temperatura de proceso fue de 122 °C según los datos obtenidos en las pruebas de penetración de calor, encontrando que la diferencia entre el punto más frío y caliente del autoclave es de 2.5 °C, lo que garantiza que todos los puntos del equipo estén mínimo a 119.5 °C.

De otra parte, se evidenció un comportamiento atípico respecto del incremento de temperatura en la autoclave (figura 9). Este incremento fue lento en comparación con los autoclaves utilizadas en la industria de conservas. Dicho fenómeno prolongó el tiempo de permanencia del material vegetal hasta alcanzar la temperatura de referencia en aproximadamente 18 min, el doble del tiempo reportado por Gaviria & Mazuera, (2010) para arveja en salmuera y similar al reportado por (Diaz et al., 2016).

Figura 9. Perfil de temperaturas autoclave versus material vegetal.



En la tabla 11 y 12 se muestra los parámetros de penetración de calor para las dos variedades objeto de estudio en los cuatro niveles de rehidratación evidenciando que conforme aumento la humedad el tiempo del tratamiento térmico se reduce.

Tabla 11.

Parámetros de penetración de calor y tiempo del tratamiento térmico variedad San Isidro.

Descripción de variable	Variable	35%	40%	45%	50%
Tiempo muerte térmica a temperatura de referencia	Fo (min)	3.00	3.00	3.00	3.00
Velocidad de penetración de calor (Calentamiento)	fh (min)	32.80	29.64	27.80	26.40
Temperatura Pseudoinicial	T1-Ta	70.00	80.00	80.00	80.00
Diferencia temperatura autoclave y temperatura inicial producto	T1-To	60.00	70.00	70.00	70.00
Factor de retraso de calentamiento	$J_h = (T1-Ta)/(T1-To)$	1.03	1.28	1.24	1.14
Velocidad letal	$L = 10(Tb1-21.1)/z$	0.58	0.63	0.68	1.45

Tiempo de muerte térmica a temperatura de autoclave	$U = F_0/L$	5.21	4.75	4.44	4.34
	F_h/U	6.29	6.14	6.27	6.09
Factor de retraso de enfriamiento	$J_c = (T_{ba} - T_2)/(T_b - T_2)$	1.16	1.06	1.05	0.98
Diferencia de temperatura autoclave y temperatura final producto	g (tablas)	6.23	6.18	6.11	5.64
Tiempo de esterilización buscado	$B = f_h \text{Log} ((J_h (T_1 - T_0))/g)$	34.81	33.95	32.01	30.40

El fenómeno observado se puede explicar a través del mecanismo de transferencia de calor que se da en el envase. Según Welti et al., (2005) el calentamiento convectivo en ausencia de algún tipo de agitación se produce por el gradiente de temperaturas en el líquido ocasionando que en diferentes zonas, el líquido esté con mayor temperatura que en otras, lo que provoca el movimiento espontáneo y la agitación y mezcla del producto dentro del envase. Las semillas con menor contenido de humedad se aglomeran en el fondo del recipiente (menor porosidad del lecho, mayor densidad real, mayor densidad aparente) (Imagen 1) dificultando la agitación y mezcla del producto, pudiendo en esta zona favorecerse al comienzo de la operación la transferencia de calor por conducción. Jimenez et al., (2005) reportan que en alimentos que contienen agua, aceite, salsa, salmuera, entre otros componentes, como fluido intersticial, hace que se presenten mecanismos de convección-conducción.

Tabla 12.**Parámetros de penetración de calor y tiempo del tratamiento térmico Sureña.**

Descripción de variable	Variable	35%	40%	45%	50%
Tiempo muerte térmica a temperatura de referencia	Fo (min)	3.00	3.00	3.00	3.00
Velocidad de penetración de calor (Calentamiento)	fh (min)	33.20	32.80	29.20	27.18
Temperatura Pseudoinicial	T1-Ta	86.00	85.00	90.00	100.00
Diferencia temperatura autoclave y temperatura inicial producto	T1-To	60.00	65.00	70.00	65.00
Factor de retraso de calentamiento	$J_h = (T1-Ta)/(T1-To)$	1.22	1.24	1.34	1.48
Velocidad letal	$L = 10(Tb1-21.1)/z)$	1.70	1.45	1.48	1.45
Tiempo de muerte térmica a temperatura de autoclave	U = Fo/L	5.09	4.34	4.44	4.34
	Fh/U	6.52	7.56	6.73	6.27
Factor de retraso de enfriamiento	$J_c = (Tba-T2)/(Tb-T2)$	1.09	1.05	1.05	1.16
Diferencia temperatura autoclave y temperatura final producto	g (tablas)	6.47	7.12	6.67	6.55
Tiempo de esterilización buscado	$B = fh \text{ Log } ((J_h (T1-T0))/g)$	34.96	34.60	33.42	31.75

Imagen 3. Efecto de la humedad en propiedades físicas de semillas de arveja



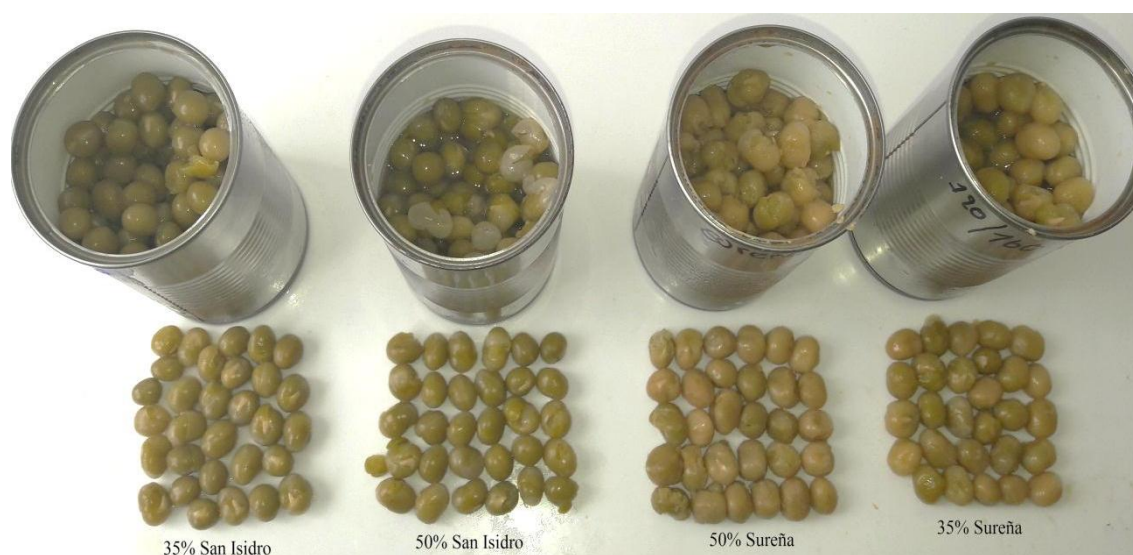
Así mismo, al comparar los tiempos de esterilización obtenidos en esta investigación frente al reportado por Gaviria & Mazuera, (2010) para semillas de arveja en conserva, a una temperatura de 119 °C el tiempo fue de 22.10 min inferior a los tiempos reportados en esta investigación. Una posible explicación sería que dichos investigadores trabajaron con material totalmente rehidratado lo cual aumento la porosidad del lecho formado mejorando la transferencia de calor por convección; así mismo, el autoclave utilizado en dicha investigación alcanzo con mayor facilidad la temperatura de operación.

Efecto del tratamiento térmico.

La rehidratación de las semillas de arveja se vio favorecida durante el tratamiento térmico, varios autores citados por Cerón et al., (2015) concuerdan que la temperatura favorece dicho fenómeno, por ello, las semillas de la variedad San Isidro alcanzaron una humedad de entre 71 y 75 %; mientras que las semillas de la variedad Sureña una humedad de entre 67 y 71%. Dicho aumento de humedad ocasionó incremento en el volumen de las semillas y consecuente colapso de los tejidos como se muestra en la imagen 4. Mayer et al., (2014) citan que los materiales utilizados no

deben tener tendencias a desarmarse. Contrario a lo observado en las dos variedades evaluadas en esta investigación, a pesar de utilizar un líquido de cobertura adicionado con calcio el cual según Paredes, Quiroz, Quispe, Reyes, & Zavaleta, (2012) citados por Cerón, Osorio, & Lizeth, (2016) los iones de calcio alteran algunas moléculas dentro del material vegetal, por lo que la estructura que se forma no deja pasar el agua y el material permanece duro.

Imagen 4. Efecto del tratamiento térmico sobre el material vegetal



Conclusiones

El punto de más lento calentamiento para las dos variedades de arveja enlatadas con un líquido de cobertura adicionado con calcio y rehidratadas en diferentes niveles se encontró a $1/3$ por debajo del centro geométrico de la base del envase de 65 x 102 mm.

Las variedades evaluadas presentaron tendencia a desarmarse transcurrido el

tratamiento térmico, lo cual no las hace viables para la industria de conservas. Siendo necesario la utilización de calcio para alterar algunas moléculas dentro del material vegetal, para que este permanezca duro.

Evaluación de propiedades físico-químicas del líquido de cobertura adicionado con calcio en arvejas (*Pisum sativum* L.) enlatadas a diferentes humedades.

Resumen

Uno de los productos más consumidos por la población han sido las arvejas secas remojadas, producto sometido a esterilización para asegurar su conservación. Así mismo, se requiere de la operación de rehidratación antes del tratamiento térmico para obtener un producto con características similares al producto fresco. No obstante, una vez se realiza el enlatado y esterilización la temperatura del proceso sigue favoreciendo la rehidratación. El líquido de cobertura ingresa en los tejidos del material vegetal ocasionando ruptura, liberando el contenido de las semillas y modificando las propiedades del líquido de cobertura. En este sentido se evaluó el efecto del tratamiento térmico (esterilización) sobre algunas propiedades físico-químicas del líquido de cobertura adicionado con calcio en arvejas (*Pisum sativum* L.) enlatadas a diferentes contenidos de humedad. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, mediante el cual se evaluó cuatro tratamientos según el nivel de rehidratación de las semillas de arveja: T1 (35% humedad), T2 (40% humedad), T3 (45% humedad), T4 (50% humedad). Las variables de respuesta: físico-químicas del líquido de cobertura (sólidos solubles, pH, densidad (g/mL), turbidez (NTU) y viscosidad (cp)). La adición del calcio lácteo al líquido de cobertura ocasionó disminución de pH de 8.0 a 6.80 y aumento en 372 veces la turbidez. Después del tratamiento térmico en la formulación de líquido de cobertura estándar, los sólidos solubles aumentaron 200 veces el valor inicial, el pH cayó de 8.0 a 5.98, la turbidez aumentó en un 25.71% y la viscosidad aumentó en 91.33%. Respecto de los tratamientos T1, T2, T3 y T4 conforme aumenta

el contenido de humedad de las semillas los sólidos solubles aumentaron 14.94% y la turbidez aumentó en 45.75 % entre T1 y T4.

Palabras clave: *Pisum sativum*, rehidratación, líquido de cobertura, esterilización.

Introducción

Según Mayer, Bertoluzzo, & Bertoluzzo, (2013) uno de los productos en conserva enlatada más consumido por la población son las arvejas secas remojadas; la NTC 4434 (ICONTEC, 2009) las define como un producto que se elabora a partir de semillas secas, las cuales deben ser envasadas en un recipiente apto, con un medio de cobertura apropiado y sometido a esterilización para asegurar su conservación. Sin embargo, durante el proceso es necesario rehidratar el material. Brousse, Nieto, Linares, & Vergara, (2012) mencionan que esta es una operación compleja, que pretende obtener productos con características similares a los productos frescos. No obstante, Cerón et al., (2015) resaltan la importancia de realizar estudios de enlatados y posterior esterilización debido a que la temperatura del proceso sigue favoreciendo la rehidratación. El líquido de cobertura ingresa en los tejidos del material ocasionando ruptura de los mismos liberando el contenido de las semillas y modificando las propiedades del líquido de cobertura. Ahora bien, en el estudio de Paredes, Quiroz, Quispe, Reyes, & Zavaleta, (2012) se resalta que los iones de calcio alteran algunas moléculas dentro del material vegetal, por lo que la estructura que se forma no deja pasar el agua y el material permanece duro. El ión calcio (Ca^{++}) forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Así mismo, mencionan que las aguas dulces suelen contener de 10 ppm a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm. El

objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tratamiento térmico (esterilización) sobre algunas propiedades físico-químicas del líquido de cobertura adicionado con calcio en arvejas (*Pisum sativum* L.) enlatadas a diferentes contenidos de humedad.

Materiales y métodos

Tratamiento material vegetal.

El tratamiento del material vegetal se realizó conforme se ha descrito anteriormente (rehidratación del material, determinación de humedad, formulación líquido de cobertura) metodologías de Cerón, Osorio, & Garcés, (2016) y Cerón, Osorio, & Lizeth, (2016)

Tratamiento térmico.

Se utilizó la metodología descrita por Garrote et al., (2009) con algunas modificaciones. El material rehidratado fue seleccionado y escaldado a 100 °C por 1 minuto. Se utilizó latas de 65 x 102 mm las cuales fueron llenadas con 165 g de arveja y completadas con líquido de cobertura (temperatura del líquido 92- 95 °C) hasta obtener espacios de cabeza de 8 mm aproximadamente. Enseguida se llevó a cabo el exhausting por 0.5 minutos a 92-95 °C y se realizó el sellado hermético de las latas con una cerradora Julius M.J., las latas se pasaron a un autoclave All American Epss modelo 75X donde se realizó la esterilización hasta obtener un producto comercialmente estéril. Posteriormente el producto fue enfriado en agua a 4 °C hasta alcanzar temperatura promedio de 20°C. Los tiempos de los tratamientos se calcularon con el método de Ball (Awuah et al., 2007) datos no mostrados.

Caracterización líquido de cobertura.

Se utilizó la metodología descrita por Mayer et al., (2013) con algunas modificaciones. Se agitó las latas para homogeneizar el líquido de cobertura. Una vez

abiertas las latas se volcó el contenido sobre un tamiz, y se mantuvo en reposo por diez minutos. Luego se homogenizó el líquido y se determinó sólidos solubles °Brix (Refractómetro Brixco modelo 3030); pH (pH-metro Tecpel 870); turbidez (Turbidímetro OAKTON T-100); viscosidad (Brookfield DV3T con aguja LV 61 para rangos de 500 cp velocidad del análisis 20 rpm); densidad (picnómetro de 25 mL).

Diseño experimental.

Se evaluó cuatro tratamientos donde el factor de estudio fue el nivel de rehidratación de las semillas de arveja: T1 (35% humedad), T2 (40% humedad), T3 (45% humedad) y T4 (50% humedad). Las variables de respuesta medidas al líquido de cobertura fueron: físico-químicas (sólidos solubles, pH, densidad (g/mL), turbidez (NTU) y viscosidad (cp)). El análisis de datos se realizó con el programa Statgraphics © Plus versión centurión XV.II, mediante análisis de varianza y prueba de comparación utilizando la LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Resultados y discusión

Características líquidos de cobertura antes del tratamiento térmico.

En la tabla 13 se muestra las características físico-químicas de dos líquidos de cobertura: líquido 1 (3% NaCl y 3% sacarosa) líquido 2 (3% NaCl, 3% sacarosa + calcio) los resultados sólo muestran diferencias significativas en el pH y la turbidez atribuidas a la adición de calcio lácteo.

Tabla 13.**Características físico-químicas líquido de cobertura sin tratamiento térmico.**

Característica	Sólidos solubles	pH	Densidad (g/mL)	Turbidez (NTU)	Viscosidad (cp)
Formulación 1	3.10±0.14 ^a	8.00±0.01 ^a	1.013±0.00 ^a	0.61±0.01 ^a	1.49±0.01 ^a
Formulación 2 con Ca	3.05±0.07 ^a	6.80±0.03 ^b	1.015±0.01 ^a	227.50±0.71 ^b	1.50±0.01 ^b

*Valores promedio n=5 ± Desviación estándar. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza

Características líquidos de cobertura después del tratamiento térmico.

En la tabla 14 se muestra la caracterización del líquido de cobertura formulación 1 de esta investigación después del tratamiento térmico frente a una marca comercial. Las semillas de arveja se rehidrataron hasta el equilibrio humedad > al 50 %. Al comparar el líquido de cobertura antes del tratamiento (tabla 1) versus después del tratamiento (tabla 2) se evidenció un aumento del 25.71% en los sólidos solubles y 91.33% en la viscosidad. Así mismo, se evidenció diferencias significativas (p-valor<0.05) entre algunas características físico-químicas del líquido comercial y el líquido de esta investigación (tabla 2).

Tabla 14.***Características físico-químicas del líquido de cobertura con tratamiento térmico.***

Característica	Sólidos solubles	pH	Densidad (g/mL)	Turbidez (NTU)	Viscosidad (cp)
Marca comercial (Zenú)	10.15±0.07 ^a	6.02±0.01 ^a	1.05±0.01 ^a	272.50±5.54 ^a	2.65±0.07 ^a
Formulación 1	9.52±0.07 ^b	5.98±0.03 ^a	1.03±0.01 ^a	286.00±7.07 ^b	2.87±0.21 ^b

*Valores promedio n=5 ± Desviación estándar. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza

Características líquidos de cobertura tratamientos.

En la tabla 15 se muestra las características del líquido de cobertura en función del nivel de rehidratación de las semillas después del tratamiento térmico (esterilización). Los sólidos solubles aumentaron en un 14.94 % y la turbidez aumentó en un 45.75 % entre T1 y T4. Las otras variables de estudio no tuvieron cambios significativos (tabla 3). Al comparar los resultados de sólidos solubles de la tabla 2 con los resultados del tratamiento T4 (tabla 3) se evidenció una reducción del 0.63% mientras que con el tratamiento T1 13.55%

Tabla 15.

Características físico-químicas de los líquidos de cobertura después del tratamiento térmico (líquidos fortificados).

Tratamiento	Sólidos solubles	pH	Densidad (g/mL)	Turbidez (NTU)	Viscosidad (cp)
T1:35% humedad	8.23±0.07 ^a	6.01±0.01 ^a	1.03±0.00 ^a	347.50±47.37 ^a	2.88±0.03 ^a
T2:40% humedad	8.62±0.21 ^b	6.00±0.01 ^a	1.04±0.00 ^a	414.00±19.79 ^b	2.87±0.02 ^a
T3:45% humedad	9.21±0.14 ^c	6.00±0.00 ^a	1.04±0.00 ^a	462.50±12.02 ^c	2.90±0.30 ^a
T4:50% humedad	9.46±0.07 ^c	6.01±0.00 ^a	1.03±0.00 ^a	506.50±27.57 ^d	2.92±0.09 ^a

*Valores promedio n=5h ± Desviación estándar. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza

Las diferencias observadas entre el líquido de cobertura de la marca comercial versus los observados en esta investigación, se explican a través de las diferentes formulaciones que se pueden emplear en el líquido de cobertura; desconociendo la formulación inicial de la marca comercial y conociendo que el líquido de cobertura puede contener edulcorantes nutritivos como (azúcar blanco, dextrosa, azúcar invertido o sus mezclas) y cloruro de sodio en cantidades tecnológicamente adecuadas (Mayer, Bertoluzzo, & Bertoluzzo, 2013). Así mismo, las diferencias se pueden explicar a través del material vegetal empleado. La variedad San Isidro durante la experimentación (tratamiento térmico) sufrió colapso de los tejidos. Liberando el contenido de las semillas hacia el líquido de cobertura. Mayer et al., (2013) citan que los materiales utilizados no deben tener tendencias a desarmarse. Efecto observado en el aumento de la turbidez del líquido de esta investigación frente a la marca comercial.

Ahora bien, los resultados obtenidos de densidad de todos los tratamientos de esta investigación difieren de los presentados por Mayer et al., (2013) quienes

evaluaron 19 marcas comerciales de la industria argentina encontrando valores de densidad de entre 0.828 y 0.873 g/mL, mientras que los resultados de viscosidad se encuentran dentro del rango reportado por dichos autores 1.1 a 3.8 cp.

El efecto observado de menor concentración de sólidos solubles en los tratamientos con menor contenido de humedad, se atribuyen a la adición del calcio. Según Paredes et al., (2012) este forma moléculas dentro del material vegetal. Lo cual inhibiría considerablemente la velocidad de rehidratación y la rehidratación completa, logrando evitar en la mayoría de las semillas el colapso de los tejidos, manteniendo al material vegetal duro. Así mismo, estas moléculas dentro del material vegetal reducen la extracción o lixiviación de los sólidos solubles en la dirección opuesta al movimiento del agua. Explicando la reducción de los sólidos solubles en los tratamientos con calcio frente a la formulación 1.

Conclusiones

La adición de calcio ocasionó cambios en las propiedades físico-químicas del líquido de cobertura debido a inhibición parcial de la rehidratación completa del material vegetal, evitando en gran medida el colapso de los tejidos (liberación del contenido de las semillas al líquido de cobertura).

Efecto de la variedad y el nivel de rehidratación sobre algunas propiedades de calidad durante el tratamiento térmico de arveja en conserva

Resumen

Varios autores mencionan que el principal requisito que debe cumplir un alimento en conserva es que sea inocuo para los consumidores. No obstante, algunas propiedades como la textura, el color, el sabor y componentes nutritivos, son los más afectados durante el tratamiento térmico. En este contexto se determinó el efecto de la variedad y el nivel de rehidratación sobre algunas propiedades de calidad (física, sensorial y nutricional) durante el tratamiento térmico de arveja en conserva de dos variedades San Isidro y Sureña enlatada con un líquido de cobertura adicionado con calcio. Las semillas se rehidrataron hasta alcanzar: 35, 40, 45 y 50% de humedad empleando tiempos de rehidratación para San Isidro de 4.22, 5.81, 8.39 y 14.09 horas y Sureña 3.05, 4.15, 5.84 y 9.05 horas. Para el tratamiento térmico se utilizó una autoclave vertical con vapor saturado. Se utilizó un F_0 de 3.0 min a una temperatura de referencia de 121.1 °C y un valor Z de 10 °C correspondiente a *Clostridium botulinum*. Utilizando el método de Ball se determinaron los tiempos del tratamiento térmico para los cuatro niveles de rehidratación: San Isidro (34.81, 33.95, 32.01 y 30.40 min) y Sureña (34.96, 34.60, 33.42 y 31.75 min). Se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados (p -Valor < 0.05). Tratamientos con menor contenido de humedad en las semillas antes del tratamiento térmico retienen mejor el color, así mismo se evidenció efectos de la adición de calcio en el líquido de cobertura, tratamientos con menor contenido de humedad incorporaron calcio en sus tejidos ocasionando aumento en la firmeza, aumento en el contenido de calcio y disminución

en la rehidratación del material durante el tratamiento térmico. Se concluye que la variedad San Isidro con un nivel de rehidratación del 35% presenta la mejor aceptación por parte de los consumidores.

Palabras clave: *Pisum sativum*, San Isidro, Sureña, propiedades.

Introducción

Según Gaviria & Mazuera, (2010) en Colombia, las industrias de conservas suelen diseñar y ejecutar cada uno de sus procesos térmicos con base en referencias bibliográficas o en aplicaciones de otras industrias. Condori, Obregón, & Guevara, (2013) señalan que el excesivo calentamiento de los alimentos produce considerables pérdidas de nutrientes y de calidad sensorial (textura, color, sabor, etc.), debido a que la esterilización no es un proceso selectivo (Alvarado et al., 2009).

En este sentido, Cerón et al., (2015) resaltan la importancia de realizar estudios de enlatados y posterior esterilización en arveja (*Pisum sativum* L.) debido a que según Mayer, Bertoluzzo, & Bertoluzzo, (2013) las arvejas secas remojadas enlatadas son uno de los productos más consumidos por la población. No obstante, la temperatura del proceso favorece la rehidratación del material vegetal (Cerón et al., 2015) ocasionando que el líquido de cobertura ingrese en los tejidos del material, provocando la ruptura de los mismos liberando el contenido de las semillas, como lo evidenció Díaz, Cerón, & Osorio, (2016) para las variedades Sureña y Alcalá, obteniendo un producto poco agradable al consumidor. Ahora bien, en el estudio realizado por Cerón, Osorio, & Lizeth, (2016) se resalta la utilización de un líquido de cobertura adicionado con calcio. Paredes, Quiroz, Quispe, Reyes, & Zavaleta, (2012) resaltan que los iones de calcio alteran algunas moléculas dentro del material vegetal, por lo que la estructura que se

forma no deja pasar el agua y el material permanece duro. El ión calcio (Ca^{++}) forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Así mismo, mencionan que las aguas dulces suelen contener de 10 ppm a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm.

En este contexto, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la variedad y el nivel de rehidratación sobre algunas propiedades de calidad (física, sensorial y nutricional) durante el tratamiento térmico de arveja en conserva dos variedades San Isidro y Sureña enlatada con un líquido de cobertura adicionado con calcio.

Materiales y métodos

Tratamiento material vegetal.

El tratamiento del material vegetal se realizó conforme se ha descrito anteriormente (rehidratación del material, determinación de humedad, formulación líquido de cobertura) metodologías de Cerón, Osorio, & Garcés, (2016) y Cerón, Osorio, & Lizeth, (2016)

Tratamiento térmico.

Se utilizó la metodología descrita por Garrote, Silva, & Roa, (2009) con algunas modificaciones. El material rehidratado fue seleccionado y escaldado a 100 °C por 1 minuto. Se utilizó latas de 65 x 102 mm las cuales fueron llenadas con 165 g de arveja y completadas con líquido de cobertura (temperatura del líquido 92- 95 °C) hasta obtener espacios de cabeza de 8 mm aproximadamente. Enseguida se llevó a cabo el exhausting por 0.5 minutos a 92-95 °C y se realizó el sellado hermético de las latas con una cerradora Julius M.J. Las latas se colocaron en un autoclave All American Epss

modelo 75X. Las condiciones de operación del autoclave se manejaron conforme al protocolo de Gaviria & Mazuera, (2010) mediante el cual se realizó la etapa de venteo y esterilización. Posteriormente el producto fue enfriado en agua a 4 °C hasta alcanzar una temperatura promedio de 40 °C.

Bajo el método de Ball (datos no mostrados) se determinaron los tiempos necesarios para el tratamiento para los cuatro niveles de rehidratación: San Isidro (34.81, 33.95, 32.01 y 30.40 min) y Sureña (34.96, 34.60, 33.42 y 31.75 min)

Diseño experimental enlatado (Tratamiento térmico)

Los factores de estudio a evaluar fueron: la variedad de arveja y el nivel de rehidratación (porcentaje de humedad antes de realizar el proceso térmico), manteniendo constante la formulación del líquido de cobertura adicionado con calcio. Se utilizó un diseño completamente al azar el cual se llevó a cabo por triplicado para un total de veinte y cuatro corridas experimentales. Para evaluar el efecto de los tratamientos: T1: Sureña al 35%; T2: Sureña al 40%; T3: Sureña al 45%; T4: Sureña al 50%; T5: San Isidro al 35%; T6: San Isidro al 40%; T7: San Isidro al 45%; T8: San Isidro al 50%, sobre las variables de respuesta físicas (color y firmeza), sensoriales (grado de aceptación), nutricionales (proteína, grasa, fibra, carbohidratos, hierro y calcio). La unidad experimental correspondió al envase de hojalata del cual se sacó muestras de arveja en tres puntos (un tercio por encima y por debajo de la medida del centro del envase), los resultados obtenidos se compararon con tratamientos con líquido de cobertura sin adición de calcio: T9: San Isidro sin calcio; T10: Sureña sin calcio y un testigo comercial: T11: Marca comercial.

Determinación de características físicas

Para el análisis de firmeza se utilizó la metodología descrita por Zapata et al., (2010) utilizando un texturometro LLOYD LS1, y como accesorio una punta cilíndrica de 2mm, usando una celda de carga de 250 N. Los parámetros del ensayo fueron los que se señalan a continuación: Modo: medida de fuerza en compresión, opción: retorno al inicio, velocidad de Pre-Test: 1.0 mm/s, velocidad de Test: 1.0 mm/s, velocidad de Post-Test: 10.0 mm/s, distancia: 50%.

Respecto del parámetro color se evaluó mediante el índice de color, con ayuda de un colorímetro CM5 Konica Minolta, teniendo como parámetros un iluminante D65 y un observador de 10°, obtenido por la ecuación 9. Así mismo, se utilizó una caja petri de diámetro 4 cm referencia 1870-712 marca Konica Minolta la cual se llenó con 20 gramos de arveja que es la capacidad de la caja Petri.

$$IC = \frac{1000 * a}{L * b} \quad (9)$$

Donde L^* , a^* , y b^* son los parámetros del sistema color CIELAB. El parámetro L proporciona un valor de la Luminancia o brillo de la muestra. El parámetro a indica la zona de variación entre el rojo y el verde del espectro. El parámetro b se refiere a la zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro (García *et al.*, 2011).

Evaluaciones sensoriales y análisis proximal

La prueba sensorial de preferencia se realizó con 50 personas no entrenadas, quienes tuvieron a disposición los diferentes tratamientos. Los resultados de preferencia fueron evaluados por el método escala hedónica propuesta por Anzaldúa,

(1994) donde se calificó la característica aceptabilidad según la escala: me gusta = 5, me es indiferente = 3, me disgusta = 1.

Así mismo, se realizó el análisis proximal según el método de análisis de alimentos propuesto por Bernal, (1998) determinando: energía, humedad, materia seca, ceniza, extracto etéreo, fibra cruda, proteína, extracto no nitrogenado, calcio, hierro.

Análisis estadístico

Todos los resultados se expresaron como media más o menos la desviación estándar. Así mismo, se efectuó el análisis de varianza y prueba de comparación mediante la mínima diferencia significativa (LSD) de Fisher a un 5 % de nivel de significancia mediante el programa Statgraphics centurión © Plus versión XV.II.

Resultados y discusión

En la tabla 16 se muestra los resultados de las características físicas evaluadas, según el análisis de varianza existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$); conforme aumento el nivel de rehidratación disminuyó la retención de color debido al aumento de los IC hacia valores positivos. Vignoni et al., (2006) mencionan que valores de IC de entre +2 a +20 se relacionan con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso, siendo esta zona la ubicación de los valores encontrados en esta investigación. Al comparar los resultados de la variedad Sureña se evidenció diferencias entre los tratamientos T1, T4 y T10 (testigo sin adición de calcio), siendo la retención de color de T1 un 12.79% mejor respecto de T4 y un 32.79% respecto de T10. Así mismo, al comparar los resultados de la variedad San Isidro se evidenció diferencias entre el tratamiento T5 con los tratamientos T8 y T9 (testigo sin adición de calcio); la retención de color de T5 fue mejor en un 25.79%

respecto de T8 y un 34.04% respecto de T9. No obstante, el resultado del testigo comercial fue inferior al de los tratamientos ubicándose en la zona de entre -2 a +2, la cual representa el amarillo verdoso (Vignoni et al., 2006). Ahora bien, el IC de la variedad Sureña fue mayor que el de la variedad San Isidro, dicho fenómeno se explica por la genealogía de la variedad Sureña procedente del cruce de San Isidro (semilla verde) x Santa Isabel (semilla crema) (Imagen 5).

Tabla 16.

Resultados características físicas (color y firmeza) arveja procesada bajo diferentes condiciones.

Tratamiento	Color				Firmeza (N)
	L	a	b	IC	
T1	46.95±1.62 ^{cd}	5.74±0.24 ^c	32.05±2.73 ^b	3.34±0.81 ^{bc}	1.42±0.22 ^e
T2	45.52±2.05 ^{bcd}	5.10±0.77 ^{bc}	31.83±3.24 ^b	3.56±0.74 ^{bcd}	1.26±0.13 ^{cde}
T3	46.78±0.51 ^{cd}	5.83±0.48 ^c	36.69±0.95 ^c	3.40±0.26 ^{bcd}	1.10±0.15 ^{abcd}
T4	48.32±4.90 ^{de}	5.78±0.43 ^c	36.69±2.84 ^c	3.83±0.18 ^{cd}	0.97±0.15 ^{ab}
T5	50.98±2.45 ^e	4.32±0.29 ^b	30.35±1.85 ^{ab}	2.79±0.23 ^b	1.33±0.17 ^{de}
T6	46.85±1.59 ^{cd}	4.50±1.03 ^b	30.83±3.96 ^{ab}	3.12±0.89 ^{bc}	1.18±0.12 ^{bcde}
T7	48.61±1.96 ^{de}	5.67±0.18 ^c	31.05±1.73 ^{ab}	3.01±0.47 ^{bc}	1.04±0.14 ^{abc}
T8	48.45±1.30 ^{de}	4.96±0.89 ^{bc}	34.02±2.15 ^{bc}	3.76±0.21 ^{cd}	0.93±0.16 ^{ab}
T9	42.33±0.83 ^{ab}	4.96±0.47 ^{bc}	27.78±1.44 ^a	4.23±0.51 ^{de}	0.91±0.15 ^{ab}
T10	40.79±2.13 ^a	5.63±0.50 ^c	27.78±1.44 ^a	4.97±0.39 ^e	0.89±0.14 ^a
T11	44.08±0.11 ^{abc}	3.08±0.03 ^a	37.33±1.26 ^c	1.87±0.04 ^a	1.38±0.23 ^e

T1: Sureña al 35%; T2: Sureña al 40%; T3: Sureña al 45%; T4: Sureña al 50%; T5: San Isidro al 35%; T6: San Isidro al 40%; T7: San Isidro al 45%; T8: San Isidro al 50%; T9: San Isidro sin calcio; T10: Sureña sin calcio; T11: Marca comercial. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza

Respecto de la firmeza, tratamientos con menor contenido de humedad antes del tratamiento térmico presentaron mayor firmeza (imagen 1), debido a que según Cerón et al., (2015) la temperatura del tratamiento térmico sigue favoreciendo la

rehidratación de las semillas, semillas con 35% de humedad, incorporaron dentro de su tejido calcio disponible del líquido de cobertura, el cual según algunos autores citados por Cerón, Osorio, & Lizeth, (2016) los iones de calcio alteran algunas moléculas dentro del material vegetal, por lo que la estructura que se forma no deja pasar el agua y el material permanece duro después de calentar, congelar o almacenar (García, Morales, & Sánchez, 2011).

Imagen 5. Efecto de la variedad y nivel de rehidratación durante el tratamiento térmico.



Evaluación sensorial

En la tabla 17 se muestra los resultados de la evaluación sensorial en función del porcentaje de aceptación. Se evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$) (imagen 1). La preferencia o mejor puntaje lo obtuvo el tratamiento T11 marca comercial. Así mismo, los resultados mostraron que los tratamientos con menor contenido de humedad antes del tratamiento térmico obtuvieron mejores puntajes que el resto de tratamientos. En el mismo sentido, se evidenció una correlación de pérdida de aceptación conforme se incrementó el

porcentaje de humedad antes del tratamiento. Tratamientos sin adición de calcio en el líquido de cobertura obtuvieron menor porcentaje de aceptación por debajo del 50%, debido a la tendencia a desarmarse durante el tratamiento térmico (Díaz et al., 2016).

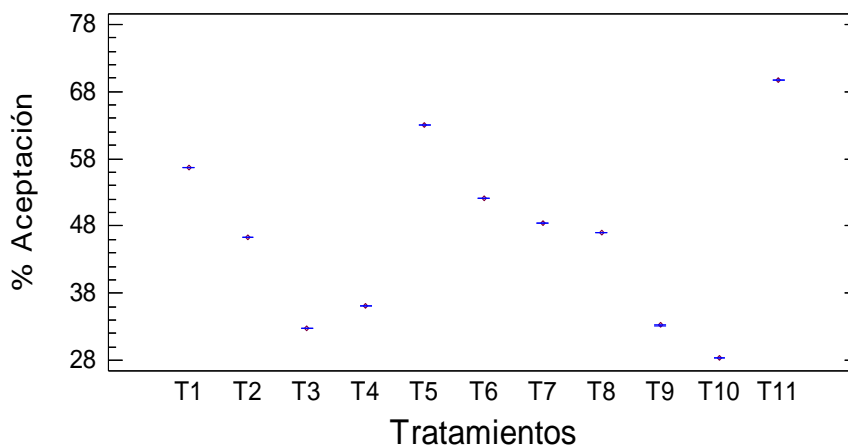
Tabla 17.

Resultados evaluación sensorial

Aceptación (%)	Tratamiento										
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Me gusta	51.65	46.32	32.74	36.11	63.00	52.18	48.46	47.00	33.23	28.42	69.72
Indiferente	33.00	32.60	42.30	29.60	33.33	26.00	24.00	18.19	16.00	19.00	28.00
No me gusta	15.35	21.08	24.96	34.29	3.67	21.82	27.54	34.81	50.77	52.58	2.28

T1: Sureña al 35%; T2: Sureña al 40%; T3: Sureña al 45%; T4: Sureña al 50%; T5: San Isidro al 35%; T6: San Isidro al 40%; T7: San Isidro al 45%; T8: San Isidro al 50%; T9: San Isidro sin calcio; T10: Sureña sin calcio; T11: Marca comercial. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza

Imagen 6. Diagrama de media e intervalos al 95 % de la LSD de Fisher para la variable porcentaje de aceptación.



Así mismo, el color crema de la variedad Sureña transcurrido el tratamiento la hace poca atractiva al consumidor, siendo la variedad San Isidro más acorde para el

proceso, en la imagen 7 se muestra la variedad San Isidro bajo las diferentes condiciones de estudio.

Imagen 7. Variedad San Isidro en conserva enlatada bajo diferentes niveles de humedad.



Análisis proximal

En la tabla 18 se muestra la composición química de la arveja después del tratamiento térmico, evidenciando que la rehidratación continua favoreciéndose con la temperatura siendo la humedad final de las semillas superior al 66% base húmeda, resultados similares reporto Diaz et al., (2016) afirmando que en la rehidratación de las semillas alcanzan humedades de entre el 56 a 58% y posterior al tratamiento térmico la humedad se incrementa en un 22.2% respecto de este valor. Así mismo, se evidenció diferencias estadísticamente significativas en las diferentes características evaluadas, tratamientos con menor contenido de humedad antes del tratamiento térmico alcanzaron menor humedad al finalizar el tratamiento térmico, dicha variación de la

humedad es la causante de los cambios percibidos en las características evaluadas (ceniza, proteína, fibra, etc). No obstante, investigadores como Wang, Hatcher, & Gawalko, (2008) mencionan que la variedad también presenta efecto significativo. De otra parte, se evidenció un aumento en el contenido de calcio, producto de la fortificación del líquido de cobertura.

Tabla 18.

Composición química arveja por cada 100 gramos de porción comestible, en diferentes condiciones.

Tratamiento	Humedad (%)	Ceniza (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra cruda (%)	Proteína (%)
T1	67.30±2.85 ^{ab}	1.53±0.14 ^a	0.57±0.06 ^d	1.78±0.14 ^{ef}	7.40±1.03 ^{cd}
T2	70.10±2.77 ^{abc} _d	1.46±0.11 ^a	0.43±0.04 ^c	1.53±0.16 ^{cde}	6.73±1.12 ^{bc}
T3	68.80±1.89 ^{abc}	1.49±0.16 ^a	0.52±0.06 ^d	1.45±0.17 ^{cd}	7.31±1.19 ^{cd}
T4	72.30±2.06 ^{cde} _f	1.46±0.14 ^a	0.38±0.04 ^b _c	1.11±0.16 ^{ab}	6.24±1.13 ^{abc}
T5	71.20±2.34 ^{bcd} _e	1.44±0.17 ^a	0.41±0.03 ^c	1.70±0.16 ^{de}	6.27±0.80 ^{abc}
T6	73.40±1.67 ^{def} _g	1.50±0.16 ^a	0.32±0.02 ^a _b	1.34±0.13 ^{bc}	5.95±0.76 ^{ab}
T7	72.20±2.59 ^{cde} _f	1.44±0.11 ^a	0.41±0.03 ^c	1.70±0.18 ^{de}	6.27±0.26 ^{abc}
T8	75.60±2.01 ^{fg}	1.47±0.21 ^a	0.31±0.04 ^a	1.07±0.15 ^a	5.48±0.18 ^{ab}
T9	76.45±3.02 ^g	1.36±0.16 ^a	0.29±0.02 ^a	1.10±0.18 ^{ab}	5.52±0.20 ^{ab}
T10	74.67±2.46 ^{efg}	1.45±0.18 ^a	0.31±0.03 ^a	1.13±0.12 ^{ab}	5.36±0.23 ^a
T11	66.92±2.56 ^a	1.51±0.13 ^a	0.54±0.02 ^d	2.03±0.09 ^f	8.34±0.18 ^d
Tratamiento	Extracto no nitrogenado (%)	Energía (Kcal)	Calcio (mg/100g)	Hierro (mg/100g)	
T1	21.72±1.09 ^f	125±13.05 ^b	48.40±2.34 ^{de}	1.69±0.18 ^c	
T2	19.80±1.03 ^{de}	118±12.36 ^b	51.70±1.78 ^e	1.71±0.13 ^c	
T3	20.50±1.03 ^{def}	121±11.23 ^b	42.50±1.67 ^c	1.32±0.16 ^{ab}	
T4	18.70±1.11 ^{bcd}	112±13.57 ^{ab}	38.40±1.36 ^b	1.47±0.12 ^{bc}	
T5	19.00±1.13 ^{cd}	117±15.78 ^b	56.70±3.34 ^f	1.12±0.17 ^a	
T6	17.50±1.20 ^{abc}	108±13.22 ^{ab}	36.40±2.38 ^b	1.17±0.14 ^a	
T7	19.00±1.11 ^{cd}	117±12.42 ^b	56.70±1.11 ^f	1.12±0.19 ^a	
T8	16.10±1.08 ^a	93.90±9.87 ^a	46.90±1.09 ^d	1.10±0.12 ^a	
T9	17.02±1.11 ^{ab}	95.23±10.56 ^a	28.43±3.16 ^a	1.09±0.11 ^a	
T10	16.78±1.13 ^a	94.67±11.23 ^a	30.26±2.64 ^a	1.11±0.13 ^a	
T11	21.18±1.10 ^{ef}	118±9.89 ^b	29.45±3.02 ^a	1.29±0.15 ^{ab}	

T1: Sureña al 35%; T2: Sureña al 40%; T3: Sureña al 45%; T4: Sureña al 50%; T5: San Isidro al 35%; T6: San Isidro al 40%; T7: San Isidro al 45%; T8: San Isidro al 50%; T9: San Isidro sin calcio; T10: Sureña sin calcio; T11: Marca comercial. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Al comparar los tratamientos T1 y T10 (variedad sureña con y sin calcio) se evidenció aumento en el contenido de calcio en T1 en un 57.34% respecto de T10; mientras que para la variedad San Isidro: T5 y T9 (con y sin calcio) el contenido en T5 aumento en un 70,24% respecto de T9.

García, Morales, & Sánchez, (2011) mencionan que actualmente se ha incrementado el interés por consumir alimentos que nutran y además mejoren las condiciones de salud; entre los cuales se encuentra los alimentos adicionados con calcio, ya que varios estudios coinciden en afirmar que su consumo mejora la salud de los huesos (Duque, 2014). Siendo necesario, el desarrollo de alimentos, que hagan parte de la rutina de alimentación (García et al., 2011). Sin embargo, Titchenal y Dobbs (2007) mencionan que para considerar un alimento como buena fuente de calcio debe proporcionar al menos 30 mg de calcio absorbible por una porción estándar. García et al., (2011) en su estudio reporta que la fracción absorbible del calcio lácteo es del 34 %; así mismo, en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social-Colombia, se menciona que el alimento debe aportar el 10 % del valor de referencia para ser considerado buena fuente. Por lo cual no se podría considerar al producto de esta investigación como fuente de calcio.

Respecto de los compuestos anti-nutricionales de las semillas de arveja (fitatos) que inhiben la absorción de calcio, Wang, Hatcher, & Gawalko, (2008) reportan que el remojo y la cocción reducen el contenido de ácido fítico.

Conclusiones

La variedad San Isidro con un nivel de rehidratación del 35% presenta la mejor aceptación por parte de los consumidores.

La adición de calcio en el líquido de cobertura permitió incrementar la firmeza de las semillas, evitando el colapso de los tejidos durante el tratamiento térmico.

Evaluación variación de características físicas y nutricionales del producto a través del tiempo.

Evaluación de la variación de las características físicas y nutricionales de arveja en conserva con líquido de cobertura adicionado con calcio a través del tiempo.

Resumen

El principal requisito que debe cumplir un alimento en conserva es que sea inocuo para los consumidores. No obstante, algunas propiedades como la textura, el color y componentes nutritivos, son afectadas durante el tratamiento térmico y posteriormente en la etapa de almacenamiento debido a largos periodos de tiempo que estos pueden ser acopiados. En este contexto se evaluó la variación de las características físicas y nutricionales de arveja en conserva con líquido de cobertura adicionado con calcio a través del tiempo. Se utilizó un diseño completamente al azar mediante el cual se compararon tres periodos de almacenamiento (0, 30 y 60 días). Se determinó valores de índice de color y firmeza para los días de evaluación de: IC (2.79, 3.34 y 3.49) y firmeza (1.33, 1.35 y 1.31 N). No obstante, no se encontró diferencias significativas entre los valores mostrados (p -valor >0.05). Respecto de las características nutricionales evaluadas no se encontró diferencias significativas (p -valor >0.05) durante el periodo de evaluación 60 días. Se concluye que durante el almacenamiento la rehidratación de las semillas se inhibe por la adición de calcio en el líquido de cobertura.

Palabras clave: *Pisum sativum*, San Isidro, Sureña, propiedades.

Introducción

Gaviria & Mazuera, (2010) mencionan que los enlatados vegetales han cobrado gran presencia en la canasta familiar debido a que ofrecen ventajas como: practicidad, conservación durante largos periodos de tiempo, facilidad de preparación y, además, nutrición y seguridad. No obstante, Carrillo & Reyes (2007) reportan que los alimentos después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, presentaran pérdida de sus propiedades sensoriales, fisicoquímicas y microbiológicas, así mismo, se reporta cambio en el contenido de compuestos bioactivos como carotenoides (Jacobo-velázquez, Castellanos-dohnal, & Hernández-brenes, 2013).

Actualmente existen investigaciones como la de Machado-Velasco & Vélez-Ruiz, (2008) quienes estudiaron las propiedades físicas de alimentos mexicanos durante el almacenamiento. Zapata, Sepulveda, & Rojano, (2015) estudiaron el efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas, probióticas y antioxidantes de yogurt saborizado con mortiño.

En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar las características físicas y nutricionales de arveja en conserva con líquido de cobertura adicionado con calcio a través del tiempo.

Materiales y métodos

Materia prima

Se utilizó semillas de arveja (*Pisum sativum* L.) de la variedad San Isidro, en estado seco con humedad entre 16 y 17 % (base húmeda). El material se inspeccionó de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 791 (ICONTEC, 2004) solo se utilizó semillas con diámetro promedio mayor a 6.35 mm.

Rehidratación

Se utilizó la metodología descrita por Cerón et al., (2015) mediante la cual se empleó un secador de bandejas a una temperatura de 45 °C con velocidad de aire de 2 m/s durante 6 horas, hasta lograr una humedad del 14%. Posteriormente, se realizó la rehidratación del material utilizando agua en relación semillas/agua 1:4 (p/v) por espacio de 4.22 para alcanzar humedad del 35 % según el modelo matemático expuesto y resuelto por Cerón, Osorio, & Garcés, (2016).

Formulación líquido de cobertura.

Se utilizó agua destilada a la cual se le adicionó una solución al 3 % NaCl y 3 % sacarosa más la adición de 400 mg de lactato de calcio (TruCal® D-7) con 24% de Ca. Según el Codex (CODEX, 1981) la cantidad máxima de calcio en el producto final debe ser 350 mg/kg.

Tratamiento térmico.

Se utilizó la metodología descrita por Garrote, Silva, & Roa, (2009) con algunas modificaciones. El material rehidratado fue seleccionado y escaldado a 100 °C por 1 minuto. Se utilizó latas de 65 x 102 mm las cuales fueron llenadas con 165 g de arveja y completadas con líquido de cobertura (temperatura del líquido 92- 95 °C) hasta obtener espacios de cabeza de 8 mm aproximadamente. Enseguida se llevó a cabo el exhausting por 0.5 minutos a 92-95 °C y se realizó el sellado hermético de las latas con una cerradora Julius M.J. Las latas se colocaron en un autoclave All American Epss modelo 75X. Las condiciones de operación del autoclave se manejaron conforme al protocolo de Gaviria & Mazuera, (2010) mediante el cual se realizó la etapa de venteo y esterilización. Posteriormente el producto fue enfriado en agua a 4 °C hasta alcanzar

una temperatura promedio de 40 °C.

Bajo el método de Ball (datos no mostrados) se determinaron los tiempos necesarios para el tratamiento para los cuatro niveles de rehidratación: San Isidro (34.81, 33.95, 32.01 y 30.40 min) y Sureña (34.96, 34.60, 33.42 y 31.75 min)

Diseño experimental enlatado (Tratamiento térmico).

El factor de estudio a evaluar fue el tiempo de almacenamiento en los niveles (0, 30 y 60 días). Se utilizó un diseño completamente al azar el cual se llevó con cinco replicas para un total de quince corridas experimentales. Para evaluar el efecto de los tratamientos: T1 (0 días), T2 (30 días), T3 (60 días) sobre las variables de respuesta físicas (color y firmeza) y nutricionales (proteína, grasa, fibra, carbohidratos, hierro y calcio). La unidad experimental correspondió al envase de hojalata del cual se sacó muestras de arveja en tres puntos (un tercio por encima y por debajo de la medida del centro del envase).

Determinación de características físicas.

Para el análisis de firmeza se utilizó la metodología descrita por Zapata et al., (2010) utilizando un texturometro LLOYD LS1, y como accesorio una punta cilíndrica de 2mm, usando una celda de carga de 250 N. Los parámetros del ensayo fueron los que se señalan a continuación: Modo: medida de fuerza en compresión, opción: retorno al inicio, velocidad de Pre-Test: 1.0 mm/s, velocidad de Test: 1.0 mm/s, velocidad de Post-Test: 10.0 mm/s, distancia: 50%.

Respecto del parámetro color se evaluó mediante el índice de color, con ayuda de un colorímetro CM5 Konica Minolta, teniendo como parámetros un iluminante D65 y un observador de 10°, obtenido por la ecuación 9. Así mismo, se utilizó una caja petri

de diámetro 4 cm referencia 1870-712 marca Konica Minolta la cual se llenó con 20 gramos de arveja que es la capacidad de la caja Petri.

$$IC = \frac{1000 * a}{L * b} \quad (9)$$

Donde L^* , a^* , y b^* son los parámetros del sistema color CIELAB. El parámetro L proporciona un valor de la Luminancia o brillo de la muestra. El parámetro a indica la zona de variación entre el rojo y el verde del espectro. El parámetro b se refiere a la zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro (García *et al.*, 2011).

Análisis estadístico

Todos los resultados se expresaron como media más o menos la desviación estándar. Así mismo, se efectuó el análisis de varianza y prueba de comparación mediante la mínima diferencia significativa (LSD) de Fisher a un 5 % de nivel de significancia mediante el programa Statgraphics centurión © Plus versión XV.II.

Resultados y discusión

En la tabla 19 se muestra los resultados de las características físicas evaluadas, solo se evidencio diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) en el parámetro L (luminosidad) entre el día 0 de evaluación con los demás días de evaluación; a pesar de haberse observado una disminución en el valor de los parámetros (tabla 1). Vignoni *et al.*, (2006) mencionan que valores de IC de entre +2 a +20 se relacionan con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso, siendo esta zona la ubicación de los valores encontrados en esta investigación.

Respecto de la firmeza según el análisis de varianza no se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los días de evaluación ($p>0.05$). Afirmando que el calcio en el líquido de cobertura inhibió la rehidratación del material durante el almacenamiento según algunos autores citados por Cerón, Osorio, & Lizeth, (2016) los iones de calcio alteran algunas moléculas dentro del material vegetal, por lo que la estructura que se forma no deja pasar el agua y el material permanece duro después de calentar, congelar o almacenar (García et al., 2011).

Tabla 19.

Resultados características físicas (color y firmeza) arveja almacenada.

Tratamiento	Color				Firmeza (N)
	L	a	b	IC	
T1	50.98±2.45 ^a	4.32±0.29 ^a	30.35±1.85 ^a	2.79±0.23 ^a	1.33±0.17 ^a
T2	40.70±1.30 ^b	4.01±0.20 ^a	29.63±1.46 ^a	3.34±0.31 ^a	1.35±0.13 ^a
T3	40.12±5.31 ^b	3.92±0.09 ^a	28.41±0.82 ^a	3.49±0.55 ^a	1.31±0.19 ^a

T1:0 días; T2: 30 días; T3: 60 días. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza

En la imagen 8 se muestra el efecto del almacenamiento sobre las propiedades físicas de la arveja en conserva tras los días de evaluación, evidenciando que no hubo diferencias en las características evaluadas.

Imagen 8. Efecto del almacenamiento sobre propiedades físicas de la arveja en conserva.



Análisis proximal.

En la tabla 20 se muestra la composición química de la arveja durante el almacenamiento por 60 días, durante dicho periodo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las características evaluadas (p -valor >0.05)

Tabla 20.

Composición química arveja por cada 100 gramos de porción comestible, en diferentes condiciones.

Tratamiento	Humedad (%)	Ceniza (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra cruda (%)	Proteína (%)
T1	71.20±2.34 ^a	1.44±0.17 ^a	0.41±0.03 ^a	1.70±0.16 ^a	6.27±0.80 ^a
T2	69.40±4.67 ^a	1.49±0.16 ^a	0.44±0.10 ^a	1.57±0.14 ^a	6.89±1.15 ^a
T3	72.30±1.89 ^a	1.35±0.18 ^a	0.40±0.07 ^a	1.42±0.15 ^a	6.23±1.10 ^a
Tratamiento	Extracto no nitrogenado (%)	Energía (Kcal)	Calcio (mg/100g)	Hierro (mg/100g)	
T1	19.00±1.13 ^a	117±15.78 ^a	56.70±3.34 ^a	1.12±0.17 ^a	
T2	20.26±1.13 ^a	120±12.36 ^a	52.91±1.88 ^a	1.75±0.16 ^a	
T3	18.34±1.13 ^a	115±11.43 ^a	53.44±2.03 ^a	1.58±0.13 ^a	

T1:0 días; T2: 30 días; T3: 60 días. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza

Conclusiones

No se encontró diferencias estadísticamente significativas en las propiedades físicas evaluadas (color y firmeza) durante los 60 días de evaluación.

No se encontró diferencias estadísticamente significativas en las propiedades nutricionales evaluadas durante los 60 días de evaluación.

Se determinó que durante el almacenamiento la rehidratación de las semillas se inhibe por la adición de calcio en el líquido de cobertura.

Conclusiones generales

Se determinó influencia estadísticamente significativa de la temperatura sobre la cinética de rehidratación de las semillas de arveja (*Pisum sativum* L.) dentro de los modelos empleados el modelo exponencial mostró una buena calidad de ajuste sobre las curvas de rehidratación experimental, validando su utilización; mientras que el modelo de Peleg's describe adecuadamente la cinética de absorción de agua de la variedad San Isidro a temperaturas de 18 y 30 °C mientras que para la variedad Sureña a temperatura de 30 °C.

Se determinó que la variación del contenido de humedad de las semillas de arveja afecta significativamente las propiedades físicas estudiadas (peso de mil semillas, densidad real, densidad aparente y porosidad), mientras, que en la propiedad esfericidad no se evidenciaron cambios significativos. El conocimiento de estas propiedades proporciona datos de ingeniería, para el diseño de equipos y procesos.

Las variedades evaluadas presentaron tendencia a desarmarse transcurrido el tratamiento térmico, lo cual no las hace viables para la industria de conservas. Siendo necesario la utilización de calcio para alterar algunas moléculas dentro del material vegetal, para que este permanezca duro.

La variedad San Isidro con un nivel de rehidratación del 35% presenta la mejor aceptación por parte de los consumidores, siendo viable comercialmente con la adición de calcio en el líquido de cobertura el cual permitió incrementar la firmeza de las semillas, evitando el colapso de los tejidos durante el tratamiento térmico.

Se determinó que durante el almacenamiento la rehidratación de las semillas se inhibe por la adición de calcio en el líquido de cobertura.

Referencias bibliográficas

- Adejumo, B., & Abayomi, D. (2012). Effect of Moisture Content on Some Physical Properties of Moringa Oleifera Seed. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 1(5), 12–21.
- Alisano, M., Andrich, O., Sabbag, N., Costa, S., de la Torre, M., & Sánchez, H. (2008). Panificación con harina de arvejas (*Pisum sativum*) previamente sometidas a inactivación enzimática. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(5), 397–402.
- Altuntaş, E. (2008). Some Physical Properties of Pumpkin (*Cucurbita pepo* L .) and Watermelon (*Citrullus lanatus* L .) Seeds Balkabağı (*Cucurbita pepo* L .) ve Karpuz (*Citrullus lanatus* L .). *Tarım Bilimleri Dergisi*, 14(1), 62–69.
- Altuntaş, E., Ozgoz, E., & Taser, F. (2005). Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L .) seeds. *Journal of Food Engineering*, 71, 37–43. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.015>
- Alvarado, J., Martínez, G., Navarrete, J., Botello, E., Calderón, M., & Jiménez, H. (2009). Fenomenología de la esterilización de alimentos líquidos enlatados Transport behavior of sterilization of canned. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*.
- Amarakoon, D., Thavarajah, D., McPhee, K., & Thavarajah, P. (2012). Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27(1), 8–13. <http://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.05.007>
- Anzaldúa, M. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. (S. A. Acribia, Ed.). Zaragoza (España).

- Awuah, G. B., Ramaswamy, H. S., & Economides, a. (2007). Thermal processing and quality: Principles and overview. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(6), 584–602. <http://doi.org/10.1016/j.cep.2006.08.004>
- Balsa-Canto, E., Rodriguez-Fernandez, M., & Banga, J. R. (2007). Optimal design of dynamic experiments for improved estimation of kinetic parameters of thermal degradation. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 178–188. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.006>
- Barac, M., Cabrilo, S., Pesic, M., Stanojevic, S., Zilic, S., Macej, O., & Ristic, N. (2010). Profile and functional properties of seed proteins from six pea (*Pisum sativum*) genotypes. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(12), 4973–90. <http://doi.org/10.3390/ijms11124973>
- Baucour, P., Cronin, K., & Stynes, M. (2003). Process optimization strategies to diminish variability in the quality of discrete packaged foods during thermal processing. *Journal of Food Engineering*, 60(2), 147–155. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00028-1](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00028-1)
- Bayram, M. (2005). Determination of the sphericity of granular food materials. *Journal of Food Engineering*, 68(3), 385–390. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.014>
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.017>
- Bernal, I. (1998). *Análisis de alimentos*. (G. LTDA, Ed.) (3rd ed.). Bogota.
- Betancourth, E., & Montenegro, M. (2004). *Estudio del proceso térmico y análisis de su efecto durante el enlatado para las variedades de arveja (Pisum sativum L.)*

Obonuco San Isidro y Obonuco Andina. Universidad de Nariño.

- Brousse, M. M., Nieto, A. B., Linares, A. R., & Vergara, M. L. (2012). Artículo Cinética de adsorción de agua en purés deshidratados de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) Water adsorption kinetics in dehydrated mashed cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Venezolana de Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 80–96.
- Brousse, M. M., Vergara, M., Zubreski, E., Cruz, N., & Martos, M. (2014). Cinética de absorción de agua de tejidos de mandioca macerados con una poligalacturonasa microbiana. *Revista de Ciencia Y Tecnología*, 16(22), 53–57. Retrieved from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-75872014000200008&script=sci_arttext
- Carapaz, N., & Román, N. (2012). *Respuesta de tres variedades de arveja (Pisum sativum L.) a cuatro aplicaciones de biofertilizantes, rhizobium y micorrizas en bolívar- provincia del Carchi*. Universidad Técnica del Norte.
- Carrillo, M., & Reyes, A. (2007). Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias*, 2(3), 1–24.
- Cerón, A., Latorre, L., Bucheli, M., Osorio, O., Mejía, D., & Garcés, L. (2015). Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L .)*. *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1), 21–32.
- Cerón, A., Osorio, O., & Garcés, L. (2016). Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 2: Cinética de Absorción de Agua en Semillas de Arveja, variedad San Isidro y Sureña. *Información Tecnológica*, 27(1), 81–90.

<http://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100010>

- Cerón, A., Osorio, O., & Lizeth, B. (2016). Evaluación de propiedades físico-químicas del líquido de cobertura adicionado con calcio en arvejas (*Pisum sativum* L.) enlatadas a diferentes humedades. *Vitae*, 23(Supl. 1), 498–502.
- Cetin, M. (2007). Physical properties of barbunia bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. “Barbunia”) seed. *Journal of Food Engineering*, 80(1), 353–358.
<http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.004>
- CODEX. (1981). *Norma del codex para los guisantes (arvejas) verdes en conserva (CODEX STAN 58-1981)*.
- Condori, M., Obregón, A., & Guevara, A. (2013). Evaluación y optimización del tratamiento térmico de conservas de habas verdes (*Vicia faba* L.) en salmuera. *Ciencia E Investigacion*, 15(2), 84–89.
- Corradini, M. G., Normand, M. D., & Peleg, M. (2005). Calculating the efficacy of heat sterilization processes. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 59–69.
<http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.001>
- Coşkuner, Y., & Karababa, E. (2007). Physical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Food Engineering*, 80(2), 408–416.
<http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.042>
- Cunningham, S. E., McMinn, W. a. M., Magee, T. R. a., & Richardson, P. S. (2008). Effect of processing conditions on the water absorption and texture kinetics of potato. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 214–223.
<http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.007>
- De Almeida Costa, G. E., Da Silva Queiroz-Monici, K., Pissini Machado Reis, S. M., &

- De Oliveira, A. C. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, 94(3), 327–330. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.020>
- Díaz, W., Cerón, A., & Osorio, O. (2016). Diseño del tratamiento térmico para el enlatado de arveja (*Pisum sativum* L.) de dos variedades Sureña y Alcalá. *Vitae*, 23(Supl.1), 455–460.
- Díaz, W., Cerón, A., Osorio, O., & Mejía, D. (2014). Efecto de la humedad en propiedades físicas de semillas de arveja (*Pisum sativum* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 67(2 (Sup. II)), 579–581. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Duque, A. L. (2014). Fortificación de pulpa de uchuva con calcio, oligofruktosa y vitamina c, estabilizada con hidrocoloide. *Bioteología En El Sector Agropecuario Y Agroindustria*, 12(1), 124–133.
- Fellows, P. (2000). *Food Processing Technology: Principles and Practice*. (C. Press, Ed.) (second ed). New York. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- FENALCE. (2010). El cultivo de la arveja, historia y su importancia. Consulta, 32–34. Retrieved from http://www.fenalce.org/arch_public/arveja93.pdf.
- Fernández, J., Gruintal, M., Hernández, I., San Martín, E., Calderón, A., Díaz, J., & Aguilar, M. (2007). Modelo matemático de la cinética y velocidad de hidratación del grano de maíz blanco dentado durante la cocción alcalina. *Superficies Y Vacío*, 20(4), 4–9.
- García, F. E. V., Morales, M. O. R., & Sánchez, D. P. C. (2011). El calcio en el desarrollo de alimentos funcionales. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(1), 104–

116.

- García-Pascual, P., Sanjuán, N., Melis, R., & Mulet, A. (2006). Morchella esculenta (morel) rehydration process modelling. *Journal of Food Engineering*, 72(4), 346–353. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.014>
- Garrote, R. L., Silva, E. R., & Roa, R. D. (2009). Diffusion and thermal degradation of ascorbic acid during canned fresh green peas sterilisation. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(10), 1990–1996. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02018.x>
- Gaviria, B., & Mazuera, P. (2010). Evaluación del tratamiento térmico de las arvejas enlatadas (*Pisum sativum*) en salmuera. *Revista Publicaciones E Investigación*, 4, 129–143.
- Gharibzahedi, S. M. T., Etemad, V., & Fos, M. (2010). Study on some engineering attributes of pine nut (*Pinus pinea*) to the design of processing equipment. *Res. Agr. Eng*, 56(3), 99–106.
- Hersom, A., & Hulland, E. (1985). *Conservas alimenticias: procesado térmico y microbiología*. (Acribia, Ed.) (3rd ed.). Zaragoza (España). <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x>
- ICONTEC. (2004). *Arvejas Secas (NTC 791)*. Bogota.
- ICONTEC. (2009). *Arvejas (Guisantes) rehidratadas en conserva (NTC 4434)*. Bogota.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, G.-I. (2012). *Tabla de Composición de Alimentos*. (INCAP, Ed.) (2nd ed.). Guatemala.
- Jacobo-velázquez, D. A., Castellanos-dohnal, G., & Hernández-brenes, C. (2013). Cambios bioquímicos durante el almacenamiento de puré de aguacate adicionado

- con antioxidantes naturales y procesado con alta presión hidrostática Biochemical changes during the storage of high hydrostatic pressure processed avocado puree in the presence. *CyTA-Journal of Food*, 11(4), 379–391.
- Jideani, V. a., & Mpotokwana, S. M. (2009). Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. *Journal of Food Engineering*, 92(2), 182–188. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.040>
- Jimenez, H., Gonzales, L., Botello, J., & Navarrete, J. (2005). Estudio numérico de la esterilización térmica de alimentos líquidos enlatados que contienen partículas empleando el enfoque de medio poroso. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4(1), 1–23.
- Kaleemullah, S., & Gunasekar, J. J. (2002). PH—Postharvest Technology. *Biosystems Engineering*, 82(3), 331–338. <http://doi.org/10.1006/bioe.2002.0079>
- Kashiri, M., Kashaninejad, M., & Aghajani, N. (2010). Modeling water absorption of sorghum during soaking. *Latin American Applied Research*, 40(4), 383–388.
- Latorre, L., Mejía, D., & Osorio, O. (2016). Cambios en el contenido de clorofila y peso en dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) almacenadas a diferentes temperaturas. *Vitae*, 23(Supl. 1), 836–839.
- Lewicki, P. P. (1998). Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 36(1), 81–87. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00022-3](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00022-3)
- Ligarreto, G., & Ospina, A. (2009). Análisis de parámetros heredables asociados al rendimiento y precocidad en arveja voluble (*Pisum sativum* L.) tipo Santa Isabel Analysis of heritable parameters associated to yield and precocity in Santa Isabel type climbing pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomía Colombiana*, 27(3), 333–339.

- Lucas, T., Le Ray, D., & Mariette, F. (2007). Kinetics of water absorption and solute leaching during soaking of breakfast cereals. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 377–384. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.006>
- Machado-Velasco, K. M., & Vélez-Ruiz, J. F. (2008). Estudio de propiedades físicas de alimentos mexicanos durante la congelación y el almacenamiento congelado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 7(1), 41–54.
- Marin, B., Lemus, M., Flores, M., & Vega, G. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista Chilena de Nutrición*, 33(3), 527–538.
- Mayer, L., Bertoluzzo, M., & Bertoluzzo, S. (2013). Determinación de propiedades físicas del líquido de cobertura de arvejas enlatadas. *Invenio*, 17(32), 203–213.
- Melquíades, Y. I., López, C., & Rosas, M. E. (2009). Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*Daucus Carota*) deshidratadas. *Información Tecnológica*, 20(3), 65–72.
- Muñoz, I., Garcia-Gil, N., Arnau, J., & Gou, P. (2012). Rehydration kinetics at 5 and 15°C of dry salted meat. *Journal of Food Engineering*, 110(3), 465–471. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.020>
- Ordóñez, M., Gely, M., & Pagano, A. (2012). Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances En Ciencia E Ingeniería*, 3(3), 153–171.
- Osorio, L., & Castaño, J. (2011). Caracterización del agente causante de la pudrición de raíces de la arveja (*Pisum sativum* Linneo), enfermedad endémica en el municipio de Manizales- caldas (Colombia). *Agron*, 19(2), 33–43.
- Paksoy, M., & Aydin, C. (2006). Determination of some physical and mechanical

- properties of pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(1), 26–29.
- Pantoja, D., Osorio, O., Mejía, D., & Váquiro, H. (2016). Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 1: Modelado de la cinética de secado por capa delgada de arveja, variedades Obonuco Andina y Sureña. *Información Tecnológica*, 27(1), en prensa. <http://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100009>
- Paredes, E., Quiroz, M., Quispe, K., Reyes, B., & Zavaleta, N. (2012). Aplicación del modelo de Peleg para estudiar el efecto de la temperatura y dureza del agua durante la rehidratación de frijol caballero (*Phaseolus vulgaris*). *Agroindustrial Science*, 1, 14–22.
- Parthasarathi, S., & Anandharamakrishnan, C. (2014). Modeling of Shrinkage, Rehydration and Textural Changes for Food Structural Analysis: A Review. *Journal of Food Process Engineering*, 37, 199–210. <http://doi.org/10.1111/jfpe.12073>
- Perales, A., Loli, O., Alegre, J., & Camarena, F. (2009). Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum* L.). *Ecología Aplicada*, 8(1-2), 47–52.
- Pradhan, R., Said, P., & Singh. (2013). Physical properties of bottle gourd seeds. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 15(1), 106–113.
- Resio, A. C., Aguerre, R. J., & Suarez, C. (2006). Hydration kinetics of amaranth grain. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 247–253. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.003>
- Reza, M., & Reza, A. (2010). Moisture-Dependent Physical Properties of Sunflower Seed (SHF8190). *Modern Applied Science*, 4(7), 135–143.

- Rodríguez, F., Aguado, J., Calles, J., Cañizares, P., López, B., Santos, A., & Serrano, D. (2002). *Ingeniería de la industria alimentaria: operaciones de conservación de alimento*. (E. Síntesis, Ed.) (Vol. 3).
- Rojas, A. (2010). *Caracterización físico-mecánica de la semilla de vitabosa* (. Universidad Nacional de Colombia.
- Salimi, A., Maghsoudlou, Y., & Jafari, S. (2011). Effect of water temperature, variety and shelf life on rehydration kinetics of microwave dried potato cubes. *Latin American Applied Research*, 254, 249–254.
- Selvi, K. Ç., Pınar, Y., & Yeşiloğlu, E. (2006). Some Physical Properties of Linseed. *Biosystems Engineering*, 95(4), 607–612.
<http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.08.008>
- Sessiz, a., Esgici, R., & Kızıl, S. (2007). Moisture-dependent physical properties of caper (*Capparis ssp.*) fruit. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1426–1431.
<http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.033>
- Shafaei, S. M., & Masoumi, A. A. (2014a). Estimating moisture absorption kinetics of beans during soaking using mathematical models. *Agricultural Engineering International*, 16(3), 230–237.
- Shafaei, S. M., & Masoumi, A. A. (2014b). Original article Evaluation of Khazaei Model in Predicting of Water Absorption of Chickpea during Soaking. *Agricultural Advances*, 3(1), 1–8. <http://doi.org/10.14196/aa.v3i1.1101>
- Sharma, V., Das, L., Pradhan, R. C., Naik, S. N., Bhatnagar, N., & Kureel, R. S. (2011). Physical properties of tung seed: An industrial oil yielding crop. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 440–444. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.031>

- Simpson, R., Teixeira, a., & Almonacid, S. (2007). Advances with intelligent on-line retort control and automation in thermal processing of canned foods. *Food Control*, 18(7), 821–833. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.04.006>
- Solarte, R., & Osorio, O. (2016). Oportunidades de crecimiento del subsector productivo de arveja (*Pisum Sativum* L.) de Nariño a nivel Nacional. *VITAE*, 23(Supl. 1), 464–468.
- Sopade, P. a., Xun, P. Y., Halley, P. J., & Hardin, M. (2007). Equivalence of the Peleg, Poulos and Singh–Kulshrestha models for water absorption in food. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 730–734. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.007>
- Stoforos, N. G. (1995). Thermal process design. *Food Control*, 6(2), 81–94. [http://doi.org/10.1016/0956-7135\(95\)98911-J](http://doi.org/10.1016/0956-7135(95)98911-J)
- Szymanowska, U., Jakubczyk, A., Baraniak, B., & Kur, A. (2009). Characterisation of lipoxygenase from pea seeds (*Pisum sativum* var. Telephone L.). *Food Chemistry*, 116(4), 906–910. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.045>
- Téllez-Pérez, C., Sabah, M. M., Montejano-Gaitán, J. G., Sobolik, V., Martínez, C. a., & Allaf, K. (2012). Impact of Instant Controlled Pressure Drop treatment on dehydration and rehydration kinetics of Green Moroccan Pepper (*Capsicum annuum*). *Procedia Engineering*, 42(August), 978–1003. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.491>
- Valencia, A., Timaná, Y., & Checa, O. (2012). Evaluación de 20 líneas de arveja (*Pisum sativum* L.) y su reacción al complejo de ascochyta. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(2), 39–52. Retrieved from <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/455/460>

- Van Loey, A., Fransis, A., Hendrickx, M., Maesmans, G., & Tobback, P. (1995). Kinetics of quality changes of green peas and white beans during thermal processing. *Journal of Food Engineering*, 24(3), 361–377. [http://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)90051-C](http://doi.org/10.1016/0260-8774(95)90051-C)
- Villalobos Solis, M. I., Patel, A., Orsat, V., Singh, J., & Lefsrud, M. (2013). Fatty acid profiling of the seed oils of some varieties of field peas (*Pisum sativum*) by RP-LC/ESI-MS/MS: Towards the development of an oilseed pea. *Food Chemistry*, 139(1-4), 986–993. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.052>
- Wang, N., Hatcher, D., & Gawalko, E. (2008). Effect of variety and processing on nutrients and certain anti-nutrients in field peas (*Pisum sativum*). *Food Chemistry*, 111(1), 132–138. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.047>
- Wang, S., Sharp, P., & Copeland, L. (2011). Structural and functional properties of starches from field peas. *Food Chemistry*, 126(4), 1546–1552. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.154>
- Welti, J., Gómez, O., Vergara, F., & Marís, S. (2005). Aplicaciones de ingeniería y fenómenos de transporte al estudio de la transferencia convectiva de calor en alimentos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4(1), 89 – 106.
- Yalçın, İ., Özarıslan, C., & Akbař, T. (2007). Physical properties of pea (*Pisum sativum*) seed. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 731–735. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.039>
- Yildirim, A., Durdu, M., & Bayram, M. (2016). Modeling of Water Absorption of Ultrasound Applied Chickpeas (*Cicer arietinum* L.) Using Peleg ' s Equation Ultrason Uygulanmıř Nohudun (*Cicer arietinum* L.) Su Absorbsiyonun Peleg

- Eşitliği ile Modellenmesi. *Vitae*, 23(Su), 278–286.
- Yildirim, A., Öner, M. D., & Bayram, M. (2011). Fitting Fick's model to analyze water diffusion into chickpeas during soaking with ultrasound treatment. *Journal of Food Engineering*, 104(1), 134–142. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.005>
- Zambrano, M., Rodríguez, D., & Álvarez, A. (2011). Estudio Cinético y de Superficie de Respuesta para la Rehidratación de Zanahorias (*Daucus carota*) Liofilizadas. *Información Tecnológica*, 18(4), 47–56.
- Zamorano, C., López, H., & Alzate, G. (2008). Evaluación de la competencia de arvenses en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia),. *Revista Agronomía Colombiana*, 26(3), 443–450.
- Zapata, I., Sepulveda, U., & Rojano, B. (2015). Efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas, probióticas y antioxidantes de yogurt saborizado con mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw). *Informacion Tecnologica*, 26(2), 17–28. <http://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200004>
- Zapata, L. M., Malleret, A. D., Quinteros, C. F., Lesa, C. E., Vuarant, C. O., Rivadeneira, M. F., & Gerard, J. A. (2010). Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, Docencia Y Tecnología*, 21(41), 159–171.
- Zewdu, A. D., & Solomon, W. K. (2007). Moisture-Dependent Physical Properties of Tef Seed. *Biosystems Engineering*, 96(1), 57–63. <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.09.008>

Apéndices

(Artículos publicados)

Información Tecnológica
Vol. 27(1), 81-90 (2016)
doi: 10.4067/S0718-07642016000100010

Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 2: Cinética de Absorción de Agua en Semillas de Arveja, variedad San Isidro y Sureña

Andrés F. Cerón⁽¹⁾, Oswaldo Osorio⁽¹⁾ y Luis F. Garcés⁽²⁾

(1) Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Apoyo a la investigación y Desarrollo Agroalimentario (GAIDA), Ciudad Universitaria Torobajo, Calle 18 Cr 50, San Juan de Pasto – Colombia (e-mail: andre5505@hotmail.com; osorio_oswaldo@hotmail.com)

(2) Corporación Universitaria Lasallista, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Carrera 51 # 118 Sur – 57, Caldas, Antioquia – Colombia (e-mail: lugarces@lasallista.edu.co)

Recibido Ago. 25, 2015; Aceptado Oct. 29, 2015; Versión final Nov. 7, 2015, Publicado Feb. 2016



Revista Lasallista de Investigación

ISSN: 1794-4449

marodriguez@lasallista.edu.co

Corporación Universitaria Lasallista

Colombia

Cerón Cárdenas, Andrés Felipe; Latorre Vásquez, Laura Inés; Bucheli Jurado, Mauricio Alexander; Osorio Mora, Oswaldo; Mejía España, Diego Fernando; Garcés Giraldo, Luis Fernando

Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.)

Revista Lasallista de Investigación, vol. 12, núm. 1, 2015, pp. 21-32

Corporación Universitaria Lasallista

Antioquia, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69542290003>

Vitae 23 (Supl. 1); 2016

S455

DISEÑO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO PARA EL
ENLATADO DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) DE DOS
VARIEDADES SUREÑA Y ALCALÁ

DESIGN HEAT TREATMENT FOR CANNED PEA (*Pisum sativum* L.) TWO CULTIVARES
SUREÑA AND ALCALA

William DIAZ L. M.Sc.^{1*}, Andrés CERÓN C. M.Sc. (c).¹, Oswaldo OSORIO M. Ph.D.¹

S498

Vitae 23 (Supl. 1); 2016

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS
DEL LÍQUIDO DE COBERTURA ADICIONADO
CON CALCIO EN ARVEJAS (*Pisum sativum L.*) ENLATADAS
A DIFERENTES HUMEDADES

EVALUATION OF PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF A LIQUID MEDIUM
SUPPLEMENTED WITH CALCIUM IN PEAS (*Pisum sativum L.*)
CANNED A DIFFERENT HUMIDITY

Andrés CERÓN C. M.Sc. (c).^{1*}, Oswaldo OSORIO M. PhD.¹. Lizeth BARRIOS B. Ing.¹

Rev.Fac.Nal.Agr.Medellin 67(2). 2014 Supl. II

Efecto de la Humedad en Propiedades Físicas de Semillas de Arveja (*Pisum sativum* L.)

Effect of Moisture in Physical Properties of Pea Seed (*Pisum sativum* L.)

William Diaz¹; Andrés Cerón C²; Oswaldo Osorio M^{1*}; Diego Mejía E¹

1 Facultad Ingeniería Agroindustrial. Departamento procesos Industriales.
Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

* Corresponding autor: Osorio_oswaldo@udenar.edu.co