

**EFFECTO DEL ESCALDADO SOBRE INDICADORES DE CALIDAD DE PAPA CRIOLLA
(*Solanum phureja*) LIOFILIZADA**

**ANA ALCALÁ FLORES
NATALIA RUIZ CARDONA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
CALI
2012**

**EFFECTO DEL ESCALDADO SOBRE INDICADORES DE CALIDAD DE PAPA CRIOLLA
(*Solanum phureja*) LIOFILIZADA**

**POR
NATALIA RUIZ CARDONA
ANA ALCALÁ FLORES**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial
para optar al título de ingeniero de alimentos

DIRECTOR: HAROLD ACOSTA ZULETA, Ph.D
ASESOR: CARLOS JULIÁN GIRALDO, Ph.D

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
CALI
2012**

Agradecemos en primer lugar a Dios porque fue quien nos brindó sabiduría, fortaleza y constancia para llevar a cabo este proyecto y no nos dejó desistir a pesar de las dificultades; a nuestra familia quienes nos apoyaron y entendieron nuestras ausencias durante el desarrollo de éste y nunca dudaron de nuestra capacidad de sacarlo adelante.

Gracias a nuestro director Harold Acosta Zuleta, Ph.D., por su compromiso con este proyecto, sus consejos, guía y ayuda cuando más lo necesitamos.

A nuestro asesor Carlos Julián Giraldo Ing., infinitas gracias, por su incondicional interés, por brindarnos una guía durante el desarrollo de este proyecto con sus conocimientos sobre liofilización y demás temas tratados, los cuales fueron de gran ayuda.

A los profesores y cada uno de los asistentes del laboratorio de la Escuela de Ingeniería de Alimentos y su planta piloto por brindarnos los espacios y resolver nuestras dudas en el uso de algunos equipos.

Finalmente, un agradecimiento especial a la Universidad de Valle por brindarnos la posibilidad de formarnos como Ingenieras de Alimentos, elemento que durará para siempre en nosotras.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2 JUSTIFICACIÓN	5
3 OBJETIVOS	6
3.1 General.....	6
3.2 Específicos	6
4 MARCO TEÓRICO.....	7
4.1 Descripción de la materia prima	7
4.1.1 Papa criolla.....	7
4.1.2 Origen, distribución y comercialización de la papa criolla	8
4.1.3 Variedades de papa criolla	8
4.1.4 Enfermedades.....	9
4.2 Tratamientos térmicos y procesos	10
4.2.1 Escaldado	10
4.2.2 Congelación	11
4.3 Deshidratación de alimentos	12
4.3.1 Liofilización.....	12
4.4 Actividad de agua	13
4.5 Color	14
4.5.1 Cambio de color.....	15
4.5.2 Índice de Amarillez.....	15
4.6 Rehidratación	15
5 MATERIALES Y MÉTODOS	16
5.1 Materia prima.....	16
5.2 Definición del tiempo de liofilización	16
5.3 Escaldado	16
5.4 Congelación	17

5.5	Liofilización.....	17
5.6	Evaluación de las características de calidad.....	18
5.7	Modelo del diseño experimental	19
5.7.1	Prueba de hipótesis.....	19
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
6.1	Determinación del tiempo de liofilización.....	20
6.2	Obtención de muestras escaldadas.....	20
6.3	Congelación	22
6.4	Resultados obtenidos para las variables de respuesta	22
6.5	Efecto del escaldado sobre la aw de las muestras liofilizadas	23
6.5.1	Ajuste factorial: Aw vs. PRESION, TIEMPO	24
6.5.2	Comparación múltiple de los factores.....	24
6.6	Efecto del escaldado sobre el índice de rehidratación de las muestras liofilizadas	25
6.6.1	Ajuste factorial: IR vs. PRESIÓN, TIEMPO.....	26
6.6.2	Comparación múltiple de los factores.....	27
6.7	Efecto del escaldado sobre el cambio de color de las muestras liofilizadas	27
6.7.1	Ajuste factorial: ΔE vs. PRESION, TIEMPO	29
6.7.2	Comparación múltiple de los factores.....	29
6.8	Índice de Amarillez para el mejor tratamiento escogido	30
6.9	Resultados entre el mejor tratamiento (P2 t2) vs Papa criolla sin escaldar liofilizada	31
	CONCLUSIONES	32
	RECOMENDACIONES	33
	REFERENCIAS.....	34
	ANEXOS	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pasos del proceso de liofilización	Figura 2. Diagrama de fases del agua.....	13
Figura 3. Cambios en los alimentos en función de la actividad de agua.		14
Figura 4. Representación del espacio de color L, a, b.....		15
Figura 5. Diagrama de bloques para la liofilización de papa criolla fresca y escaldada.....		18
Figura 6. Aumento de la temperatura de las muestra durante el escaldado		21
Figura 7. Intensificación de color de la papa criolla durante el escaldado.....		21
Figura 8. Cinéticas de congelación de las muestras pretratadas y sin tratar.		22
Figura 9.a) Magnitud del efecto de los factores sobre la A_w . b) Probabilidad normal de efectos estandarizados. c) Diagrama de efectos principales. d) Diagrama de interacción entre los factores.		23
Figura 10. a) Diagrama de Pareto con nivel de significancia para el efecto de los factores. b) Probabilidad normal de los efectos estandarizados. c) Diagrama de efectos principales. d) Interacción entre la presión y el tiempo		25
Figura 11. a) Diagrama de Pareto con nivel de significancia para el efecto de los factores. b) Probabilidad normal de efectos estandarizados. c) Diagrama de efectos principales. d) Diagrama de interacción entre los factores		28
Figura 12. Cinética de rehidratación papa criolla liofilizada		39
Figura 13. Acondicionamiento de la materia prima.....		41
Figura 14. Proceso de escaldado por vapor.....		41
Figura 15. Liofilización de muestras de papa criolla		42
Figura 16. Muestras de papa criolla liofilizada.....		42
Figura 17. Diferencia de color muestras liofilizadas con y sin pretratamiento.....		42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aporte nutricional de la papa criolla.....	7
Tabla 2. Diseño utilizado en el escaldado de la papa criolla	17
Tabla 3. Determinación del tiempo de liofilización de acuerdo a la Aw.	20
Tabla 4. Agua ganada por las muestras durante el escaldado	21
Tabla 5. Datos para las variables de respuesta.....	22
Tabla 6. Efectos y coeficientes estimados para Aw (unidades codificadas).....	24
Tabla 7. Diferencias entre las medias de los tratamientos.	24
Tabla 8. Efectos y coeficientes estimados para IR (unidades codificadas).....	26
Tabla 9. Diferencias entre las medias de los tratamientos.	27
Tabla 10. Efectos y coeficientes estimados para ΔE (unidades codificadas).....	29
Tabla 11. Diferencias entre las medias de los tratamientos.	29
Tabla 12. Índice de amarillez de la papa sin escaldar vs mejor tratamiento de escaldado.....	30
Tabla 13. Comparación de resultados papa sin escaldar vs papa criolla con el mejor tratamiento ...	31
Tabla 14. Datos de índice de amarillez	39
Tabla 15. Análisis de varianza para Aw (unidades codificadas).....	39
Tabla 16. Coeficientes estimados para aw utilizando datos en unidades no codificadas.....	40
Tabla 17. Análisis de varianza para IR (unidades codificadas)	40
Tabla 18. Coeficientes estimados para IR utilizando datos en unidades no codificadas	40
Tabla 19. Análisis de varianza para Cambio de color (unidades codificadas).....	40
Tabla 20. Coeficientes estimados para el ΔE utilizando datos en unidades no codificadas	41

RESUMEN

La papa criolla es un alimentos de excelentes características organolepticas, pero susceptible a múltiples enfermedades lo que provoca que tenga muy corta vida de anaquel. Se utilizó la liofilización como método para deshidratar este alimento, aplicando el escaldado por vapor como pretratamiento. En este trabajo se evaluó el efecto del pretratamiento sobre la actividad de agua (a_w), el cambio de color (ΔE) y el índice de rehidratación (IR), de la papa criolla liofilizada. Para esto se varió la presión del vapor (135. 74 y 170.18KPa) y el tiempo de escaldado (60 y 90s). Se manejó una muestra patrón sin pretratamiento con el fin de determinar estas características físicas de la papa criolla liofilizada y compararlas con resultados obtenidos de las muestras pretratadas.

Se determinó que el tiempo de liofilización en el cual se logró una actividad de agua menor que 0.4 para las muestras frescas y pretratadas, fue de 6.5h. Para este tiempo de liofilización se observó las muestras sin pretratamiento disminuyeron su actividad de agua de 0.9696 a 0.3781, el índice de rehidratación fue 3.52 y el cambio de color fue 34,29. Sin embargo, también se notó que el escaldado por vapor a 170.18KPa y 90s tuvo $a_w = 0.1856$, IR = 5.38 y $\Delta E = 26.25$, mejorando las características físicas de calidad de la papa criolla liofilizada. Para estas condiciones se encontró que existen diferencias significativas entre los efectos de la presión, tiempo y la interacción entre estos, con respecto a la disminución en la actividad de agua y el cambio de color. Para el índice de rehidratación se encontró que el tiempo no tiene un efecto significativo en el aumento de este parámetro. Estos resultados se obtuvieron para un índice de confiabilidad del 95%.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se propone al escaldado como una alternativa de pretratamiento a la liofilización de papa criolla dando como resultado un producto de baja actividad de agua que permite una buena conservación; además se disminuye el cambio de color como consecuencia de la liofilización y se obtiene un alimento con mejor capacidad de rehidratación, en comparación con la papa criolla liofilizada sin pretratar.

Palabras claves: Papa criolla, escaldado, liofilización, actividad de agua, cambio de color e índice de rehidratación.

ABSTRACT

Potatoes Creole food is excellent organoleptic characteristics, but susceptible to many diseases which causes have very short shelf life. Freeze drying was used as the method for dehydrating food, using steam as the blanching pretreatment. This study evaluated the effect of pretreatment on water activity (a_w), color change (ΔE) and the rate of rehydration of freeze-dried yellow potato. To this was varied steam pressure (135.74 and 170.18KPa) and blanching time (60 and 90s). A sample was handled without pretreatment to determine these physical characteristics of the native potato freeze-dried and comparing results of the pretreated samples.

Was determined that the freeze drying time which achieved a water activity less than 0.4 for fresh samples pretreated, was 6.5h.

At this time freeze drying was observed that the samples without pretreatment reduced water activity of from 0.9696 to 0.3781, the rehydration rate (IR) was 3.52 and the color change (ΔE) was 34.29. However, it also noted that the blanching steam 170.18KPa and 90s had $a_w = 0.1856$, $RI = 5.38$ and $\Delta E = 26.25$, improving the physical quality of the potato native freeze dried. For this treatment, it was found that there are significant differences between the effects of pressure, time and interaction between these, with respect to the decrease in water activity and color change. For rehydration index found that blanching time has no significant effect on the increase of this parameter. These results were obtained for a reliability index of 95%.

According to the results, it is proposed to blanching pretreatment as an alternative to freeze drying native potato product resulting in a low water activity which allows good preservation; also decreases the color change as a result of lyophilization and yields a better food with rehydration capacity compared with the native potato lyophilized without pretreatment.

Keywords: Papa criolla, blanching steam, freeze drying, water activity, color change and rate of rehydration.

INTRODUCCIÓN

La papa criolla (*Solanum phureja*) es una especie diploide, originaria de la zona tropical de América, derivada de la variedad *Solanum stenotomum*. Se distribuye desde el norte de Bolivia hasta el suroccidente venezolano con un centro de diversidad genética al sur de Colombia en el departamento de Nariño (Carrasco; Pineda, 1993).

En Colombia, el nombre de papa criolla corresponde a los morfotipos que presentan tubérculos con color de piel y carne amarillo (fenotipo yema de huevo). Ha sido clasificada como *Solanun phureja*, *Solanun tuberosum* Grupo Phureja, y recientemente como *Solanun tuberosum* Grupo Andigena (Rodríguez, et al, 2009).

El cultivo de la papa, ha sido fundamental en la alimentación humana y es uno de los más ampliamente distribuidos en el mundo; además, es pilar de la economía campesina en las zonas frías, con un área cultivada de 200.000 Ha, un gran número de familias involucradas en su cultivo y un apreciable capital utilizado; aspectos que mantienen la importancia económica, social y política de este cultivo (Toro, 1998). A comienzos de los noventa se producían cerca de 100 millones de toneladas, y su producción aumenta a un ritmo del 4,5% anual. Este crecimiento del consumo ha estado relacionado con la versatilidad de este alimento en la preparación de recetas y el posicionamiento de sus cualidades nutricionales. Sin embargo, para el 2003, sólo el 8% de la producción se destinó a la transformación industrial (Anónimo, 2007).

Por lo anterior, es importante generar procesos que permitan determinar las propiedades de este alimento para así poder ser convertido en nuevos productos procesados. La deshidratación es un buen método para la conservación de los alimentos, sin embargo, al aplicar calor, se pueden alterar las características del producto final haciendo que pierda propiedades nutricionales y organolépticas (Anónimo, 2011).

Con base en lo descrito anteriormente, en este proyecto se propuso la liofilización como método de deshidratación para la conservación de la papa criolla, aplicando escaldado como pretratamiento y de esta manera evaluar su efecto en algunas características físicas de calidad de la papa criolla liofilizada tales como la actividad de agua, índice de rehidratación y cambio de color.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La papa es un alimento perecedero debido a su alto contenido de agua, lo que lo hace susceptible a una gran variedad de enfermedades bióticas de tipo fungosas, bacterianas, así como malformaciones y daño por heladas. Lo que se traduce en una corta duración postcosecha y en la necesidad de refrigerarla permanentemente (Toro, 1998).

Una forma de alargar la vida de anaquel de este alimento, afectando mínimamente sus características nutricionales, es mediante la liofilización. Sin embargo, los productos una vez liofilizados, pueden cambiar su color debido a oxidación atmosférica y a la luz (Lewicky, et al., 2005). Por esta razón se propuso, aplicar escaldado por vapor como tratamiento previo a la liofilización, aplicando dos presiones (135.74 y 170.18KPa) durante dos tiempos de proceso (60 y 90s) para así controlar estos cambios. Seguidamente, se liofilizó por 6.5h, de manera que se puedan responder las siguientes preguntas:

¿El escaldado tiene algún efecto en la actividad de agua y el índice de rehidratación del producto final? ¿El escaldado reduce el cambio de color de la papa criolla liofilizada, con respecto a la materia prima?

2 JUSTIFICACIÓN

La importancia de la agricultura se aprecia en la participación que tiene en el PIB; esta rama participa con el 48,18% anual del total de la producción (DANE, 2011). Específicamente, la siembra de papa ocupó, hasta el 2010, cerca de 150.000Ha lo que la hace uno de los productos importantes dentro de la economía del país (Restrepo, 2010).

El consumo de alimentos en Colombia está basado preferiblemente en el uso de productos frescos, esto ocasiona grandes pérdidas de alimentos, pues una vez que estos perdieron su frescura son rechazados en el mercado y pierden calidad, precio y aceptación. Lo que lleva a pensar que el mercadeo de productos agropecuarios requiere que se reorganicen sus formas de comercialización para reducir las altas pérdidas postcosecha que se producen actualmente (Rojas, 2009).

Por otra parte, las exportaciones de papa criolla se hacen con el producto congelado o precocido/congelado con un decrecimiento en los niveles de exportación del producto congelado entre el 2005 y el 2008 y un aumento en el producto precocido/congelado para estos mismos años; sin embargo no se evidencia formas diferentes de exportación para este alimento (PROEXPORT, 2008).

La deshidratación de papa es usada en muchos países por medio de métodos de secado por calor procurando de alargar la vida útil del producto; no obstante, este procedimiento afecta algunas propiedades del alimento como lo son el color, el sabor, la textura y el valor nutricional debido a la continua actividad de las enzimas (Sharma, 2003). Por ejemplo, en India y Perú, se evitan pérdidas y caída de precios por exceso de producción, deshidratando la papa con calor, lo que ocasiona daño en sus propiedades (Oti-Boateng, 1998). Dichas características tienen un papel importante cuando el cliente quiere apreciar un producto que al consumir quede natural y sea confiable en aspecto.

En la liofilización, a diferencia del secado por calor, el encogimiento del alimento es mínimo, el aspecto, la textura, el sabor y el aroma no se pierden y se mantienen las características nutricionales (Ramírez, 2006). Sin embargo, en algunos alimentos frescos liofilizados se presenta una disminución de color (Gómez, et al, 2005).

El escaldado es una operación previa al procesamiento y tiene como principal objetivo llevar a cabo la inactivación de enzimas, eliminación de aire ocluido, fijación de color y reblandecimiento del tejido (Gross, 1987). Puede ser aplicado antes de la congelación, enlatado, liofilización o secado (Gimferrer, 2012).

Con este estudio se pretende realizar una descripción de los diferentes tratamientos evaluados, para establecer si existen o no diferencias significativas entre los tiempos y presiones de escaldado. Así mismo determinar si el pretratamiento mejora o no las características de calidad de la papa criolla liofilizada, y de esta manera dar una alternativa al procesamiento industrial de este alimento que permita aumentar los niveles de exportación

3 OBJETIVOS

3.1 General

Evaluar el efecto de escaldado por vapor sobre algunas características físicas de calidad de la papa criolla (*Solanum phureja*) liofilizada.

3.2 Específicos

1. Seleccionar las condiciones de liofilización para lograr una actividad de agua adecuada
2. Determinar las relaciones entre algunas propiedades físicas de la papa criolla liofilizada y el pretratamiento de escaldado por vapor.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Descripción de la materia prima

4.1.1 Papa criolla

La papa criolla, *Solanum phureja*, pertenece a la familia *Solanacea*, serie tuberosa. Botánicamente es una planta de 60 cm de alto, formada por varios tallos herbáceos con muchas ramificaciones de donde brotan flores blancas o rojas que se conservan hasta el final del ciclo y hojas compuestas de color verde oscuro. El sistema radical se conforma de raíces con ramificaciones laterales y estolones a partir de los cuales se forman los tubérculos, que son órganos de reserva de la planta. En promedio, se estima que la planta produce hasta 40 tubérculos esparcidos en contorno (Luján, 1996).

Es un producto alimenticio típico de las tierras de los Andes, cuya calidad depende del microclima, altura, radicación solar y luminosidad de los ambientes donde se produce (Fano, et al, 1998), siendo las alturas óptimas para su cultivos las comprendidas entre los 2300 y 2800 msnm, lo que equivale a un rango de temperatura de 10° a 20°C. Requiere una precipitación promedio de 900mm de lluvia al año, sin embargo, el cultivo se desarrolla bien con precipitaciones superiores. El mejor suelo para el cultivo de la papa criolla es aquel que presenta una textura franca, suelta y profunda que evita la acumulación de humedad en la raíz, y un pH entre 5.2 y 5.9 además un alto contenido de materia orgánica (CEVIPAPA, 2001).

En general, la papa ocupa el tercer lugar en importancia en el mundo como alimento para consumo humano después del arroz y el trigo (International Potato Center, 2011). Para el 2007, la producción agrícola de Colombia, el 13% lo constituía el grupo de las legumbres hortalizas y tubérculos comestibles, del cual el 5% corresponde a la producción de papa; siendo la papa criolla una de las especies más representativas (DANE, 2011).

El cultivo de papa criolla representa entre 5 y 10% del área de papa cultivada en el país, y la exportación de ese producto asciende a mil toneladas al año (Agencia de Noticias de Ciencia y Tecnología de Colombia, 2005). Representa el 5,3% del área sembrada en Cundinamarca, el 4% en Boyacá (Censo Nacional de la papa, 2003) y el 6% en Nariño (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006). Corpoica reporta que para el 2011, el rendimiento promedio del cultivo estuvo entre 15 y 18ton/Ha (Finagro, 2012).

Nutricionalmente, es uno de los recursos genéticos colombianos de mayor importancia si se considera su alto valor nutricional (Porrás, 2000).

Tabla 1. Aporte nutricional de la papa criolla

Agua	75.5	Fósforo	54.0
Proteína	0.5	Hierro	0.60
Grasas	0.1	Riboflavina	0.06
Carbohidratos	18.7	Niacina	2.50
Fibra	2.2	Ácido ascórbico	15.0
Cenizas	1.0	Tiamina	0.08
Calcio	7.00	Calorías	83.0

Fuente: (CEVIPAPA, 2001).

Debido a estas características Colombia solicitó y obtuvo la exclusión de *Solanum phureja* del Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos (TIRF) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), que fue ratificado por 48 países y entró en vigencia a partir de julio de 2004 (FAO, 2001).

4.1.2 Origen, distribución y comercialización de la papa criolla

El origen de *Solanum phureja* no se conoce con precisión; se estima que el centro de origen de esta especie se encuentra en el altiplano entre Perú y Bolivia, alrededor del lago Titicaca, debido a que en esta zona se encuentra la mayor variabilidad genética de especies silvestres y variedades cultivadas de papa. Se distribuye geográficamente desde el norte de Bolivia hasta el suroccidente venezolano, con un centro de diversidad ubicado en el departamento de Nariño, al sur de Colombia, y en el norte de Ecuador (Estrada, 1996).

Esta especie fue domesticada hace por lo menos 10.000 años en el altiplano localizado al suroeste de Perú y el noroeste de Bolivia (Grun, 1990).

A pesar de ser cultivada en otros países andinos como Perú, Ecuador y Bolivia, la *S. phureja* no se explota allí comercialmente en el nivel que lo hace Colombia. A partir de 1994, durante la apertura económica Colombiana, se inició la industrialización de este cultivo en las presentaciones de papa precocida y congelada (Porras, 2000). Sin embargo, el 98% de la producción de este alimento se destina al consumo interno y sólo el 2% restante se exporta, a países como Venezuela, Estados Unidos y Japón (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006).

Uno de los inconvenientes que se presenta en su comercialización es que en el mercado, se caracteriza por encontrarse una alta diversidad genética, que impide estandarizar algunos procesos industriales, la ausencia de periodo de reposo del tubérculo, hace indispensable ofrecerla en fresco o en distintos grados de elaboración (Del Valle, 1994). Otras desventajas que muestra la papa criolla para su industrialización son: la fluctuación de los precios, la escasa investigación agroindustrial la susceptibilidad a la gota (*P. infestans*) y a las heladas (Suárez, 2001).

4.1.3 Variedades de papa criolla

La variedad que más se cultiva es la Yema de huevo (*S. phureja*), aunque en 2005 se liberaron las variedades Colombia, Latina y Paisa por parte del Programa de Mejoramiento de Papa de la Universidad Nacional de Colombia (Díazgranados, et al., 2007).

Variedad Colombia: (Clon 1, selección clonal de cultivares redondos amarillos de *S. phureja*, colectado y seleccionado en evaluaciones realizadas por Fedepapa, Universidad Nacional de Colombia e ICA). Presenta hábito de crecimiento erecto, buen desarrollo de follaje, color verde claro, flor lila oscuro. Tubérculos de forma redonda, ojos semiprofundos, ausencia de periodo de reposo, color de piel y carne amarillo intenso, bajo rendimiento en el proceso de encurtido, altos contenido de materia seca. Excelente calidad culinaria con características excepcionales para consumo fresco o procesamiento en la presentación precocido congelado y rendimiento promedio de 13 a 15 ton/ Ha (Rodríguez, et al, 2009).

Variedad Latina: {S. phu (Criolla Colombia) x S. gon (Amarilla Tumbay)}, se caracteriza por presentar aptitud para procesamiento industrial en encurtidos (lata o vidrio) y precocida congelada. Presenta hábito de crecimiento erecto, buen desarrollo de follaje, de color verde ligeramente claro, flor lila oscuro. Tubérculos de forma redonda, color de piel y carne amarillo intenso, ojos semiprofundos a medios, mayor producción en el tamaño procesable (2-4 cm), alto rendimiento en el proceso de enlatado (40-50%), periodo vegetativo de cuatro meses, resistencia moderada a *P. infestans*, mayor periodo de reposo (21 d), y potencial de rendimiento de tubérculos entre 16 y 20 ton/Ha (Rodriguez, et al, 2009).

Variedad paiza: {S. gon (Amarilla Tumbay) x S. phu (Criolla Colombia)}, presenta excelente calidad culinaria para consumo fresco. Hábito de crecimiento erecto, buen desarrollo de follaje, color verde claro, flor blanca. Tubérculos de forma redonda, ojos semiprofundos, color de piel y carne amarillo, periodo de reposo de 15 d, resistencia moderada a *P. infestans* y rendimiento promedio de 22 a 25 ton/ Ha. Esta variedad se caracteriza por presentar 86% de tubérculos con diámetro mayor a 4 cm, condición favorable para consumo fresco (Rodriguez, et al, 2009).

4.1.4 Enfermedades

4.1.4.1 Enfermedades fúngicas:

Gota [*Phytophthora infestans* de Bary]. Esta enfermedad es conocida como Gota, Añublo o Tizón tardío, en la cual se afectan hojas, tallos y tubérculos. Sobre las hojas aparecen manchas irregulares con bordes amarillo pálido. En épocas de temporadas húmedas, las manchas incrementan rápidamente su tamaño y en la parte central de las mismas se torna café oscuro o negro y finalmente muere el tejido; a menudo las manchas tienen un tinte de color púrpura. Cuando hay madurez del hongo se observa un crecimiento blanco alrededor de las áreas necrosadas. En épocas de temporadas secas dichas áreas se tornan húmedas alrededor de las manchas de color café. Generalmente, las necrosis empiezan en los ápices de las hojas y en casos más graves cubren toda la hoja hasta causar la muerte de la misma. Los tallos y los tubérculos son infectados rápidamente, produciendo una esporulación blanca parecida al Mildeo velloso (Toro, 1998).

Tizón temprano [*Alternaria solani*]. Esta enfermedad conocida como Añublo o también se le conoce como Mancha de hoja, que comúnmente se ubica en hojas, tallos y tubérculos causando necrosis de color café o negro en las hojas y en menor grado en los tallos, los cuales presentan manchas pardas. Las plantas que escasean de vigor son predispuestas al ataque del hongo. Las altas temperaturas y humedades relativas del ambiente favorecen la evolución de la enfermedad (Toro, 1998).

Roña polvosa [*Spongospora subterranea*]. Esta enfermedad también conocida como Costra, ataca la superficie de los tubérculos y sus raíces. El hongo habita en el suelo y la infección ocurre durante el crecimiento de los tubérculos; al principio aparecen pequeños granitos como ampollas triangulares o cuadradas de color claro. Las lesiones individuales son casi circulares y pequeñas en diámetro, de color café, pero cuando crecen forman una especie de pústulas que corresponden a masas de esporas que luego desgarran el tejido. Cuando los tubérculos están infectados también pueden desarrollar pudriciones secas durante el almacenamiento (Toro, 1998).

Rhizoctoniasis [*Thanatephorus cucumeris*]. Es una enfermedad conocida como Costra negra, puede ser un serio problema para el cultivo de la papa criolla, pues el hongo es de amplia distribución geográfica y tiene un amplio rango de hospedantes: el estado imperfecto del hongo es *Rhizoclonia solani* Kuhn, este se encuentra con mayor frecuencia cuando las condiciones ambientales le son favorables, como la alta humedad relativa del medio, temperaturas frías del suelo, alta fertilidad del suelo y pH de 7. El síntoma más común de la Rhizoctoniasis es la presencia de numerosos esclerocios sobre la superficie de los tubérculos (Toro, 1998).

4.1.4.2 Enfermedades bacterianas:

Pudrición blanda [*Erwinia carotovora*]. Es la enfermedad responsable de la pérdida de muchas cosechas y en especial del cultivo de la papa criolla. *E. carotovora*, presenta bacilos pequeños, Gram negativos y flagelos peritricos; normalmente se encuentra en el suelo y puede causar pudriciones en los tubérculos. La bacteria entra al tejido a través de heridas y de aperturas naturales, si las condiciones de humedad del suelo le favorecen. También hay emisión de exudado de la pudrición que ocurre en los tubérculos en estado avanzado de la enfermedad; usualmente se encuentran microorganismos secundarios que ayudan a una descomposición rápida del material ya emitir olores fétidos (Toro, 1998).

Marchitamiento bacteriano (*Pseudomonas solanacearum*). Esta enfermedad es conocida como Pudrición parda, considerablemente destructiva en regiones tropicales y sub tropicales. La Marchitez bacteriana limita la producción de la papa, especialmente la utilizada para semilla. En la parte aérea de la planta, las señales son marchitamiento, enanismo y amarillamiento del follaje. Si el desarrollo de esta enfermedad es rápida, toda la planta se marchita rápidamente y al hacer un corte transversal de un tallo se observa una coloración marrón del sistema vascular. En el caso de infecciones más graves, el exudado bacteriano se aglutina en la cicatriz del estolón de los tubérculos y hace que la tierra se quede adherida a ellos; en tubérculos cortados de una planta marchita se presenta a menudo una coloración parduzca (Toro, 1998).

4.2 Tratamientos térmicos y procesos

Las tecnologías térmicas han sido el corazón de la conservación y producción de alimentos durante muchos años. Es bien conocido que la aplicación de calor es uno de los principales mecanismos de conservación, para garantizar productos alimentarios comercialmente estériles; es decir, libre de microorganismos patógenos y de deterioro durante la distribución normal y la vida comercial del producto (Richardson, 2005).

4.2.1 Escaldado

El escaldado es un calentamiento de corta duración destinado a inactivar las enzimas propias de un alimento de forma que se detenga su actividad metabólica y se detenga la degradación del mismo. En algunos casos es necesario que el calor penetre más profundo, para alcanzar temperaturas entre 60 a 65°C en el interior del alimento, y así destruir las enzimas que se encuentran en su centro (Fernandez, 2004).

Los factores que determinan el tiempo de escaldado son (Fellows, 2007):

- Tipo de fruta o verdura

- Temperatura
- Tamaño
- Tipo de escaldado

4.2.1.1 Tipos de escaldado

- **Escaldado por vapor:** Cuando se hace el escaldado a vapor el alimento presenta menor pérdida de componentes hidrosolubles, menor volumen de flujos comparado con los escaldadores con agua, son más fáciles de limpiar y esterilizar. Las desventajas de este tipo de escaldadores es que la cocción no es uniforme por toda la superficie del alimento si se presenta demasiada cantidad de éste (Fellows, 2007).
- **Escaldado en agua:** En este tipo de escaldado el alimento se mantiene a una temperatura entre 70 y 100°C. Con este tipo de escaldado la inversión es menor comparado con el escaldado a vapor, además presenta una mayor eficiencia energética. Las desventajas de este tipo de escaldadores es que hay un mayor consumo de agua y mayor riesgo de contaminación por bacterias termófilas (Fellows, 2007). Un tipo de escaldador utilizado comúnmente es la marmita abierta. En este tipo de equipos el suministro de calor proviene de la condensación de vapor de agua en una chaqueta o en serpentines sumergidos en el líquido (Geankoplis, 1998).

4.2.1.2 Efecto del escaldado en las características de los alimentos

La cantidad de calor que recibe el alimento durante el escaldado altera inevitablemente su valor nutritivo y características organolépticas. Por lo general, la combinación de tiempo y temperatura utilizada para este tratamiento se establece como una solución para asegurar la inactivación de enzimas.

Durante el escaldado se pierden minerales, vitaminas y otros componentes hidrosolubles (Fellows, 2007).

- **Macronutrientes.** El escaldado puede disminuir la cantidad de carbohidratos, grasas y proteína soluble en agua en ciertas vegetales. El efecto del escaldado no tiene efecto sobre la fibra dietaria, o en algunos casos el aporte disponible se aumenta ligeramente (Kalmus, 2011).
- **Vitaminas.** El ácido ascórbico y tiamina son particularmente sensibles a los tratamientos térmicos, tales como el escaldado, y se descomponen fácilmente con la exposición al calor (Kalmus, 2011).
- **Minerales.** El contenido de minerales y fibra de vegetales tienden a ser más resistentes frente a los tratamientos por calor (Kalmus, 2011).

4.2.2 Congelación

La congelación es el proceso de conservación originado por la reducción de la temperatura por debajo de aquella en la que comienzan a formarse los primeros cristales de hielo en un material alimenticio (Orrego, 1992).

Modifica mínimamente las características originales de los alimentos perecederos; durante el almacenamiento en estado congelado no se producen pérdidas importantes de pigmentos. Sin embargo se tiene una mayor preocupación por la formación de pigmentos pardos, los que se deben a reacciones de oxidación enzimática de precursores fenólicos incoloros, por lo tanto se debe realizar la inactivación de las enzimas antes de comenzar el proceso de congelación. (Postolsky, 1996).

4.2.2.1 Velocidad de congelación

La congelación puede ser lenta o rápida. En la congelación lenta se forman grandes cristales de hielo que producen roturas celulares. La congelación rápida, por el contrario, forma pequeños cristales que respetan en gran medida la estructura original de los alimentos. A esta congelación se le conoce como ultracongelación y se realiza en corto tiempo, alrededor de 120min, dependiendo de los sistemas empleados (Madrid; Regidor, 2003).

En la mayor parte de los alimentos con fase líquida comienza a formarse hielo por debajo de -1°C y es frecuente que se produzcan fenómenos de subenfriamiento. Este subenfriamiento va seguido de un ligero aumento en la temperatura, asociado a la generación del correspondiente calor de formación de los primeros cristales de hielo (Martínez, 1998).

4.3 Deshidratación de alimentos

La disminución de la humedad de los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados para su conservación. Al reducirle el contenido de agua hasta un nivel muy bajo se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y se disminuye apreciablemente las velocidades de otros mecanismos de deterioro. Además del efecto conservante, mediante la deshidratación se reduce el peso y el volumen, aumentando la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje (Singh, Heldman, 2009).

4.3.1 Liofilización

La liofilización es un proceso de conservación mediante sublimación utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles o termosensibles. Es el más noble proceso de conservación de productos biológicos conocido, porque une los dos métodos más fiables, la congelación y la deshidratación (Ramírez, 2006).

La liofilización involucra tres etapas (figura 1):

- Congelación
- Secado primario: sublimación del hielo del producto congelado, generalmente a muy baja presión. Se estudia en dos etapas, a saber: etapa primaria de y secundaria de secado.
- Secado secundario: Remoción del agua restante.

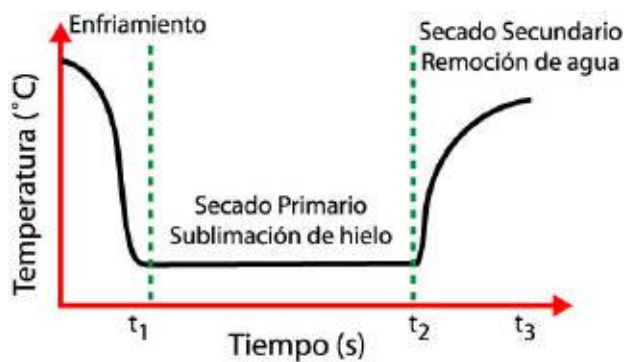


Figura 1. Pasos del proceso de liofilización

Fuente: (Ramírez, 2006).

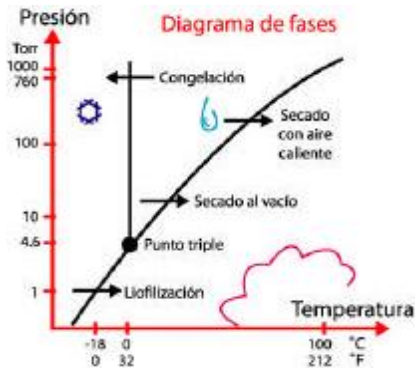


Figura 2. Diagrama de fases del agua

En el secado mediante la liofilización se distinguen tres fases o etapas que se esquematizan en la figura 2. Cuando en el proceso de liofilización comienza el calentamiento empieza a formarse un frente de sublimación o interface entre la capa seca y la capa congelada de la muestra el cual avanza progresivamente, y, para un determinado instante, a una temperatura de interface le corresponde una determinada presión de saturación. La transferencia de masa ocurre por la migración de vapores a través de la capa seca de la muestra bajo la acción de una diferencia de presión, esta transferencia es alta cuando la diferencia de presión es grande (Ramírez, 2006).

4.3.1.1 Partes generales del equipo de liofilización

- **Cámara del liofilizador:** La cámara del secador sirve al proceso de liofilización mediante las siguientes funciones: (a) proporcionar un entorno limpio y a veces estéril para el proceso; y (b) proporcionar las temperaturas y presiones necesarias para congelar y secar el producto.
- **Condensador:** La principal función del condensador es eliminar los vapores condensables antes de que entren en el sistema de bombeo de vacío.
- **Sistema de vacío:** El sistema de vacío está conectado a la cámara del condensador y su función es proporcionar las presiones necesarias para las fases de secado primario y secundario. Los dos rasgos principales de un sistema de vacío que requieren consideración son la tubería de comunicación con el condensador y la naturaleza de la bomba de vacío.

4.3.1.2 Efecto de la liofilización en los alimentos

La liofilización no altera la estructura fisicoquímica del material, pero permite su conservación indefinida sin cadena de frío, con menos del 15% de humedad y alta estabilidad microbiológica (Alvarado, 1979). A diferencia de lo que ocurre en el secado por calor, con la liofilización, el encogimiento del alimento es mínimo, el aspecto, la textura, el sabor y el aroma no se pierden, se mantienen y se intensifican las características nutricionales (Charm, 1981).

4.4 Actividad de agua

La actividad de agua es una medida de la mayor o menor disponibilidad del agua en los diversos alimentos.

Se define como la relación entre la presión de vapor de agua en el alimento y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura.

$$a_w = \frac{P_{al}}{P_o} \quad Ec. 1$$

En el equilibrio hay una equivalencia entre la humedad relativa del aire y la actividad de los alimentos colocados en ese aire.

En el agua pura, donde las moléculas no están unidas a otras moléculas distintas, la actividad de agua es 1. Este componente en los alimentos se encuentra unida con mayor intensidad por las diversas sustancias, disminuyendo así su capacidad de vaporizarse y su reactividad química. Ésta no está disponible; los solutos disminuyen la actividad del agua en los alimentos (Madriñan, 1988).

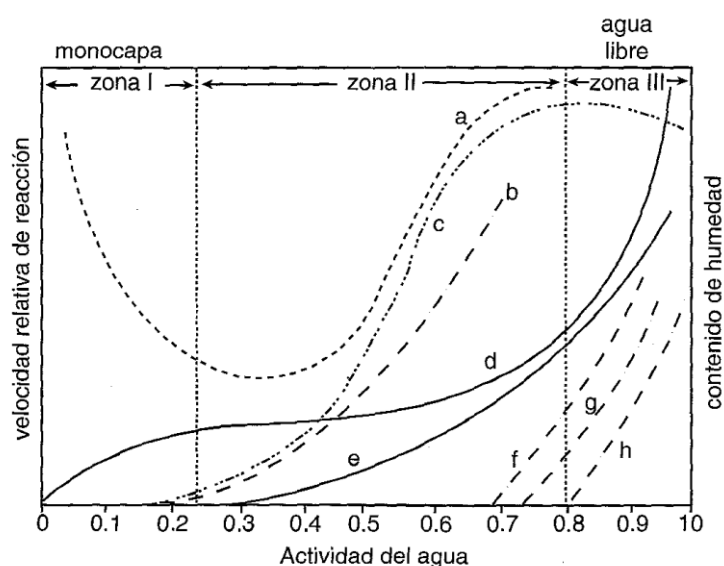


Figura 3. Cambios en los alimentos en función de la actividad de agua. a) Oxidación lipídica. b) Reacciones hidrolíticas. c) Pardeamiento no enzimático. d) Isoterma de adsorción. e) Actividad enzimática. f) Crecimiento de hongos. g) Crecimiento de levaduras. h) Crecimiento de bacterias.

Fuente: (Badui, 1993).

Los alimentos liofilizados presentan A_w por debajo de 0.4 (Ayala, et al., 2010), sin embargo no se recomienda reducirla por debajo de 0.1 ya que se requiere mucha energía y se puede dañar la estructura del alimento (Badui, 1993).

4.5 Color

El color es la primera sensación que se percibe de un alimento y lo que determina el primer juicio sobre su calidad. Los alimentos naturales tienen su propio color y lo que se busca en su procesamiento es que se mantenga durante la transformación industrial (Cubero, et al, 2002). Se puede definir el color en el sentido físico como la distribución de energía reflejada o transmitida por un alimento en particular (Alvarado, 1991).

El color natural de los alimentos es fácilmente degradado debido a su inestabilidad a la temperatura, luz, oxígeno, etc. (Liatrakon, et al, 2012).

El espacio CIELAB (figura 4) permite especificar estímulos de color en un espacio tridimensional. El eje L es el de luminosidad y va de 0 (negro) a 100 (blanco). Los otros dos ejes de coordenadas son a y b, y representan variación entre rojizo-verdoso, y amarillento-azulado, respectivamente. (Minolta, 2007).

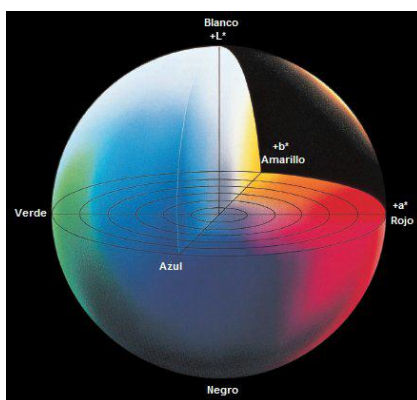


Figura 4. Representación del espacio de color L, a, b

Fuente: (Minolta, 2007).

A partir de las coordenadas L, a, b se puede determinar una diferencias de color.

4.5.1 Cambio de color

Cuantifica numéricamente la diferencia de percepción de color, para el ojo humano, entre dos muestras del alimento. Se define como el índice general de diferencia de color (Ramírez, 2010).

4.5.2 Índice de Amarillez

Este valor indica el grado en que la superficie de la muestra es diferente del blanco ideal en el sentido del amarillo. Cuando la diferencia desde el blanco ideal se incrementa, el índice de amarillo/azul (IA) se incrementa. Así, si el valor crece en la escala positiva IA (+) indica diferencia hacia el amarillo y si lo hace hacia la escala negativa, IA (-) indica diferencia hacia el azul (Ramírez, 2010).

4.6 Rehidratación

Algunos alimentos deshidratados enteros, en trozos o pulverizados, deben ser rehidratados para su consumo o uso posterior en diferentes procesos. Es importante considerar que 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. Las operaciones previas a la deshidratación, llamadas pretratamientos, tienen marcada influencia sobre las características y la composición del producto finalmente rehidratado. Aquellos pretratamientos que contribuyen a mantener la integridad de los tejidos permiten evitar mayores pérdidas de sólidos solubles hacia el medio de rehidratación (Lewicki, 1998).

Los alimentos deshidratados deben en lo posible rehidratarse lo más rápido posible y mostrar las mismas características estructurales y químicas del alimento fresco, como también sus propiedades nutricionales y sensoriales (Vega, 2003).

Las variables operacionales del secado afectan significativamente la calidad final del producto rehidratado, por lo que es común utilizar índices numéricos para observar este efecto, entre estos indicadores destacan la capacidad de rehidratación y la capacidad de retención de agua, que tienen que ver con la estructura, el tejido y la capacidad de mantener el agua absorbida por el alimento. Estos índices pueden disminuir o aumentar, ya sea por una desnaturalización y/o agregación de proteínas bajo el efecto calor, concentración de sales, desorción de agua, destrucción de pectinas y membranas celulares (Sanjuán, et al, 2001).

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materia prima

Se utilizó papa criolla procedente de la ciudad de Pasto, Nariño comprada en el mercado local de Santiago de Cali. Para la elaboración de las muestras se empleó papa con tamaño uniforme de 5cm de diámetro aproximadamente, de textura firme y un color amarillo brillante.

Las papas se rebanaron en tajadas de 1cm de espesor y se porcionaron en forma cilíndrica, con ayuda de un cilindro plástico de 1cm de diámetro. Así, las dimensiones de las muestras de papa criolla a trabajar, corresponden a 1cm de diámetro por 1cm de espesor.

Para caracterizar la materia prima se midió la actividad de agua y se calculó el índice de amarillez de la papa fresca, obteniendo valores de $a_w = 0.9696$ e $IA = 87.24$, para posteriormente ser comparados con los resultados obtenidos.

5.2 Definición del tiempo de liofilización

Las muestras de papa criolla sin escaldar y con escaldado a 170.18KPa se liofilizaron por 8 horas y se evaluó la actividad de agua como referencia, obteniendo valores menores a 0.1 con los cuales se concluyó que se podía disminuir el tiempo de liofilización para lograr valores de actividad de agua por debajo de 0.4.

De esta manera se evaluó la actividad de agua de las muestras liofilizadas a 7, 6 y 6.5 horas y a partir de los resultados obtenidos se determinó el mejor tiempo de liofilización.

Se usaron las muestras frescas y las escaldadas a 170.18KPa, ya que constituían las condiciones más extremas a estudiar.

5.3 Escaldado

Las muestras se introdujeron en canastillas de acero inoxidable, las cuales se llevaron al interior de un escaldador de vapor. Se empleó vapor saturado a dos presiones, alimentado desde una caldera.

El proceso para el escaldado de las muestras se realizó con base a un diseño factorial 2x2, contando con los factores presión y tiempo de escaldado, y los niveles para cada factor como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Diseño utilizado en el escaldado de la papa criolla

Factores	Niveles	Variables de respuesta
Tiempo de escaldado (s)	60	Actividad de agua (Aw)
	90	Cambio total de color (ΔE)
Presión de escaldado (KPa)	135.74	
	170.18	Indice de rehidratación (IR)

Se realizaron dos repeticiones, codificando las muestras por cada tratamiento. Los tratamientos se nombraron P1 t1 (135.74KPa, 60s), P1 t2 (135.74KPa, 90s), P2 t1 (170.18KPa, 60s) y P2 t2 (170.18KPa, 90s)

Durante el pretratamiento se registró la temperatura interna de las muestras con termocuplas tipo k, las cuales se insertaron en el centro de las muestras, para cada tratamiento.

Después del escaldado, las muestras se sometieron a un choque térmico, sumergiéndolas en agua potable a 10°C durante 10s.

5.4 Congelación

Se usó ultracongelación tanto para las muestras frescas, como para las pretratadas, a una temperatura de -50°C durante 2 horas.

Durante este tiempo, se registró el cambio en la temperatura interna de las muestras usando termocuplas tipo k las cuales se ubicaron en el centro de las mismas; de acuerdo a los datos obtenidos se determinaron las cinéticas de congelación.

5.5 Liofilización

Las muestras de papa criolla frescas y escaldadas se liofilizaron en un equipo compuesto por cuatro viales a 14Pa durante 6.5h. En cada vial se colocaron 4 muestras a las mismas condiciones operacionales.

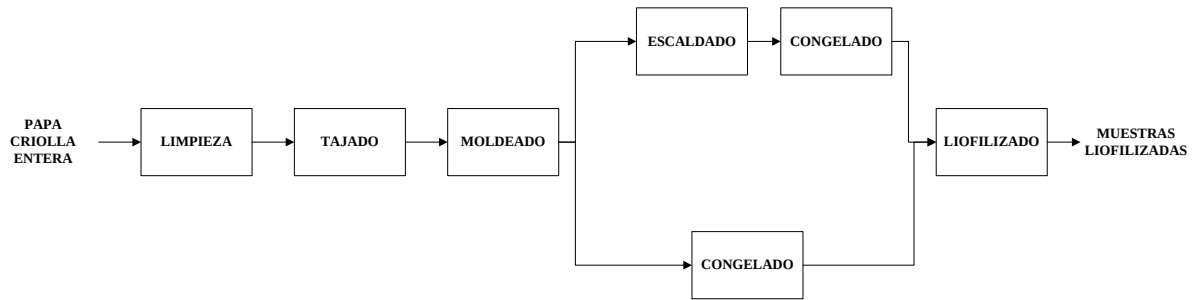


Figura 5. Diagrama de bloques para la liofilización de papa criolla fresca y escaldada.

5.6 Evaluación de las características de calidad

- **Actividad de agua:** Se tomaron muestras de cada vial, se maceraron para así hacer las muestras más uniformes y se les midió actividad de agua usando un equipo AQUALAB modelo 4TE. Las mediciones se hicieron por duplicado.
- **Cambio de color (ΔE):** Se determinó el cambio de color mediante el sistema CIELAB, midiendo las coordenadas L^* , a^* , b^* mediante un colorímetro (COLORFLEX, HunterLab). Para esto se tomaron muestras de cada vial y se maceraron; las mediciones se hicieron por duplicado.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2} \quad Ec. 4$$

Índice de amarillez: Para calcular el índice de amarillez se usaron los mismos datos registrados para calcular el ΔE , de acuerdo a la siguiente ecuación. (Ramírez, 2010). Este parámetro se utilizó para determinar la disminución del color amarillo en las muestras como consecuencia de la liofilización; no se incluyó como variable de respuesta.

$$IA = 142.86 \left(\frac{b^*}{L^*} \right) \quad Ec. 5$$

- **Índice de rehidratación:** Las muestras se rehidrataron en una caja de Petri con 10ml de agua destilada a temperatura ambiente por dos horas, sin agitación. Este tiempo se determinó mediante una cinética de rehidratación (ver anexos, figura 13), calculando el punto de máxima absorción de agua. Posteriormente, se retiró el exceso de agua con papel secante y se pesaron hasta tener peso constante. Para calcular el índice de rehidratación se utilizó la ec. 6 (Marín, et al, 2006).

$$IR = \frac{\text{masa de agua absorbida}}{\text{masa de la muestra deshidratada}} \quad Ec. 6$$

5.7 Modelo del diseño experimental

El diseño se evaluó empleando análisis de varianza (ANOVA), con lo que se determinó la significancia de los factores para un $\alpha = 0.05$. Para determinar el mejor tratamiento se utilizó el criterio de diferencia mínima significativa (LSD), para el mismo nivel de significancia.

$$LSD = t(Gl, \alpha 0.05) * \sqrt{\frac{2 * CM\ error}{r}} \quad Ec.7$$

Donde; r: número de repeticiones
Gl: grados de libertad del error experimental
CM error: Cuadrado medio del error

La ecuación para el modelo propuesto es:

$$Y_{i,j} = \mu + a_i + b_j + (ab)_{ij} + \varepsilon \quad Ec.8$$

Siendo

$Y_{i,j}$: Variable de respuesta Aw, ΔE e IR

μ : Promedio general de cada variables de respuesta

a_i : Efecto de la presión de escaldado sobre la variables de respuesta

b_j : Efecto del tiempo de escaldado sobre la variables de respuesta

$(ab)_{ij}$: Efecto de la interacción presión-tiempo sobre las variables de respuesta

ε : Error aleatorio

Para definir la variabilidad de los resultados experimentales se halló el coeficiente de variación (CV), teniendo como valor máximo de aceptación CV=20%. Se empleó la ec. 9 para calcularlo.

$$CV = \frac{\sqrt{CM\ Error\ exp}}{r \cdot t} \times 100 \quad Ec.9$$

5.7.1 Prueba de hipótesis

Se planteó la hipótesis nula indicando que el efecto de la presión, el tiempo de escaldado y su interacción no generaban diferencias significativas sobre la variable de respuesta estudiada (aw, ΔE e IR) de la papa criolla liofilizada. Por el contrario la hipótesis alternativa indicó un efecto significativo de los factores y su interacción sobre las variables de respuesta.

$$H_0 = (ab)_{ij} = 0 \text{ para todo } i, j \quad Ec.10$$

$$H_1 = (ab)_{ij} \neq 0 \quad Ec.11$$

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Determinación del tiempo de liofilización

Se consideraron los valores de actividad de agua por debajo de 0.4 como criterio de aceptación para definir el mejor tiempo de liofilización. Las muestras sin escaldar y las escaldadas a 170.18KPa se liofilizaron debido a que eran las condiciones evaluadas más extremas.

En la tabla 3 se muestran los valores de actividad de agua obtenidos para 8, 7, 6 y 6.5h de liofilización; estos estuvieron por debajo de 0.4 en las muestras pretratadas y sin pretratar, exceptuando las liofilizadas durante 6h.

Debido que al liofilizar durante 6.5h se logró valores de actividad de agua por debajo de 0.4, se eligió éste como el mejor tiempo de liofilización, ya que con esto también se reducía el costo energético del proceso.

Tabla 3. Determinación del tiempo de liofilización de acuerdo a la A_w .

TIEMPO LIO (h)	MUESTRAS	A_w	DES V EST
8	FRESCA	0.1700	0.0065
8	P2 t1	0.0291	0.0053
8	P2 t2	0.0366	0.0136
7	FRESCA	0.2517	0.0022
7	P2 t1	0.0587	0.0077
7	P2 t2	0.0764	0.0078
6	FRESCA	0.5123	0.0055
6	P2 t1	0.4416	0.0055
6	P2 t2	0.3179	0.0227
6.5	FRESCA	0.3773	0.0134
6.5	P2 t1	0.2888	0.0030
6.5	P2 t2	0.1888	0.0089

En la liofilización de moluscos chanque (*Concholepas concholepas*) realizado por (Pérez, 2010), se reportó que al liofilizar este alimento durante 6.5h, se obtuvieron valores promedio de actividad de agua 0.35.

6.2 Obtención de muestras escaldadas

Como se observa en la figura 6, el proceso se caracterizó por un aumento progresivo de la temperatura en el interior de las muestras en cada tratamiento, alcanzando temperaturas finales por encima de los 60°C. En todos los casos se superó temperatura de gelatinización del almidón, la cual se encuentra entre 60 y 65°C (Montañez, 2002). Cuando el tejido de la papa se calienta por encima de los 50°C, los gránulos de almidón intracelular absorben agua y provocan el hinchamiento de las

células (Reeve, 1977). A temperaturas superiores de los 70°C ocurre la degradación térmica de los polisacáridos de la pared celular y el almidón de papa se solubiliza y se gelatiniza, causando más hinchamiento y separación de las células (Hughes; et al., 1975).

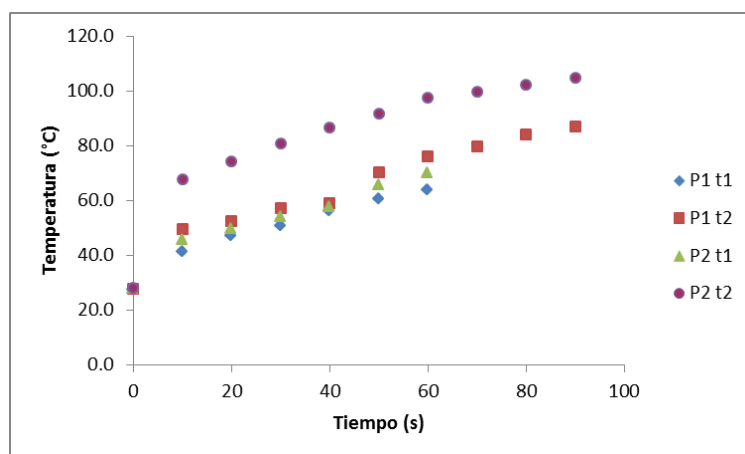


Figura 6. Aumento de la temperatura de las muestra durante el escaldado

Al presentarse gelatinización del almidón durante el escaldado, se podría explicar el aumento del contenido de agua de las muestras como se observa en la tabla 4; debido a que durante la gelatinización, el gránulo de almidón absorbe una mayor cantidad de agua (Badui, 1993).

Tabla 4. Agua ganada por las muestras durante el escaldado

TRATAMIENTO	AGUA GANADA(%)	DESV ESTANDAR (g)
P1 t1	4.63	0.02
P1 t2	7.63	0.03
P2 t1	11.88	0.02
P2 t2	15.90	0.04

Como resultado del proceso de escaldado también se evidenció intensificación de color en las muestras, con respecto a las muestras de papa sin escaldar, como se muestra en la figura 7. Este fenómeno se observó con cada uno de los tratamientos.



Figura 7. Intensificación de color de la papa criolla durante el escaldado

Esta fijación de color presentada, como se demuestra en experimentos anteriores, se debe a que el escaldado por vapor minimiza la lixiviación de sólidos solubles, lo que mejora la retención del color dando como resultado un producto final con coloración superior (Johnson, 2011).

Esto concuerdan con los resultados obtenidos por (Rodríguez, 1999) al encontrar que el escaldado por vapor fijó el color de cuatro vegetales estudiados; siendo esto un buen indicador de la presencia de carotenoides en dichos vegetales después del procesado.

6.3 Congelación

En la figura 8 se observan las curvas de congelación de papa criolla sin escaldar (P0 t0) y escaldada (P1 t1), (P1 t2), (P2 t1) y (P2 t2) previas a la liofilización. Puede observarse que el punto de congelación es similar para todos los tratamientos con un valor de -2.5°C , iniciando aproximadamente, a los 8min. Sin embargo, en este periodo, en el cual la temperatura del alimento permanece más o menos constante, aumentó en relación a la presión y temperatura de escaldado. Esto puede deberse al aumento en la cantidad de agua de las muestras pretratadas mencionado anteriormente; ya que uno de los factores que afecta el tiempo de congelación es el porcentaje de agua contenida en el alimento (Bello, 2000).

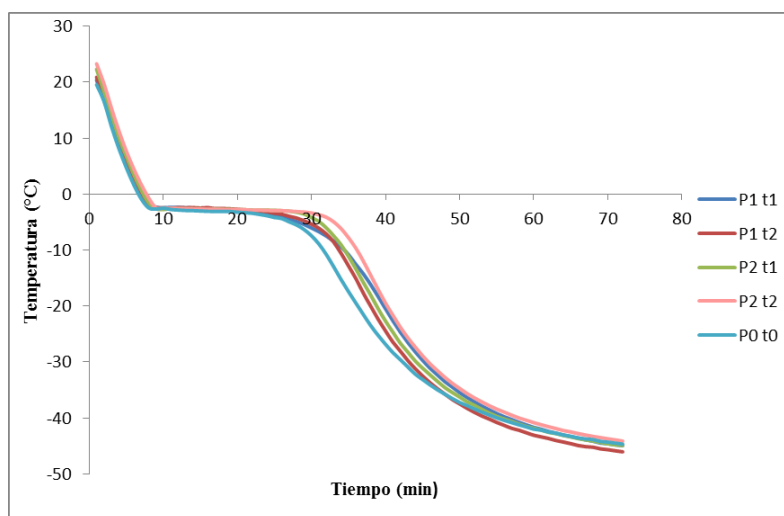


Figura 8. Cinéticas de congelación de las muestras pretratadas y sin tratar.

6.4 Resultados obtenidos para las variables de respuesta

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos para las variables de respuesta posterior a la liofilización, tanto para las muestras frescas como las pretratadas.

Tabla 5. Datos para las variables de respuesta

MUESTRA LIOF	Aw	ΔE	IR
Fresca	0.3781	34.29	3.52
P1 t1	0.3472	29.29	3.72
P1 t2	0.3195	26.57	3.58
P2 t1	0.3008	25.99	4.41
P2 t2	0.1836	24.75	5.38

A continuación se presenta el análisis estadístico para determinar el mejor tratamiento de escaldado.

6.5 Efecto del escaldado sobre la aw de las muestras liofilizadas

A continuación se presenta el análisis estadístico realizado para determinar el efecto de las condiciones de escaldado sobre la actividad de agua de la papa criolla liofilizada.

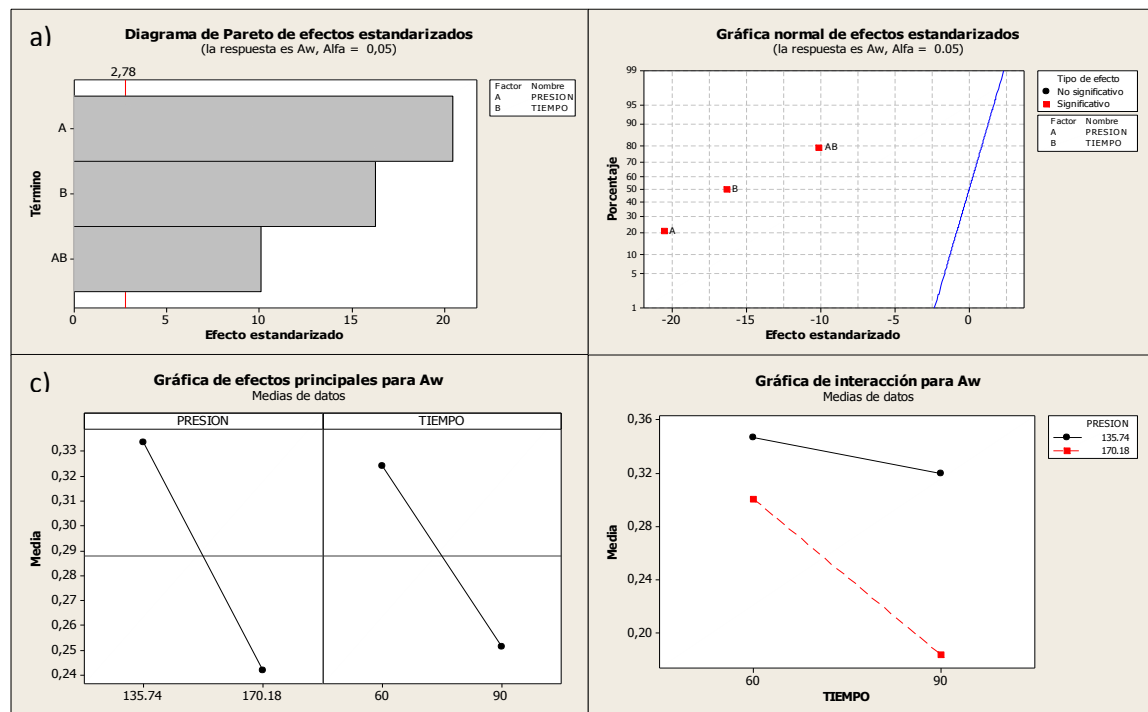


Figura 9.a) Magnitud del efecto de los factores sobre la Aw. b) Probabilidad normal de efectos estandarizados. c) Diagrama de efectos principales. d) Diagrama de interacción entre los factores

De acuerdo a la figura 9a) la presión es el efecto de mayor magnitud absoluta con respecto a la incidencia sobre los valores de actividad de agua de las muestras liofilizadas. Sin embargo no permite descartar los efectos tiempo y presión-tiempo, debido a que sobrepasan la línea de referencia, la cual indica el valor absoluto de los efectos, mostrando que son significativos a un alfa de 0.05.

La figura 9b) confirma el resultado obtenido en el diagrama de Pareto, mostrando que los efectos de la presión, tiempo y presión- tiempo son significativos para un alfa de 0.05.

En la figura 9c) se puede observar que las muestras tratadas a 170.18 KPa tuvieron una disminución mayor en la actividad de agua. En el caso del tiempo de escaldado, se puede observar que las muestras tratadas a 90s, presentaron una mayor disminución en la actividad de agua. Sin embargo, debido a que la pendiente en la presión es más pronunciada, se puede decir que este factor tiene una mayor incidencia en los resultados.

La figura 9d) muestra interacción entre la presión y tiempo de escaldado, ya que las líneas no son paralelas. Se muestra que al emplear una presión de 170.18 KPa junto con un tiempo de 90s de escaldado se obtiene valores de actividad de agua más bajos (<0.2).

Debido a que la línea de 170.18KPa tiene una pendiente más pronunciada, se puede concluir que el tiempo tiene un mayor efecto en la disminución de actividad de agua, cuando se es escaldan las muestras a esta presión.

6.5.1 Ajuste factorial: Aw vs. PRESION, TIEMPO

Tabla 6. Efectos y coeficientes estimados para Aw (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coeficiente	SE Coef	T	P
Constante		0.28776	0.002224	129.39	0.000
Presión	-0.09117	-0.04559	0.002224	-20.50	0.000
Tiempo	-0.07243	-0.03621	0.002224	-16.28	0.000
Presión*Tiempo	-0.04483	-0.02241	0.002224	-10.08	0.001

S = 0.00629037

PRESS = 0.0006331

R-cuad. = 99.49%

R-cuad.(pred.) = 97.98%

R-cuad.(ajustado) = 99.11%

Teniendo en cuenta los valores negativos de los 3 efectos, se puede concluir que tanto la presión como el tiempo y la combinación de estos dos, ayudan a disminuir la actividad de agua de la papa criolla liofilizada. Por otra parte, los P-valores son menores que el valor de alfa por lo que se debe rechazar la hipótesis nula (H_0), concluyendo así que las medias de los tratamientos son diferentes.

Analizando el valor de R^2 , se puede considerar que la variación en la actividad de agua, se ve influenciada por ambos factores y su combinación. También se puede tener una buena capacidad predictiva de una ecuación obtenida de este diseño.

Comparando los valores de F arrojados por la ANOVA (ver anexo, tabla 15), con el $F_{\text{Tabla}}(3, 7) = 4.35$, se verifica que existen diferencias significativas entre los efectos de presión, tiempo y presión-tiempo, sobre la disminución de la actividad de agua de las muestras liofilizadas.

6.5.2 Comparación múltiple de los factores

Debido a que se descartó la hipótesis nula (H_0), se realizó un análisis pos-anova, para definir, le mejor tratamiento. Para esto se usó el método de diferencia mínima significativa (LSD). Reemplazando los valores obtenidos del análisis de varianza, resultó $LSD = 0.0134$.

Para determinar cuál(es) tratamientos proporciona una disminución de actividad de agua más significativa, se comparó la diferencia de medias de los tratamientos con el valor LSD .

Tabla 7. Diferencias entre las medias de los tratamientos.

TRATAMIENTOS	P2 t2	P2 t1	P1 t2	P1 t1
P1 t1	0.1636	0.0464	0.0276	
P1 t2	0.1360	0.0188		0.0276
P2 t1	0.1172		0.0188	0.0464
P2 t2		0.1172	0.1360	0.1636

Si bien todos los resultados de las diferencias entre las medias son mayores que el valor LSD, se puede observar que el tratamiento hecho a 170.18KPa y 90s dio los mejores resultados en la disminución de la actividad de agua de la papa criolla liofilizada.

El coeficiente de variación del modelo es aceptable ($CV = 0.08\%$), lo que indica, una buena homogeneidad en los datos del diseño experimental, ($CV < 20\%$).

Para determinar la ecuación de mejor ajuste para el diseño factorial, siguiendo la ec. 8, se usaron los coeficientes de la tabla 16 (ver anexos).

$$Y_{P,t} = 0.2694 + 0.391029P + 0.00206833t - 0.00878922Pt \pm 0.002224 \quad \text{Ec.12}$$

6.6 Efecto del escaldado sobre el índice de rehidratación de las muestras liofilizadas

El siguiente análisis estadístico presenta la influencia de las condiciones de escaldado sobre el índice de rehidratación de la papa liofilizada.

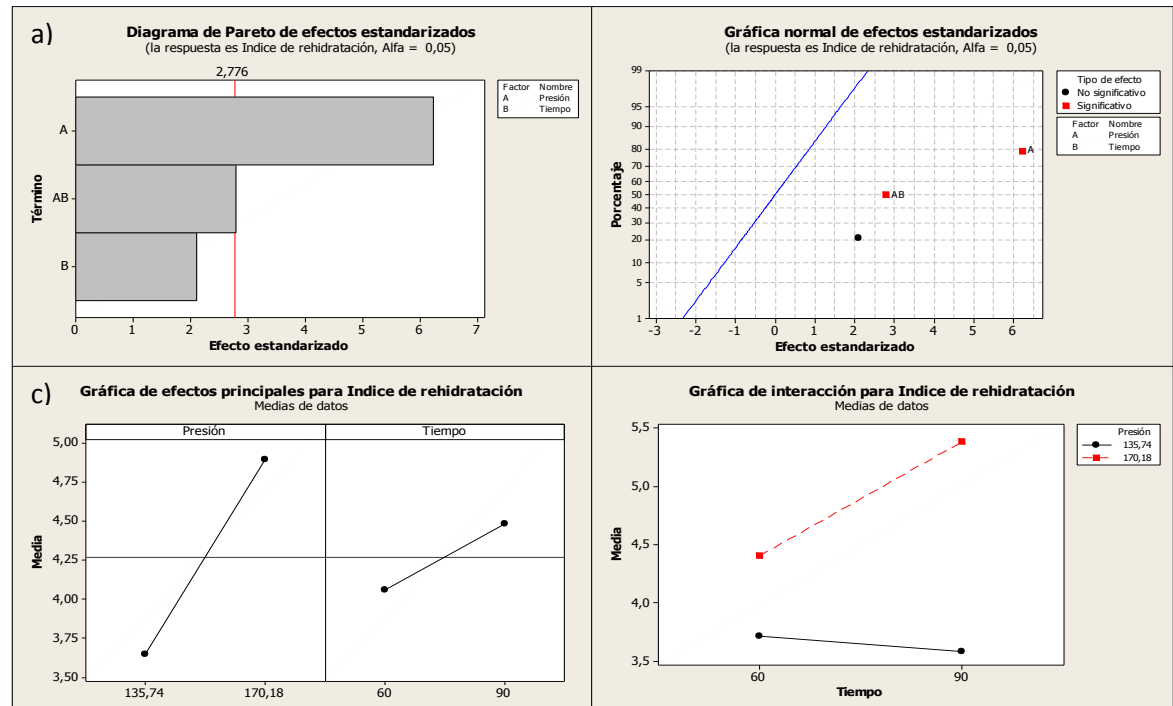


Figura 10. a) Diagrama de Pareto con nivel de significancia para el efecto de los factores. b) Probabilidad normal de los efectos estandarizados. c) Diagrama de efectos principales. d) Interacción entre la presión y el tiempo

La figura 10a) indica que el factor A (Presión) es significativo porque se encuentra por encima del valor absoluto de los efectos estandarizados y el factor AB (Interacción entre presión y tiempo) se encuentra en el límite de dicho valor. Sin embargo, el factor A tiene un efecto estandarizado mucho

más alto en el cual se evidencia que la presión tiene mayor efecto en la variable de respuesta y el factor B (Tiempo) no presenta influencia significativa sobre la variable de respuesta.

En la figura 10b) muestra que dos de los efectos estandarizados de los factores utilizados en el diseño experimental fueron significativos; se analizaron individualmente y la interacción existente entre ellos. Para la variable de respuesta; Índice de Rehidratación, se evidencia un nivel significativo en la presión y la combinación presión tiempo con un nivel de significancia de 0.05 y un porcentaje de confiabilidad mayor confirmando el diagrama de Pareto visto anteriormente.

En la figura 10c) se observa cómo influye la presión más alta de manera significativa sobre el índice de rehidratación en comparación de la presión más baja. Así mismo, el tiempo mayor influye de manera significativa en el IR en comparación con el tiempo menor.

En la figura 11d) demuestra interacción entre la presión y tiempo de escaldado, ya que las líneas no son paralelas. Se muestra que al emplear una presión de 170.18 KPa junto con un tiempo de 90s de escaldado se obtienen los valores de índice de rehidratación más altos.

Debido a que la línea de 170.18KPa tiene una pendiente más pronunciada, se puede concluir que el tiempo tiene un mayor efecto en el aumento del índice de rehidratación, cuando se es escaldan las muestras a esta presión.

6.6.1 Ajuste factorial: IR vs. PRESIÓN, TIEMPO

Tabla 8. Efectos y coeficientes estimados para IR (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coef	SE Coef	T	P
Constante		4,2713	0,1001	42,65	0
Presión	1,2475	0,6237	0,1001	6,23	0,003
Tiempo	0,4225	0,2112	0,1001	2,11	0,103
Presión*Tiempo	0,5575	0,2787	0,1001	2,78	0,05

S = 0,283262

PRESS = 1,2838

R-cuad. = 92,73%

R-cuad.(pred.) = 70,90%

R-cuad.(ajustado) = 87,27%

Teniendo en cuenta los valores positivos de los 3 efectos, se puede diferir que la presión como el tiempo y la interacción de estos dos, ayudan a aumentar el índice de rehidratación de la papa criolla liofilizada. Por otra parte, el P-valor para presión es menor que el valor de alfa e igual para la interacción entre presión-tiempo por lo que se debe rechazar la hipótesis nula (H_0); sin embargo el P-valor para el tiempo es mayor que el valor del alfa, pero en la figura 14 se demostró que no es un efecto significativo por lo cual no se tiene en cuenta para este y un análisis posterior.

Analizando el valor de R^2 , se puede considerar que el aumento en el índice de rehidratación, se ve influenciada por el factor presión y la interacción entre presión-tiempo. También se puede tener una buena capacidad predictiva de una ecuación obtenida de este diseño.

Comparando los valores de F arrojados por la ANOVA (ver anexos, tabla 17), con el $F_{\text{Tabla (3, 7)}} = 4.35$, se verifica que existen diferencias significativas entre los efectos de presión y presión-tiempo, sobre el índice de rehidratación de la papa liofilizada; sin embargo, podemos notar que también

existe una pequeña diferencia significativa en el tiempo comparada con la presión y la interacción entre ellos.

6.6.2 Comparación múltiple de los factores

Debido a que se descartó la hipótesis nula (H_0), se realizó un análisis post-anova, para definir, el mejor tratamiento. Para esto se usó el método de diferencia mínima significativa (LSD). Remplazando los valores obtenidos del análisis de varianza, resultó $LSD = 0,78635$

Para determinar cuál(es) tratamientos proporciona un aumento de índice de rehidratación más significativo, se comparó la diferencia de medias de los tratamientos con el valor LSD .

Tabla 9. Diferencias entre las medias de los tratamientos.

Tratamientos	P2 t2	P2 t1	P1 t2	P1 t1
P1 t1	1,67	0,69	0,135	
P1 t2	1,805	0,825		0,135
P2 t1	0,98		0,825	0,69
P2 t2		0,98	1,805	1,67

No todos los resultados de las diferencias entre las medias son mayores que el valor LSD , se puede observar que el tratamiento hecho a 170.18KPa y 90s dio los mejores resultados en el aumento del índice de rehidratación de la papa criolla liofilizada.

En los casos donde el LSD dio menor es porque no existe diferencia significativa entre esos tratamientos como lo son en el de 0,34KPa y 90 y 60 s; y entre 135.74 y 0,68 KPa con 60s demostrando así que el tratamiento P2t2 afecta de manera más significativa el IR.

El coeficiente de variación del modelo es aceptable ($CV = 10,02\%$), lo que indica, una buena homogeneidad en los datos del diseño experimental, ($CV < 20\%$).

Para determinar la ecuación de mejor ajuste para el diseño factorial, siguiendo la ec. 8, se usaron los coeficientes de la tabla 18 (ver anexos).

$$Y_{p,t} = 5,525 - 4,529441P - 0,0416667t + 0.109314Pt \pm 0.08024 \quad Ec.13$$

6.7 Efecto del escaldado sobre el cambio de color de las muestras liofilizadas

El siguiente análisis estadístico presenta la influencia de las condiciones de escaldado sobre el cambio de color de la papa liofilizada.

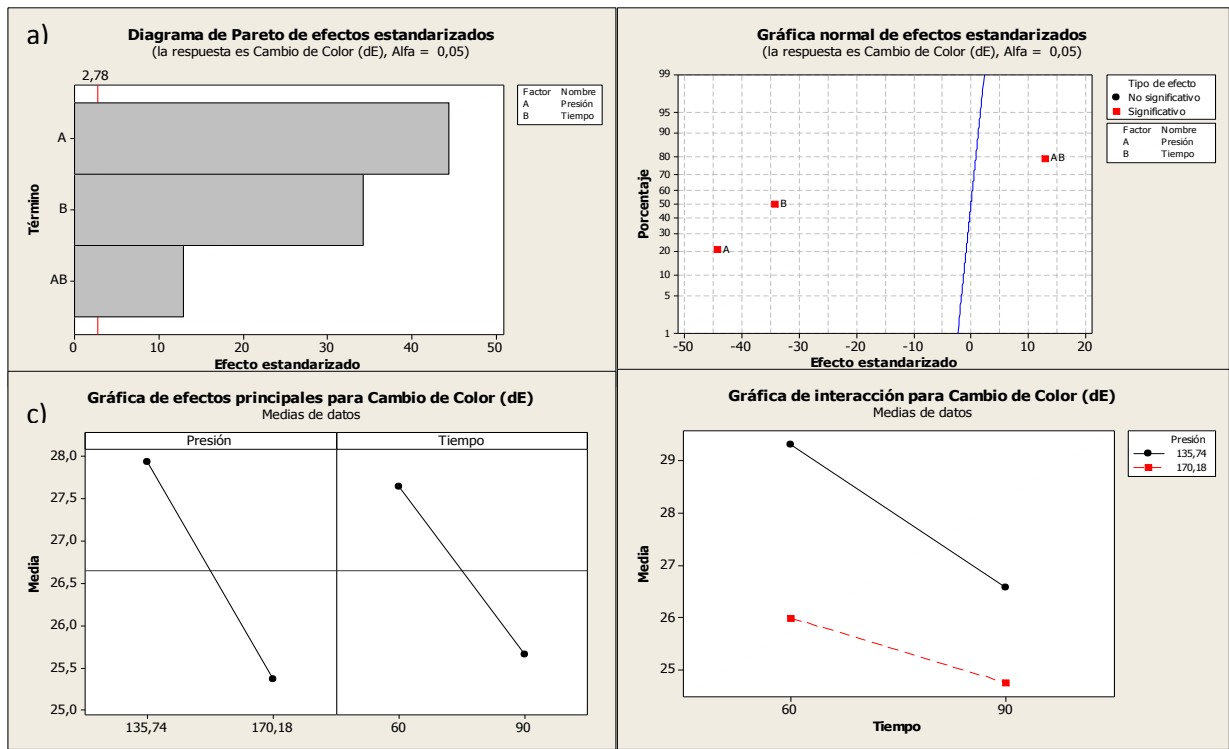


Figura 11. a) Diagrama de Pareto con nivel de significancia para el efecto de los factores. b) Probabilidad normal de efectos estandarizados. c) Diagrama de efectos principales. d) Diagrama de interacción entre los factores

En la figura 11a) se puede observar que la presión es el efecto de mayor magnitud absoluta con respecto a la incidencia sobre el cambio de color de las muestras liofilizadas. Sin embargo no permite descartar los efectos tiempo y presión-tiempo, debido a que sobrepasan la línea de referencia, la cual indica el valor absoluto de los efectos, mostrando que son significativos a un alfa de 0.05.

La figura 11b) confirma el resultado obtenido en el diagrama de Pareto, mostrando que los efectos de la presión, tiempo y presión- tiempo son significativos para un alfa de 0.05.

En la figura 11c) se puede observar que las muestras tratadas a una presión de 170.18 KPa tuvieron una disminución mayor en el cambio de color. En el caso del tiempo de escaldado, se puede observar que las muestras tratadas a 90s, presentaron una mayor disminución en el cambio de color. Ambas pendientes son pronunciadas, sin embargo, debido a que la pendiente en la presión es más pronunciada, se puede decir que este factor tiene una mayor incidencia en los resultados.

En la figura 11d) se observa interacción entre la presión y tiempo de escaldado, ya que las líneas no son paralelas. Se muestra que al emplear una presión de 170.18 KPa junto con un tiempo de 90s de escaldado se obtiene valores de cambio de color más bajos.

Debido a que la línea de 135.74KPa tiene una pendiente más pronunciada, se puede concluir que el tiempo tiene un mayor efecto en el cambio de color, cuando se es escaldan las muestras a esta presión.

6.7.1 Ajuste factorial: ΔE vs. PRESION, TIEMPO

Tabla 10. Efectos y coeficientes estimados para ΔE (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coeficiente	SE Coef	T	P
Constante		26,653	0,02889	922,69	0
Presión	-2,56	-1,28	0,02889	-44,31	0
Tiempo	-1,98	-0,99	0,02889	-34,27	0
Presión*Tiempo	0,745	0,373	0,02889	12,9	0

S = 0,0817007

PRESS = 0,1068

R-cuad. = 99,88%

R-cuad.(pred.) = 99,52%

R-cuad.(ajustado) = 99,79%

Teniendo en cuenta los valores negativos de 2 de los efectos, se puede concluir que tanto la presión como el tiempo, ayudan a que exista un cambio significativo en la disminución de color en la papa criolla liofilizada. Por otra parte, los P-valores son menores que el valor de alfa (ceros) por lo que se debe rechazar la hipótesis nula (H_0), concluyendo así que las medias de los tratamientos son diferentes.

Analizando el valor de R^2 , se puede considerar que la variación en el cambio de color, se ve influenciada por ambos factores y su combinación. También se puede tener una buena capacidad predictiva de una ecuación obtenida de este diseño.

Comparando los valores de F arrojados por la ANOVA (ver anexos, tabla 19), con el $F_{\text{Tabla (3, 7)}}$ = 4.35, se verifica que existen diferencias significativas entre los efectos de presión, tiempo y presión-tiempo, sobre el cambio de color de las muestras liofilizadas.

6.7.2 Comparación múltiple de los factores

Debido a que se descartó la hipótesis nula (H_0), se realizó un análisis post-anova, para definir, el mejor tratamiento. Para esto se usó el método de diferencia mínima significativa (LSD). Remplazando los valores obtenidos del análisis de varianza, resultó $LSD = 0,227$.

Para determinar cuál(es) tratamientos proporcionan un aumento en el cambio de color más significativo, se comparó la diferencia de medias de los tratamientos con el valor LSD .

Tabla 11. Diferencias entre las medias de los tratamientos.

TRATAMIENTOS	P2 t2	P2 t1	P1 t2	P1 t1
P1 t1	0,05	0,72	0,72	
P1 t2	0,77	0		0,72
P2 t1	0,77		0	0,72
P2 t2		0,77	0,77	0,05

Se puede observar que no todos los resultados de las diferencias entre las medias son mayores que el valor LSD y el tratamiento hecho a 170.18KPa y 90s dio los resultados más significativos en el cambio de color de la papa criolla liofilizada por tener el mayor valor en diferencias de medias.

En los casos donde la resta de las medias dieron valores menores al del LSD es porque no existe diferencia significativa entre esos tratamientos es decir que si se aumenta la presión y se disminuye el tiempo o se aumenta el tiempo y se disminuye la presión el cambio de color no se afectará significativamente por lo tanto se puede decir entonces que la prueba LSD demuestra que el tratamiento P1t1 es el mejor, puesto que tiene valores menores los cuales indican poco cambio de color en la papa liofilizada respecto a la papa fresca sin liofilizar según la diferencia de medias analizadas.

El coeficiente de variación del modelo es aceptable ($CV = 2,894\%$), lo que indica, una buena homogeneidad en los datos del diseño experimental, ($CV < 20\%$).

Para determinar la ecuación de mejor ajuste para el diseño factorial, siguiendo la ec. 8, se usaron los coeficientes de la tabla 20.

$$Y_{P,t} = 41,030 - 18,4853P - 0,140500t - 0,146078 Pt \pm 0,0267 \quad Ec.14$$

6.8 Índice de Amarillez para el mejor tratamiento escogido

Con los resultados obtenidos por los datos de la prueba LSD realizadas para mejor definición de la ANOVA; podemos concluir que el mejor tratamiento es el que tiene la más alta presión y el mayor tiempo de escaldado (P2 t2), puesto que las variables de respuesta se ven afectadas positivamente de manera significativa como la actividad de agua en la cual indica que este tratamiento nos ayuda con la disminución de dicha variable, en el índice de rehidratación nos muestra que incrementa su valor, es decir que tiene mayor capacidad de rehidratación; y en el cambio de color que se presenta es menor, respecto a la papa fresca sin liofilizar, es decir, que presenta un mayor diferenciación respecto a los otros tratamientos (analizado desde la diferencia de medias). Es necesario comprobar si esta disminución en el cambio de color afecta positiva o negativamente en el color amarillo que es representativo de la papa criolla; por eso se plantea hallar el índice de amarillez (IA) para el mejor tratamiento con respecto a las características de color.

Tabla 12. Índice de amarillez de la papa sin escaldar vs mejor tratamiento de escaldado

	Papa criolla fresca	Papa criolla (P2 t2) liofilizada
IA	87.24	123.35

En los resultados de la Tabla 12 podemos notar que a pesar del cambio de color de la papa criolla con el tratamiento (P2 t2) respecto a la fresca; el índice de amarillez indica que este tratamiento aumentó el color amarillo de las muestras; lo que se traduce en que al escaldar a 170.18KPa por 90s no se afectó uno de los mejores atributos de este alimento.

6.9 Resultados entre el mejor tratamiento (P2 t2) vs Papa criolla sin escaldar liofilizada

Tabla 13. Comparación de resultados papa sin escaldar vs papa criolla con el mejor tratamiento

	Papa criolla fresca liofilizada	Papa criolla con tratamiento P2t2 liofilizada
Aw	0,3781	0.1836
IR	3,52	5,38
ΔE	34,29	26,25
IA	28,36	123.35

Según los resultados obtenidos por las pruebas analizadas con LSD para cada una de las variables de respuesta se tomó como mejor tratamiento de escaldado el que tiene presión de 170.18KPa y tiempo de 90s (P2t2). En este caso se compararon los resultados de la papa sin tratamiento (muestra patrón) y el mejor tratamiento P2t2, en donde se notó que para las variables de respuesta Aw e IR afectó positivamente; para el ΔE el cual tiene menor cambio de color se le realiza un análisis posterior respecto a su índice de amarillez corroborando que éste también es positivo asegurando que este tratamiento es el mejor respecto incluso en comparación con la muestra patrón.

Para comparar estos resultados se hizo en base a productos liofilizados en general, ya que no se encontraron referencias de procedimientos similares.

La actividad de agua alcanzada por la papa criolla fresca liofilizada es similar al resultado reportado por (Ayala, et al., 2010); en ese trabajo se muestra que al liofilizar pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), se obtuvo valores de actividad de agua cercanos a 0.364.

Los valores de cambio de color registrados para todos los casos estudiados se pueden considerar “obvios”, de acuerdo a lo reportado por (Pérez, 2010), correspondiendo esta clasificación a un $\Delta E > 12$.

De acuerdo a los resultados obtenidos por (Maté, et al., 1999), el escaldado de tiras de papa previo al secado convectivo, mejoró la rehidratación de las muestras, con relación a las que no fueron pretratadas. Esto concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo, en el que el escaldado aumentó el índice de rehidratación de las muestras liofilizadas, en comparación con las muestras sin pretratamiento.

CONCLUSIONES

- El tiempo de liofilización en el que se logró actividades de agua por debajo de 0.4 tanto para la papa criolla fresca, como para la escaldada fue 6.5h.
- La papa criolla fresca liofilizada tuvo una a_w de 0.3781, IR de 3.52 y ΔE de 34.29 con respecto al color original de la papa criolla.
- La presión, el tiempo y su interacción tuvieron un efecto significativo en la disminución de la actividad de agua y el cambio de color de las muestras pretratadas, al liofilizarlas ($\alpha = 0.05$).
- El tiempo de escaldado no tiene efecto significativo sobre el índice de rehidratación de las muestras liofilizadas ($\alpha = 0.05$).
- El proceso previo de escaldado por vapor evidencia que las características físicas de calidad de la papa criolla liofilizada, particularmente el cambio de color, mejoran.
- Este trabajo implica que existen métodos sencillos de mejorar características sensoriales como el color, en la papa criolla liofilizada.

RECOMENDACIONES

- Manejar diferentes dimensiones en las muestras, para definir si el escaldado por vapor reduce el tiempo de liofilización independientemente del tamaño de la muestra.
- Realizar estudios complementarios que evalúen los cambios presentados en el almidón de la papa criolla como consecuencia del pretratamiento; de esta manera determinar su efecto en las características del producto liofilizado.
- Realizar escaldado en agua de la papa criolla, a temperaturas similares a las trabajadas en escaldado por vapor, comparar los resultados con los obtenidos en este proyecto, para determinar si existen diferencias.
- Evaluar el efecto de la velocidad de congelación de las muestras pretratadas sobre las características del alimento liofilizado.

REFERENCIAS

- Agencia de Noticias de Ciencia y Tecnología de Colombia. (2005). *Colombianos producen tres nuevas variedades de papa*. Bogotá.
- Alvarado, J. (1979). Ensayos de Almacenamiento y Estudio de un Mecanismo de Secado a Temperaturas Bajas en Papa (*Solanum tuberosum*). *Tesis para optar el título de Magister Scientifical*. Guatemala: CESNA-INCAP.
- Alvarado, J. (1991). *Métodos para medir las propiedades físicas en industrias de alimentos*. Acribia.
- Álvarez, S. (2006). *Química industrial orgánica*. Universidad Politécnica, Valencia.
- Anónimo. (2007). *Documento de Discusión Nacional: Asuntos Claves en el Análisis del Sector*. Recuperado el Junio de 2012, de Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Colombia:
http://www.pnud.org.co/img_upload/61626461626434343535373737353535/CAMBIOCLIMATICO/3.%20Memorias%20Di%C3%A1logo%20Nacional%20Interministerial%20sobre%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20el%20sector%20agropecuario/2Docdiscusi%C3%B3nAgriculturayMitigaci%C3%B3nColombia.pdf
- Anónimo. (2007). *Qué buena papa*. Recuperado el 28 de junio de 2012, de La Barra:
<http://www.revistalabarra.com.co/larevista/edicion-25/alimentos-y-bebidas-2/que-buena-papa.htm>
- Anónimo. (2011). *Deshidratación*. Recuperado el 28 de Junio de 2012, de Slideshare:
<http://www.slideshare.net>
- Ayala, A., Serna, L., & Mosquera, E. (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *VITAE*, 121-127.
- Badui, S. (1993). *Química de los alimentos*. Alhambra mexicana, S.A.
- Bello, J. (2000). *Ciencia bromatológica-principios generales*. Diaz de Santos.
- Carrasco, C., & Pineda, R. (1993). Papa criolla "yema de huevo": una multivariedad nativa. *Papa*, 7(14-19).
- Censo Nacional de la papa. (2003). Censo Nacional de la papa. *Revista Papa*, 23.
- CEVIPAPA. (2001). *Papa criolla*. Recuperado el Noviembre de 2011, de CEVIPAPA:
www.cevipapa.org.co
- Charm, S. (1981). *The Fundamentals of Food Engineering*. AVI Publishing Co.

- Cubero, N., Monferrer, A., & Villalta, J. (2002). Aditivos Alimentarios. *Mundiprensa*, 21.
- DANE. (2011). *Metodología de la encuesta agropecuaria experimental en altitudes superiores a los 3000msnm en el altiplano cundiboyacense*. Bogotá.
- Del Valle, A. (1994). Papa amarilla Yema de Huevo o papa criolla Colombiana. *Papa*(10).
- Diazgranados, C., & Chaparro, A. (2007). Desarrollo de un sistema de regeneración en Papa criolla (Solanum phureja Juz et Buck) var. Yema de huevo clon 1. *Agronomía Colombia*, 25(3), 7-15.
- Estrada, N. (1996). Los recursos genéticos en el mejoramiento de la papa en los países andinos. *Papas colombianas con el mejor entorno ambiental*, 1-14.
- Fano, H., Carmona, G., Ordinola, M., & Scott, G. (1998). *Experiencias de exportación de la papa amarilla peruana*. Lima, Perú: CIP.
- FAO. (2001). *Tratado internacional sobre los recursos Fitogénéticos para la alimentación y agricultura*.
- Fellows, P. (2007). *Tecnología del proceso de alimentos* (Segunda ed.). Acirbia S.A.
- Fernandez, J. (2004). *Escaldado y pelado al vapor*.
- Finagro. (Julio de 2012). *Finagro*. Recuperado el 2012, de <http://www.finagro.com.co>
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Cecsa.
- Gimferrer, N. (2012). *Escaldado de alimentos para mayor inocuidad*. Recuperado el Junio de 2012, de Eroski Consumer: <http://www.consumer.es>
- Gómez, D., Cáez, G., & Pardo, M. (2005). Estudio de los parámetros de color en papaya (Carga papaya).
- Gross, J. (1987). Pigments in Fruits. *Academic Press*.
- Grun, P. (1990). The evolution of cultivated potatoes. *Econ Bot*(44), 39-55.
- Hughes, J., Faulks, R., & Grant, A. (1975). Texture of cooked potatoes: relationship between the compressive strength of cooked potato discs and release of pectic substances. *Journal of the Science of Food and Agriculture*(26), 731-738.
- International Potato Center. (2011). *International Potato Center*. Recuperado el Junio de 2012, de <http://www.cipotato.org>
- Maté, J., Zwietering, M. & Van't Riet, K. (1999). The effect of blanching on the mechanical and rehydration properties of dried potato slices. *Eur Food Res Technol*, 343 - 347.

- Johnson, S. (2011). *Steam banching vs water blanching: cost, efficiency and product quality*. Key Technology.
- Kalmus, S. (1 de Septiembre de 2011). *Nutrients in vegetables after blanching*. Recuperado el Junio de 2012, de <http://www.livestrong.com>
- Lewicki, P. (1998). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: a review. *Internat J Food Properties*, 1-22.
- Lewicki, P., & Pawlak, G. (2005). Effect of mode of drying on microstructure. *Taylor y Francis*, 23, 847-869.
- Liatrakon, W., De Clercq, N., Leville, B., & Dewettinck, K. (2012). Physicochemical properties, glass transition state diagram and colour stability of pulp and peel of two dragon fruit varieties (*Hylocereus* spp.) as affected by freeze-drying. *International Food Research Journal*, 2(19), 743-750.
- Luján, C. (1996). Historia de la papa. *Papa*, 16, 4-27.
- Madrid, A., & Regidor, F. (2003). *Refrigeración, congelación y envasado de los alimentos*. Madrid: Iragra S.A.
- Madriñan, C. (1988). *Química de Alimentos*. Cali: Universidad del Valle.
- Marín, E., Lemus, R., Flores, V., & Vega, A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista chilena de nutrición*, 33(3).
- Martinez, N. (1998). *Termodinámica Y Cinética de Sistemas Alimento Entorno*. Valencia: Reproval.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). *I Censo Departamental del Cultivo de Papa*. Nariño.
- Minolta, K. (2007). *Precise color communication*. Recuperado el Mayo de 2012, de <http://konicamocolta.com/instruments/network>
- Montañez, J. (2002). Propiedades fisicoquímicas de las maltodextrinas a partir del punto crioscópico de sus soluciones. *Información Tecnológica*, 13(3), 77-81.
- Orrego, C. (1992). *Procesamiento de alimentos*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Oti-Boateng, P. A. (1998). *Técnicas de sacado*. Intermediate Technology Development Group.
- Pérez, N. (2010). *Estudio teórico y experimental de liofilización de locos (CONCHOLEPAS CONCHOLEPAS)*. Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Porras, P. (2000). Guía para la papa criolla. *Papas colombianas con el mejor entorno ambiental*, 44-47.

- Postolsky, J. (1996). *TECNOLOGIAS DE LA CONGELACIÓN*. Acribia.
- PROEXPORT. (2008). Recuperado el JUNIO de 2012, de PROEXPORT COLOMBIA:
<http://antiguo.proexport.com.co/vbecontent/library/documents/DocNewsNo10295DocumentNo8265.pdf>
- Ramírez, J. (2006). *Liofilización de Alimentos*. Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Ramirez, J. S. (2010). Espectrocolorimetría en caracterización de leche y quesos. *Tecnología lactea latinoamericana*(61), 52-58.
- Reeve, R. (1977). Pectin, starch and texture of potatoes: some practical and theoretical implications. *Journal of texture studies*, 8, 1-17.
- Restrepo, J. (Agosto de 2010). Recuperado el 28 de Junio de 2012, de Ministerio de Agricultura:
http://www.minagricultura.gov.co/archivos/ministro_jc_restrepo_tierras_2.pdf
- Richardson, P. (2005). *Tecnologías térmicas para el procesamiento de los alimentos*. Acribia.
- Rodríguez, D. (1999). *La Retención de los Carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados*. Brasil: Universidade Estadual de Campinas .
- Rodriguez, L., Ñustez, C., & Estrada, N. (2009). Criolla Latina, Criolla Paisa y Criolla Colombia, nuevos cultivares de papa criolla para el departamento de Antioquia (Colombia). *Agronomía colombiana*, 27(3), 289-303.
- Rojas, S. (21 de Octubre de 2009). *El mercado de productos agropecuarios en Colombia*. Recuperado el Junio de 2012, de Buendato: <http://www.buendato.com/profiles/blogs/el-mercadeo-de-productos>
- Sanjuán, N., Andrés, J., Clemente, G., & Mulet, A. (2001). Modeling of the Rehydration process of broccoli florets. *European Food Res Technol*(212), 449-453.
- Sharma, S. (2003). *Ingeniería de Alimentos. Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. Cornell University, New York: Limusa Wiley.
- Singh, P., & Heldman, D. (2009). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. Acribia.
- Suárez, c. (2001). Evaluación de la calidad industrial de 50 accesiones de papa criolla (S. phureja) de la colección central colombiana. *Tesis de grado, Facultad de ciencias técnicas de Ingeniería de Alimentos*.
- Toro, H. (21 de Noviembre de 1998). *Fitotecnia*. Recuperado el 29 de Junio de 2012, de Universidad de Caldas:
<file:///C:/Users/toshiba/Documents/trabajo%20de%20grado/art%C3%ADculos%20para%20la%20tesis/Enfermedades%20Papa%20Criolla%20->

%20Facultad%20de%20Ciencias%20Agropecuarias%20-
%20Universidad%20de%20Caldas.htm

Vega, A. (2003). Estudio de la deshidratación y rehidratación del pimiento rojo (*Capsicum Annuum* L.) var. Lamuyo. *Tesis Doctoral*. España: Departamento de Ingeniería de Alimentos, (UPV).

ANEXOS

Tabla 14. Datos de índice de amarillez

MUESTRA LIOF	L	a	b	IA
Fresca	34.75	0.17	6.90	28.37
P1 t1	33.06	1.51	15.23	65.79
P1 t2	32.56	3.64	20.31	89.11
P2 t1	30.99	4.36	24.90	114.80
P2 t2	31.54	4.49	27.23	123.35

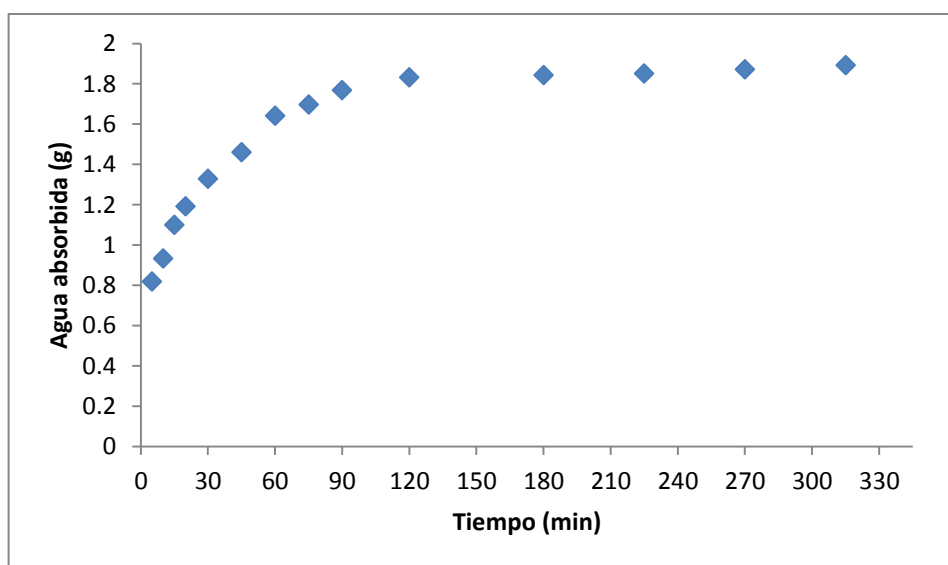


Figura 12. Cinética de rehidratación papa criolla liofilizada

Análisis estadístico

Tabla 15. Análisis de varianza para Aw (unidades codificadas)

Fuente	GL	SC Sec	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Efectos principales	2	0.0271165	0.0271165	0.0135583	342.65	0.000
Presión	1	0.0166258	0.0166258	0.0166258	420.17	0.000
Tiempo	1	0.0104908	0.0104908	0.0104908	265.13	0.000
2-Interacciones de (No.) factores	1	0.0040186	0.0040186	0.0040186	101.56	0.001
Presión*Tiempo	1	0.0040186	0.0040186	0.0040186	101.56	0.001
Error residual	4	0.0001583	0.0001583	0.0000396		
Error puro	4	0.0001583	0.0001583	0.0000396		

Tabla 16. Coeficientes estimados para aw utilizando datos en unidades no codificadas

Término	Coef
Constante	0.269400
Presión	0.391029
Tiempo	0.00206833
Presión*Tiempo	-0.00878922

Tabla 17. Análisis de varianza para IR (unidades codificadas)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust	F	P
Efectos principales	2	3,4695	3,4695	1,73476	21,62	0,007
Presión	1	3,1125	3,1125	3,11251	38,79	0,003
Tiempo	1	0,357	0,357	0,35701	4,45	0,103
2-Interacciones de (No.) factores	1	0,6216	0,6216	0,62161	7,75	0,05
Presión*Tiempo	1	0,6216	0,6216	0,62161	7,75	0,05
Error residual	4	0,321	0,321	0,08024		
Error puro	4	0,321	0,321	0,08024		
Total	7	4,4121				

Tabla 18. Coeficientes estimados para IR utilizando datos en unidades no codificadas

Término	Coef
Constante	5,525
Presión	-4,52941
Tiempo	-0,0416667
Presión*Tiempo	0,109314

Tabla 19. Análisis de varianza para Cambio de color (unidades codificadas)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust	F	P
Efectos principales	2	20,948	20,948	10,474	1569,14	0
Presión	1	13,1072	13,1072	13,1072	1963,63	0
Tiempo	1	7,8408	7,8408	7,8408	1174,65	0
2-Interacciones de (No.) factores	1	1,1101	1,1101	1,1101	166,3	0
Presión*Tiempo	1	1,1101	1,1101	1,1101	166,3	0
Error residual	4	0,0267	0,0267	0,0067		
Error puro	4	0,0267	0,0267	0,0067		
Total	7	22,0848				

Tabla 20. Coeficientes estimados para el ΔE utilizando datos en unidades no codificadas

Término	Coef
Constante	41,03
Presión	-18,4853
Tiempo	-0,1405
Presión*Tiempo	0,146078

Ilustraciones



Figura 13. Acondicionamiento de la materia prima



Figura 14. Proceso de escaldado por vapor



Figura 15. Liofilización de muestras de papa criolla



Figura 16. Muestras de papa criolla liofilizada



Figura 17. Diferencia de color muestras liofilizadas con y sin pretratamiento