

**OBTENCIÓN DE SNACKS DE UCHUVA MEDIANTE EL PROCESO DE FRITURA
POR INMERSIÓN AL VACÍO.**

CHRISTIAM GUEVARA BETANCOURTH

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO**

2018

**OBTENCIÓN DE SNACKS DE UCHUVA MEDIANTE EL PROCESO DE FRITURA
POR INMERSIÓN AL VACÍO.**

CHRISTIAM GUEVARA BETANCOURTH

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial

Asesor:

Dr. Oscar Arango Bedoya

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO**

2018

© Universidad de Nariño. 2018

Reservados todos los derechos de reproducción

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título — **OBTENCIÓN DE SNACKS DE UCHUVA MEDIANTE EL PROCESO DE FRITURA POR INMERSIÓN AL VACÍO**, que, para aspirar al título de **Ingeniero Agroindustrial** fue desarrollado por **Christiam Guevara Betancourth**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ingeniería Agroindustrial; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento institucional de Trabajos de Titulación.

PhD. Oscar Arango Bedoya.

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.C. 94280050

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad del autor.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Jurado. PhD. Oswaldo Osorio Mora

Jurado. Ing. David López

San Juan de Pasto, Noviembre de 2018.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, por su esfuerzo, entrega y apoyo constante en cada etapa de mi formación académica y de mi vida, que me ayudaron y guiaron para obtener la satisfacción de haber cumplido con mis metas, logros y objetivos, por sus sabios consejos, que me mantuvieron firme y me seguirán ayudando para evolucionar tanto en lo personal como en lo profesional.

A mis profesores que durante todo el periodo universitario me han brindado sus conocimientos sin ninguna objeción y me han ayudado a convertirme en el profesional que siempre aspire ser. Su entrega a la docencia durante todos estos años no solo fue la guía y la base de mi logro académico, sino para cada alumno que con regocijo aprende de sus enseñanzas.

A mis compañeros y amigos, que me han acompañado y ayudado no solo en el campo académico sino también personal, con su apoyo y acompañamiento, en ellos he encontrado confianza y soporte, lo que me ha ayudado a crecer y a tener uno de los mejores periodos de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su incansable apoyo y dedicación en la obtención de mis sueños, por brindarme la educación y valores necesarios para culminar todos los objetivos en mi vida, y más de eso por ser mis constantes amigos, consejeros y modelos de esfuerzo, dedicación y vida

A mi profesor y asesor de tesis Dr. Oscar Arango Bedoya por su apoyo constante, su generosidad, y por el conocimiento, experiencia y tiempo aportados para culminar con éxito mi proyecto de titulación.

A mis profesores Dr. Oscar Arango Bedoya y Dr. Oswaldo Osorio Mora por su apoyo, interés y patrocinio del proyecto para que esta meta pudiese cumplirse.

A mi alma mater que durante todo este tiempo fue el centro de congregación no solo de conocimientos y preparación, sino de valiosos momentos de mi vida que con cariño siempre atesorare en mi corazón.

Resumen

Physalis es una fruta exótica cuyo mercado internacional está en constante expansión. Los altos porcentajes de fruta no exportable generan una alta tasa de fruto destinado al consumo nacional sin ningún grado de transformación. En cultivos relativamente tecnificados se ha calculado que solo el 50% de la producción reúne las condiciones para la exportación de uchuva.

El creciente interés hacia el desarrollo de investigaciones orientadas a la obtención de snacks o chips de frutas y verduras utilizando la tecnología de fritura al vacío, la convierte en una alternativa para el aprovechamiento y comercialización de los excedentes no exportables, pues sería una técnica de procesamiento que permite prolongar su vida útil y obtener productos con mayor valor agregado, lo que conduciría a dinamizar las opciones de comercialización y a aumentar los márgenes de utilidad para los productores.

Para la obtención de snacks de uchuva por fritura a vacío, previamente se determinó la influencia de la aplicación de deshidratación osmótica (*DO*) como pre tratamiento. Rebanadas de *Physalis* de $2\text{ mm} \pm 0.1$ de espesor se deshidrataron osmóticamente en una solución de sacarosa de 70°Bx usando un baño de ultrasonido. Se estudió el efecto de tres temperaturas ($40, 50, 60^\circ\text{C}$) sobre la pérdida de agua (*PA*) y la cinética de ganancia de sólidos (*GS*) durante la deshidratación osmótica asistida con ultrasonidos (*DOU*) y se ajustaron las cinéticas a cinco modelos empíricos. Posteriormente se llevó a cabo la fritura en condiciones sub atmosféricas, bajo una metodología de superficie de respuesta con la finalidad de optimizar el producto final. Se estudió el efecto de la temperatura ($110 - 130^\circ\text{C}$), tiempo ($2 - 6\text{ min}$) y presión de vacío ($0,3 - 0,5\text{ Bar}$ (lectura del vacuómetro)) sobre la variación de color (ΔE), dureza (*D*), actividad acuosa (*Aw*), contenido de humedad y absorción de aceite.

El ultrasonido permitió alcanzar las humedades finales de 25-33% y ganancias de sólidos de 7-10% respectivamente en un tiempo de 150 min, con un comportamiento en el cual *PA*, *GS* y

difusividad, aumentan a medida que aumenta la temperatura. Los modelos de Peleg y Page presentaron la mejor bondad de ajuste para *PA* y *GS* con valores R^2 por encima de 0,98 y 0,87 respectivamente, además se determinaron los valores de difusividad efectiva y energía de activación para *PA* y *GS*.

Se encontró que las condiciones óptimas del proceso de fritura al vacío fueron $T = 108\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,54\text{ Bar}$ ($P_{\text{abs}} = 0.2043\text{ Bar}$) y $t = 5,5\text{ min}$, con un contenido de grasa del 8,68%, humedad de 6,57%, $\Delta E = 13.27$, $A_w = 0,295$ y $D = 14,67\text{ N}$.

Se realizó la cinética de las variables de respuesta para las condiciones óptimas y se llevó a cabo el modelamiento de pérdida de humedad bajo modelos de Newton, Henderson-Pabis y Page y absorción de aceite con los modelos de Monod, Moyano-Pedreschi y un modelo de primer orden.

Finalmente se evaluó sensorialmente el snack de uchuva, obteniendo resultados similares a los entregados por la evaluación instrumental, presentándose una buena correlación de los atributos de calidad determinados por ambos enfoques.

La fritura a vacío de chips de uchuva con deshidratación osmótica previa, resultó ser un tratamiento alternativo a la fritura a presión atmosférica ya que mejora las propiedades fisicoquímicas, reduce el contenido de aceite y mantiene el carácter crujiente, además de representar una alternativa para el procesamiento de la fruta que no tiene la calidad de exportación.

Abstract

Physalis is an exotic fruit whose international market is constantly expanding. High percentages of non-export fruit produce a high rate of fruit destined for national consumption without any degree of transformation. In relatively technical crops it has been estimated that only 50% of production meets the conditions for the export of Golden Berry.

The growing interest in the development of research aimed at obtaining snacks or chips of fruits and vegetables using vacuum frying technology, makes it an alternative for the use and marketing of surpluses not Exportable, as it would be a processing technique that allows to prolong its useful life and to obtain products with greater added value, which would lead to dynamize the marketing options and to increase the profit margins for the producers.

To obtain snacks of Golden Berry by vacuum frying, previously was determined the influence of the application of osmotic dehydration (OD) as pre-treatment. Physalis slices of $2 \text{ mm} \pm 0.1$ thick were dehydrated osmotically in a solution of 70°Bx sucrose using an ultrasound bath.

It was studied the effect of three temperatures (40, 50, 60 °C) on the kinetic of water loss (*WL*) and solid gain (*SG*) during ultrasound assisted osmotic dehydration (*UOD*) and adjusted to five empirical models. Subsequently, Fry was carried out under atmospheric conditions under a response surface methodology in order to optimize the final product. The factors studied were temperature (110 – 130 °C), time (2 – 6 min) and vacuum pressure (0.3 – 0.5 Bar (vacuum reading)) on color Variation (ΔE), hardness (*D*), aqueous activity (*A_w*), moisture content and oil absorption.

The ultrasound allowed to reach the final humidity of 25-33% and gains of solids of 7-10% respectively in a time of 150 min, with a behavior in which *WL*, *SG* and diffusivity (*Deff*), increase as the temperature increases. The models of Peleg and Page presented the best goodness of fit for *WL* and *SG* with R^2 values above 0.98 and 0.87 respectively, also determined the values

of effective diffusivity and activation energy for *WL* and *SG*.

The optimal conditions of the vacuum frying process found were $T = 108\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0.54\text{ bar}$ ($P_{\text{abs}} = 0.2043\text{ bar}$) and $t = 5.5\text{ min}$, with a fat content of 8.68%, humidity of 6.57%, $\Delta E = 13.27$, $A_w = 0.295$ and $D = 14.67\text{ N}$.

The kinetics of the response variables were performed for optimal conditions and the humidity loss modeling was carried out under Newton, Henderson-Pabis and Page models and oil absorption with the models of Monod, Moyano-Pedreschi and a primer model Order.

Finally, the snack of Golden Berry was sensory evaluated, obtaining results similar to those delivered by the instrumental evaluation, presenting a good correlation of the quality attributes determined by both approaches.

The vacuum frying of Golden Berry chips with previous osmotic dehydration, turned out to be an alternative treatment to frying at atmospheric pressure because it improves the physicochemical properties, reduces the oil content and maintains the crispness, in addition to Represent an alternative for fruit processing that does not have the export quality.

Contenido

	pág.
1. Planteamiento del problema	39
2. Justificación.....	44
3. Objetivo general	46
3.1 Objetivos específicos.....	46
4. Marco teórico	47
4.1. Fundamentos.....	47
4.1.1. Uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.).....	47
4.1.1.1. Composición nutricional.	48
4.1.2. Deshidratación Osmótica.	51
4.1.2.1 Definición.....	51
4.1.2.2 Solución osmótica.	51
4.1.2.3 Transferencia de materia y modelamiento cinético en la deshidratación osmótica.	52
4.1.2.4 Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica.	56
4.1.3 Ultrasonido.....	58
4.1.4. Fritura de alimentos.	60
4.1.4.1 Fritura convencional de alimentos.	60
4.1.4.1.1 Generalidades.....	60

4.1.4.1.2	Transferencia de calor y de materia durante el proceso de fritura.	61
4.1.4.1.4	Pérdida de humedad durante el proceso de fritura.	62
4.1.4.1.5	Ganancia de aceite durante el proceso de fritura.....	64
4.1.4.2	Fritura al vacío de alimentos.	65
4.1.4.2.1	Generalidades.	65
4.1.4.2.2	Transferencia de calor durante el proceso de fritura al vacío.....	66
4.1.4.2.3	Transferencia de materia durante el proceso de fritura al vacío.....	67
4.1.4.2.3.1	cinética de pérdida de agua.	67
4.1.4.2.3.2	cinética de absorción de aceite.	69
4.1.5	Snacks.	71
4.2.	Antecedentes.....	72
4.2.1.	Deshidratación osmótica en frutas.	72
4.2.2.	Deshidratación osmótica en frutas asistida por ultrasonidos.	75
4.2.3.	Fritura al vacío en frutas.	80
4.2.4.	Modelamiento matemático de la fritura al vacío.	86
4.2.4.1	Modelado de la pérdida de agua y ganancia de aceite.	90
5.	Metodología	92
5.1.	Localización del estudio	92
5.2.	Selección y preparación de la fruta.....	92
5.3.	Proceso de obtención de snack de uchuva.....	93

5.4. Caracterización de la fruta.....	95
5.5. Preparación de la muestra.....	100
5.6. Aplicación de la deshidratación osmótica asistida con ultrasonido (<i>DOU</i>).....	101
5.7. Modelamiento de Pérdida de agua (<i>PA</i>) y Ganancia de Sólidos (<i>GS</i>) como evaluación del efecto de las condiciones del pre tratamiento.....	103
5.7.1 Determinación de la difusividad efectiva de agua y sólidos.....	108
5.7.2 Energía de activación para la cinética de pérdida de agua y ganancia de sólidos.....	109
5.8. Fritura al vacío.....	109
5.8.1 Aceite.....	110
5.8.2 Descripción del proceso de fritura al vacío.....	110
5.8.3 Optimización de los factores tiempo, temperatura y presión para el proceso de fritura al vacío.....	113
5.8.3.1 Diseño experimental del proceso de fritura al vacío.....	113
5.9. Modelamiento de los fenómenos de pérdida de humedad y absorción de aceite de los snacks obtenidos bajo las condiciones óptimas de proceso.....	115
5.9.1. Modelado matemático de la cinética de pérdida de humedad.....	115
5.9.2 Determinación del contenido de aceite.....	116
5.9.2.1 Modelado matemático de la cinética de absorción de aceite.....	118
5.10. Comparación Fritura en vacío vs Fritura tradicional para snacks de uchuva.....	119
5.11. Métodos para la evaluación de las variables de respuesta en fritura.....	119

5.12. Análisis sensorial.....	121
6. Resultados y Discusión	122
6.1. Evaluar y describir el efecto y comportamiento de la deshidratación osmótica asistida con ultrasonido sobre algunos atributos de calidad como pre tratamiento para la fritura al vacío de snacks de uchuva.	122
6.1.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima.....	122
6.1.2. Deshidratación Osmótica.....	124
6.1.2.1 Concentración.....	124
6.1.2.2 Agitación.....	126
6.1.2.3 Ultrasonido.....	126
6.1.2.4 Tiempo.....	128
6.1.2.5 Relación muestra – solución osmótica.....	128
6.1.2.6 Temperatura.....	129
6.1.2.7 Modelamiento del fenómeno de deshidratación osmótica.....	130
6.1.2.7.1. Modelamiento de la pérdida de agua.....	131
6.1.2.7.2. Modelamiento de la ganancia de sólidos.....	143
6.1.2.7.3. Pérdida de peso.....	153
6.1.3 Caracterización fisicoquímica de la materia prima pre tratada.....	158
6.2 Definir los niveles más apropiados para los factores tiempo, temperatura y presión que optimicen los atributos de calidad de snacks de uchuva obtenidos por fritura al vacío.....	160

6.2.1. Determinación de valores óptimos obtenidos por fritura al vacío.	160
6.2.1.1 Absorción de Aceite.	164
6.2.1.2 Pérdida de Humedad.	171
6.2.1.3 Color.	176
6.2.1.4. Actividad de agua (Aw).	182
6.2.1.5. Dureza.	185
6.2.1.6. Optimización global del sistema.	188
6.3. Modelación de los fenómenos de pérdida de humedad y absorción de aceite del snack obtenido bajo las condiciones óptimas de proceso.	194
6.3.1. Modelamiento del proceso de fritura a vacío bajo condiciones óptimas.	194
6.3.1.1 Cinética de pérdida de humedad.	194
6.3.1.1.1 Modelo de Newton.	197
6.3.1.1.2 Modelo de Herderson-Pabis.	198
6.3.1.1.3 Modelo de Page.	199
6.3.1.1.4 Calidad de ajuste de los modelos matemáticos aplicados a la cinética de pérdida de humedad 200	
6.3.1.2 Cinética de absorción de aceite.	203
6.3.1.2.1 Modelo de Monod.	207
6.3.1.2.2. Modelo de Moyano-Pedreschi.	208
6.3.1.2.3. Modelo de Primer orden.	209

6.3.1.2.4. Calidad de ajuste de los modelos matemáticos aplicados a la cinética de absorción de aceite.	210
6.3.2 Correlación de la ganancia de aceite con la pérdida de humedad.....	213
6.3.3 Comportamiento en el equilibrio.	215
6.3.4 Comportamiento cinético de otras variables de respuesta bajo condiciones óptimas.	218
6.3.4.1 Cinética del color	218
6.3.4.2 Cinética de la Dureza.	220
6.3.4.3 Cinética de la Aw.	223
6.3.5. Comparación fritura al vacío vs fritura atmosférica.	225
6.3.6. Caracterización fisicoquímica de los snacks de uchuva.	230
6.3.7. Evaluación de la aceptabilidad sensorial.	232
6.3.7.1 Olor.....	233
6.3.7.2 Color.....	234
6.3.7.4 Textura.	237
6.3.7.5 Forma.	238
6.3.7.6 Dureza.	239
6.3.7.7 Sensación de aceite superficial.....	239
6.3.7.8 Sensación de aceite en boca.	240
6.3.7.9 Interés de los panelistas por el producto.	241
6.3.8. Cálculo de rendimientos en el proceso de obtención de snacks de uchuva.....	243

7. Conclusiones	248
8. Recomendaciones	250
Bibliografía.....	251
ANEXOS.....	264

Lista de Figuras

		pág.
Figura 1.	Transferencia de materia durante la deshidratación osmótica.	53
Figura 2.	Modelo conceptual de difusión líquida en una placa plana con resistencia superficial despreciable. Las líneas representan la evolución de la concentración de humedad en el tiempo (t).	55
Figura 3.	Diagrama genérico de los posibles mecanismos de transferencia de calor y masa durante la fritura.....	61
Figura 4.	Cambios físicos, químicos y estructurales que ocurren en fritura por inmersión	62
Figura 5.	Transferencia de calor y de materia durante el proceso de fritura.	67
Figura 6.	Perfiles de temperatura y humedad durante el proceso de fritura.....	69
Figura 7.	Flujo grama de la metodología empleada en el desarrollo del trabajo para la obtención de snacks de uchuva	94
Figura 7.	Espacio de color CIE L* a* b*.	98
Figura 8.	Esquema general del equipo de baño ultrasonido, empleado en la deshidratación osmótica de la muestra.	103
Figura 9.	Esquema de equipo de fritura a vacío.	111
Figura 10.	Evolución de la humedad de la uchuva en tratamiento de osmodeshidratación asistida por ultrasonido a 60 - 50 - 40°C.....	132
Figura 11.	Evolución de pérdida de agua (PA) de uchuva en tratamiento de osmodeshidratación asistida por ultrasonido a 60 - 50 - 40°C.....	133

Figura 12.	Ajuste del modelo de Peleg a las cinéticas de Pérdida de agua (PA) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas.....	136
Figura 13.	Ajuste del modelo de Azuara a las cinéticas de Pérdida de agua (PA) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas.....	136
Figura 14.	Ajuste del modelo de Magge a las cinéticas de PA para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas	137
Figura 15.	Ajuste del modelo de Weibull a las cinéticas de Pérdida de agua (PA) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas.....	137
Figura 16.	Ajuste del modelo de Page a las cinéticas de Pérdida de agua (PA) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas.....	138
Figura 17.	Evolución del contenido de solidos solubles de la uchuva en tratamiento de osmodeshidratación asistida por ultrasonido a 60 - 50 - 40°C.....	144
Figura 18.	Evolución de la ganancia de solidos (GS) de uchuva en tratamiento de osmodeshidratación asistida por ultrasonido a 60°C	145
Figura 19.	Modelamiento de Peleg para las cinéticas de Ganancia de solidos (GS) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas.....	147

Figura 20.	Modelamiento de Azuara para las cinéticas de Ganancia de solidos (GS) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas.....	147
Figura 21.	Modelamiento de Magge para las cinéticas de Ganancia de solidos (GS) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas.....	148
Figura 22.	Modelamiento de Weibull para las cinéticas de Ganancia de solidos (GS) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas.....	148
Figura 23.	Modelamiento de Page para las cinéticas de GS para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas.	149
Figura 24	Evolución de la pérdida de peso de rodajas de uchuva en tratamiento de osmodeshidratación asistida por ultrasonido a 60°C	154
Figura 25	Representación gráfica del balance de materia para DO a 60°C	155
Figura 26.	Representación gráfica del balance de materia para DO a 50°C	155
Figura 27	Representación gráfica del balance de materia para DO a 40°C	156
Figura 28.	Diagrama de Pareto Estandarizada para Absorción de aceite.....	165
Figura 29.	Grafica de Interacciones para el aceite.	166
Figura 30.	Superficie de respuesta estimada para la absorción de aceite dependiente de la interacción de factores. A: Interacción Temperatura - Tiempo; B: Interacción Temperatura – Presión de Vacío; C: Interacción Tiempo – Presión de Vacío.	167

Figura 31.	Grafica de efectos principales para absorción de aceite en <i>Physalis peruviana</i>	168
Figura 32.	Diagrama de Pareto estandarizado para humedad.	172
Figura 33.	Grafica de efectos principales para pérdida de humedad.....	173
Figura 34.	Superficie de respuesta estimada para pérdida de humedad dependiente de la interacción de factores. A: Interacción temperatura - tiempo; B: Interacción temperatura – presión de vacío; C: Interacción tiempo – presión de vacío.	175
Figura 35.	Diagrama de Pareto estandarizado para color.....	178
Figura 36.	Superficie de respuesta estimada para cambio de color dependiente de la interacción de factores. A: Interacción temperatura - tiempo; B: interacción temperatura – presión de vacío; C: interacción tiempo – presión de vacío.	180
Figura 37.	Grafica de efectos principales para color.....	181
Figura 38.	Diagrama de Pareto estandarizada para A_w	183
Figura 39.	Grafica de efectos principales para A_w	184
Figura 40.	Grafica de Pareto estandarizada para Dureza.	187
Figura 41.	Grafica de efectos principales para Dureza.....	187
Figura 42.	Superficie de respuesta estimada para dureza dependiente de la interacción de factores. A: Interacción Temperatura - Tiempo; B: Interacción Temperatura – Presión de Vacío; C: Interacción Tiempo – Presión de Vacío.....	194
Figura 43.	Cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas de proceso.....	196
Figura 44.	Modelo de Newton ajustado a la cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas de proceso.....	198

Figura 45.	Modelo de Henderson-Pabis ajustado a la cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas de proceso.....	199
Figura 46.	Modelo de Page ajustado a la cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas de proceso.....	200
Figura 47.	Ajuste de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Newton.....	202
Figura 48.	Ajuste de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Henderson-Pabis.....	202
Figura 49.	Ajuste de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Page	203
Figura 50.	Cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas de proceso.....	204
Figura 51.	Modelo de Monod ajustado a la cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas de proceso.....	208
Figura 52.	Modelo de Moyano-Pedreschi ajustado a la cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas de proceso.....	209
Figura 53.	Modelo de primer orden ajustado a la cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas de proceso.....	210
Figura 54.	Gráfico de ajuste contrapuesto de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Monod	212
Figura 55.	Gráfico de ajuste contrapuesto de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Moyano-Pedreschi.....	212
Figura 56.	Gráfico de ajuste contrapuesto de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Primer Orden	213

Figura 57.	Relación de la ganancia de aceite con la pérdida de agua en la operación de fritura al vacío para la obtención de snacks de uchuva.....	213
Figura 58.	Cinéticas de absorción de aceite y de pérdida de humedad, bajo condiciones óptimas en la obtención de snack de uchuva.	214
Figura 59.	Cinética de absorción de aceite con punto proyectado al equilibrio del sistema. ...	217
Figura 60.	Cinética de pérdida de humedad con punto proyectado al equilibrio del sistema. .	218
Figura 61.	Cinética de Cambio de color para las condiciones óptimas de proceso.....	220
Figura 62.	Cinética de Dureza para las condiciones óptimas de proceso.....	223
Figura 63.	Cinética de pérdida de Aw para las condiciones óptimas de proceso.....	225
Figura 64.	Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro olor.	234
Figura 65.	Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro color.	235
Figura 66.	Consideración de los panelistas frente a la similitud del color del snack con el de la uchuva fresca.....	235
Figura 67.	Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro sabor.	236
Figura 68.	Consideración de los panelistas frente a la similitud del sabor del producto con el sabor original de la uchuva.	237
Figura 69.	Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro textura.....	237

Figura 70.	Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro forma.	238
Figura 71.	Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro dureza.	239
Figura 72.	Diagrama radial de votaciones en escala de 9 puntos y diagrama de torta frente a la sensación superficial de aceite en el producto.	240
Figura 73.	Diagrama radial de votaciones en escala 9 puntos y diagrama de torta frente a la sensación de aceite en boca.	241
Figura 74.	Diagrama radial de votaciones en escala de 9 puntos y diagrama de torta para determinar el interés de los panelistas por el producto.	242
Figura 75.	Flujograma de pesaje del producto durante el proceso de producción.	243

Lista de Imágenes

	pág.
Imagen 1. Tabla de color para estados de madurez de uchuva según la norma técnica NTC 4580.....	48
Imagen 2. Comparación entre la fritura al vacío (98°C; 48,3 mm de Hg; fila superior) y la fritura convencional (160°C; presión atmosférica) de rodajas de manzana, remolacha, zanahoria y papa.....	66
Imagen 3. Laboratorios de Calidad y Conservación de Alimentos – GAIDA.....	92
Imagen 4. Uchuvas seleccionadas eco tipo cruce 3 x 6	93
Imagen 5. Clasificación por tamaño de uchuva	95
Imagen 6. Espectrofotómetro Konica Minolta CM-5	98
Imagen 7. Determinación de humedad de muestras por medio de calentamiento en horno.....	99
Imagen 8. Reflectoquant RQflex plus 10.....	100
Imagen 9. Uchuva fresca en rodajas de 2mm ± 0.1	101
Imagen 10. Solución osmótica o hipertónica a 70°Bx Utilizada vs Nueva	101
Imagen 11. Equipo de ultrasonido Elma S10H®.....	102
Imagen 12. Comparación uchuvas enteras frescas vs uchuvas en rodajas osmodeshidratadas .	103
Imagen 13. Rodajas de uchuva fresca atada por cuerdas, para la determinación de pérdida de peso (PP)	105
Imagen 14. Equipo de ultrasonido en proceso de osmodeshidratacion para muestras de pérdida	

de peso.....	105
Imagen 15. Equipo de fritura al vacío.....	111
Imagen 16. Llenado del tanque de fritura	112
Imagen 17. Muestra de uchuva osmodeshidratada en canastilla previa a proceso de fritura al vacío.....	112
Imagen 18. Compartimentos o canastillas para muestra del equipo de fritura al vacío.....	113
Imagen 19. Equipo Soxhlet para extracción.	117
Imagen 20. Horno grado alimentario usado en el secado de balones con aceite extraído.....	117
Imagen 21 Recuperación de solvente con el equipo Soxhlet.....	118
Imagen 22. Preparación y montaje para extracción de aceite de snack de uchuva.....	120
Imagen 23. Determinación de dureza del snack de uchuva.....	121
Imagen 24. Semillas liberadas del fruto durante la operación de osmodeshidratacion.....	128
Imagen 25. Baño ultrasónico en operación de deshidratación osmótica con exceso de muestra de uchuva.....	129
Imagen 26 Micrografía SEM de una región de pedúnculo de sección transversal de Physalis fresco (A) y después de 10 h de deshidratación osmótica a temperatura de 70 ° C y 70°Bx	140
Imagen 27 Muestra de uchuva en rodajas deshidratada osmóticamente.....	159
Imagen 29. Aumento en el contenido de aceite en balones con respecto al tiempo de fritura. .	205
Imagen 30 . Snack de uchuva obtenido en condiciones de equilibrio.....	216
Imagen 31. Rodajas de snack de uchuva aglomeradas.....	221

Imagen 32. Pruebas preliminares de fritura atmosférica de uchuva.	226
Imagen 33. Uchuva fresca freída bajo condiciones atmosféricas	229
Imagen 34. Uchuva fresca fritada bajo condiciones sub atmosféricas.	229
Imagen 35. Uchuva osmodeshidratada fritada bajo condiciones atmosféricas.....	230
Imagen 36. Muestra de uchuva frita (snacks de uchuva).....	231

Lista de Tablas

		pág.
Tabla 1.	Composición nutricional de la uchuva por cada 100g de pulpa.....	50
Tabla 2.	Tamaño de muestra representativa según el tamaño del lote	96
Tabla 3.	Calibres de la uchuva	96
Tabla 4.	Contenido mínimo de solidos solubles totales expresado como grados °Brix (°Brix), de acuerdo con la tabla de color. (Tabla tomada de la NTC 4580).....	97
Tabla 5.	Contenido máximo de acidez expresado como % de ácido cítrico, de acuerdo con la tabla de color. (Tabla tomada de la NTC 4580).....	100
Tabla 6.	Matriz de experimentos para superficie de respuesta.....	114
Tabla 7 .	Caracterización fisicoquímica de la uchuva fresca	123
Tabla 8.	Valores finales (t = 150 min) de perdida de agua (PA) en P. peruviana deshidratada por UDO a diferentes temperaturas.....	135
Tabla 9.	Bondad de Ajuste de los modelos cinéticos empleados para predecir PA a las condiciones evaluadas.	139
Tabla 10.	Valores de las constantes de los distintos modelos para PA en las condiciones trabajadas.....	141
Tabla 11.	Difusividad efectiva (Deff) de agua en Physalis peruviana a las condiciones evaluadas.	142
Tabla 12.	Valores finales (t = 150 min) de ganancia de solidos (GS) en P. peruviana deshidratada por DOU a diferentes temperaturas.....	146

Tabla 13.	Bondad de ajuste de los modelos cinéticos usados para predecir la GS en las condiciones evaluadas	150
Tabla 14.	Valores de las constantes de los modelos para GS en las condiciones trabajadas. ...	151
Tabla 15.	Difusividad efectiva (Deff) de sólidos en Physalis peruviana a las condiciones evaluadas.	152
Tabla 15b.	Caracterización fisicoquímica de la uchuva osmodeshidratada a 70 °Bx, 60 °C por 150 min.	158
Tabla 16.	Valores de las variables de respuesta para los ensayos del modelo de superficie de respuesta empleado.....	163
Tabla 17.	Análisis de Varianza ANOVA para absorción de aceite.....	165
Tabla 18.	Valores de los factores evaluados que optimizan una disminución en la absorción de aceite.....	171
Tabla 19.	Análisis de varianza para pérdida de humedad	172
Tabla 20.	Valores de los factores evaluados que optimizan una menor humedad.	176
Tabla 21.	Análisis de varianza para el cambio de color	178
Tabla 22.	Valores de los factores evaluados que optimizan una disminución en el cambio de color	182
Tabla 23.	Análisis de varianza para Aw.....	183
Tabla 24.	Valores de los factores evaluados que optimizan una disminución en la Aw.....	185
Tabla 25.	Análisis de varianza para la dureza del snack	186
Tabla 26.	Rango de niveles de los factores del sistema	189

Tabla 27.	Rango de valores en las variables de respuesta para el diseño experimental.....	189
Tabla 28.	Valores óptimos de las variables de respuesta obtenidos en el proceso de optimización global.....	190
Tabla 29.	Combinación de factores optimizados por diversos autores para la optimización de fritura al vacío.	191
Tabla 29b.	Optimización de factores individual para cada variable de respuesta.....	192
Tabla 30.	Evolución el contenido de humedad del snack de uchuva bajo condiciones óptimas.	195
Tabla 31.	Bondad de Ajuste de los modelos cinéticos empleados para predecir la pérdida de humedad bajo las condiciones óptimas.	201
Tabla 32.	Evolución el contenido de aceite del snacks de uchuva bajo condiciones óptimas. .	203
Tabla 33.	Bondad de ajuste de los modelos cinéticos empleados para predecir la absorción de aceite bajo las condiciones óptimas.....	211
Tabla 34.	Evolución de los parámetros de color en la elaboración de snacks de uchuva bajo condiciones óptimas.	219
Tabla 35.	Evolución del cambio del parámetro dureza durante la elaboración de snacks de uchuva bajo condiciones óptimas.....	222
Tabla 36.	Evolución del cambio del parámetro A_w para la elaboración de snacks de uchuva bajo condiciones óptimas.	224
Tabla 37.	Comparación del contenido de aceite y humedad en uchuva bajo condiciones de fritura atmosférica (FA) y a vacío (FV).	226

Tabla 38. Contenido de aceite y humedad para uchuva fresca y osmodeshidratada bajo condiciones óptimas de fritura al vacío.....	228
Tabla 39. Caracterización fisicoquímica del snack de uchuva obtenido en las condiciones óptimas de proceso.	231
Tabla 40. Costos necesarios para la producción de 1 lote de snacks de uchuva.	246
Tabla 41. Tabla de costos corregida en base a reutilización de insumos (4procesos).....	247

Lista de Anexos

		pág.
Anexo 1.	Caracterización fisicoquímica de uchuva fresca.....	264
Anexo 2.	Datos experimentales y estadísticos para la construcción de la cinética de pérdida de humedad en deshidratación osmótica asistida por ultrasonido.	268
Anexo 3.	Datos experimentales para la construcción de la cinética de pérdida de agua (<i>PA</i>) en deshidratación osmótica asistida por ultrasonido.....	276
Anexo 4.	Ajuste de modelos empíricos al comportamiento experimental de <i>PA</i>	284
Anexo 5.	Significancia de la temperatura frente al nivel de Humedad final.	286
Anexo 6.	Significancia de la temperatura frente al nivel de <i>PA</i>	288
Anexo 7.	Determinación grafica de la difusividad del agua en el sistema de osmodeshidratación ultrasónica y cálculo de E_a	290
Anexo 8.	Datos experimentales y estadísticos para la construcción de la cinética de ganancia de sólidos en deshidratación osmótica asistida por ultrasonido.....	292
Anexo 9.	Ajuste de modelos empíricos al comportamiento experimental de <i>GS</i>	299
Anexo 10.	Determinación grafica de la difusividad de sólidos en el sistema de osmodeshidratación ultrasónica y cálculo de E_a	301
Anexo 11.	Datos experimentales y estadísticos para la construcción de la cinética de pérdida de peso (<i>PP</i>) en deshidratación osmótica asistida por ultrasonido.	303
Anexo 12.	Significancia de la temperatura frente al nivel de <i>GS</i>	312

Anexo 13.	Caracterización fisicoquímica uchuva osmodeshidratada	314
Anexo 14.	Maximización de la deseabilidad del sistema en el análisis de superficie de respuesta para la obtención de snacks de uchuva.	316
Anexo 15.	Datos experimentales y estadísticos para la construcción de la cinética de Absorción de aceite en fritura al vacío.	318
Anexo 16.	Datos experimentales y estadísticos para la construcción de la cinética de pérdida de humedad en fritura al vacío.....	320
Anexo 17.	Datos experimentales y estadísticos en la comparación del contenido de aceite bajo condiciones atmosféricas y sub atmosféricas de muestras frescas y osmodeshidratadas; fritura atmosférica (T=170°C t =1.5min) y a vacío (T=108°C, P = 0.54 Bar, t = 1.5 min).....	322
Anexo 18.	Datos experimentales y estadísticos en la comparación del contenido de aceite bajo condiciones atmosféricas y sub atmosféricas de muestras frescas y osmodeshidratadas; fritura atmosférica (T=170°C t =1.5min) y a vacío (T=108°C, P = 0.54 Bar, t = 1.5 min).....	324
Anexo 19.	Formato de prueba sensorial Hedónica aplicada	326

Glosario

Arrhenius:

Expresión matemática que describe el efecto de la temperatura sobre la velocidad de una reacción química

°Brix:

Es una escala basada en la cantidad que la luz se curva cuando pasa a través de un líquido, relacionado con el contenido de azúcar de una solución acuosa.

Deshidratación:

Extracción o pérdida del agua que contiene una sustancia, un organismo o un tejido orgánico que forma parte de su composición.

Difusión:

La difusión es un fenómeno espontáneo por el que las partículas y moléculas en un medio fluido se mueven desde una región de mayor concentración a una con menor concentración. El movimiento se produce en el sentido en el que se igualan las concentraciones en las dos regiones, es decir, en el sentido en el que disminuye el gradiente de concentración. Normalmente los procesos de difusión están sujetos a la ley de Fick. La membrana permeable puede permitir el paso de partículas y disolventes, pero siempre a favor de un gradiente de concentración.

Fritura:

Proceso de cocción de alimentos por inmersión en un aceite o grasa a una temperatura superior al punto de ebullición del agua, normalmente entre 150 y 200°C que provee al alimento de cualidades sensoriales especiales por medio de cambios fisicoquímicos en la estructura del alimento.

Hidrofílico:

Propiedad física de las moléculas que tienen tendencia a interactuar con el agua o a disolverse

en ella (o en otra sustancia polar). Estas moléculas son capaces de formar puentes de hidrógeno y generalmente están polarizadas.

Modelamiento:

Representación de un sistema real, cuya descripción de sus propiedades y características se lleva a cabo en términos de variables matemáticas y operaciones. Un modelo permite disminuir la complejidad de parámetros en un proceso, reducir el número de experimentos, ayudando a ahorrar, en términos de energía, tiempo y costos de operación, así como también extrapolar los resultados hacia regiones inexploradas

Osmosis:

La ósmosis es un fenómeno de difusión que ocurre cuando hay un gradiente de concentración pero las partículas no pueden moverse libremente mientras que el solvente sí. La Ósmosis es un proceso de difusión selectiva, impulsador por la energía interna de las moléculas del disolvente. Si dos disoluciones de diferentes concentraciones están separadas por una membrana semi permeable, que es permeable a las moléculas de disolvente más pequeñas, pero no para las más grandes, entonces el disolvente tenderá a difundirse a través de la membrana, desde la disolución menos concentrada hacia la más concentrada. Este proceso se llama Ósmosis.

Snack:

Porción de comida, más pequeña que una comida regular, generalmente se come entre comidas con variedad de formas que incluyen bocadillos envasados y otros alimentos procesados, así como también artículos hechos con ingredientes frescos en el hogar.

Ultrasonido:

El ultrasonido (US) es una onda mecánica con frecuencias que van desde 20 kHz hasta 100 MHz que pueden propagarse a través de un medio material, sólido, líquido o gaseoso, generando una serie de compresiones y expansiones rápidas y sucesivas, conocidas como "efecto esponja",

con tasas dependiendo de su frecuencia

Vacío:

Ausencia total de materia en un espacio o a la carencia de contenido en el interior de un recipiente

1. Planteamiento del problema

En la actualidad la producción de frutas constituye una de las alternativas para la inserción de las economías campesinas de los países andinos a los mercados nacionales e internacionales. La uvilla o uchuva (*Physalis peruviana* L.) proveniente de Ecuador y Colombia es reconocida por su calidad organoléptica, sin embargo, el estancamiento tecnológico está ocasionando la pérdida de su posicionamiento en el mercado con los consecuentes problemas para los integrantes de la cadena agroalimentaria. Entre las causas identificadas están la falta de alternativas de consumo y de nuevas formas de presentación que capten la atención de mas consumidores, la corta vida útil del fruto, y la inexistencia de sistemas de acondicionamiento y de almacenamiento apropiadas para los sistemas de producción en los que se desarrolla este cultivo. En Colombia se puede afirmar que son pocos los cultivos comerciales establecidos, originándose la mayor parte de la producción en pequeños y medianos empresarios (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2009).

Colombia es el primer productor y exportador en el mundo de uchuva (*Physalis Peruviana* L.) seguido de Sudáfrica, aunque el fruto colombiano se caracteriza por tener una mejor coloración y mayor contenido de azúcares (Fischer *et al.* 2000). Desde 2009, Brasil y Chile han aparecido como competidores activos, principalmente debido a los resultados prometedores con respecto al cultivo, producción y comercialización de esta fruta. A pesar del aumento de la producción, un factor que obstaculiza el marketing internacional es su alta perecibilidad. Se recomienda la comercialización de la fruta dentro de las 12 h posteriores a la cosecha; de lo contrario, debe almacenarse a una temperatura de 4°C y una humedad relativa del 90% (Luchese *et al.* 2015).

El aumento nacional en la producción de la uchuva, fruta que hasta hace unos años era considerada como silvestre y sin importancia, ha incrementado su potencial exportador, especialmente hacia países europeos (Aristizabal *et al.* 2004). La uchuva o uvilla (*Physalis*

peruviana) es la fruta más exportada en Colombia después del banano con una producción promedio de 11500 ton / año, de los cuales, en cultivos relativamente tecnificados, se ha calculado que el 50% de la producción reúne las condiciones para su exportación en fresco, 25% se consume también en fresco dentro del país y el resto se pierde por manejo inadecuado o calidad deficiente (Castro *et al.* 2008).

Vale destacar que un 28% del rechazo se debe al ataque de insectos y plagas y 18% a la madurez y tamaño del fruto. Tales problemas, que limitan aprovechar la totalidad de la producción y las potencialidades de los mercados, continúan siendo la principal dificultad, especialmente en las zona apartadas y de menor avance tecnológico.

En Nariño, según el Consolidado Agropecuario del 2015 (Dane, 2016) se cultivaron con uchuva 52,9 hectáreas en 152 unidades productivas, obteniéndose un total de 577,8 ton, con un rendimiento 10931,9 kg/ha. Los municipios del departamento donde se más cultiva uchuva son: Pupiales, Ipiales, Gualmatán, Funes, Pasto, Aldana, Potosí, Puerres, La Laguna, Cabrera y El encano.

De acuerdo con lo anterior se tiene que los elevados costos de producción, los bajos rendimientos por hectárea de la fruta y los bajos precios de venta en el mercado nacional, son problemas que limitan la obtención de ganancias a los productores, siendo los intermediarios de plazas de mercado y supermercados quienes registran mayores ganancias (Coral *et al.* 2011). A medida que aumenta en el país la producción de uchuva con fines de exportación, también se incrementa el volumen de fruta de calidad no exportable que queda disponible para el mercado nacional, lo que hace necesario buscar estrategias y alternativas para su aprovechamiento y comercialización. Entre tales estrategias se han considerado, por un lado, fomentar su consumo en fresco en el país y, de otro, buscar alternativas de procesamiento e industrialización de la fruta, con el fin de prolongar su vida útil y obtener productos con mayor valor agregado, lo que

conduciría a dinamizar las opciones de comercialización y a aumentar los márgenes de utilidad para los productores.

Actualmente se están desarrollando técnicas de procesamiento de uchuva para obtener productos estables y con agradables características sensoriales. Para tales productos se puede utilizar la uchuva no exportable, que sin estar alterada, es apta para su empleo en la elaboración de productos como pulpas, néctares, mermeladas, deshidratados, salsas, compotas, helados, conservas y otros (Camacho y Sanabria, 2005).

En los últimos años, el mercado de los snacks ha crecido enormemente. La industria americana de snacks genera US\$26 miles de millones en ventas anuales y está creciendo a una tasa anual de 4,5%. La aplicación de fritura convencional a elevadas temperaturas (160-180°C), no solo afecta a los pigmentos sino también a ciertas vitaminas y minerales, produciendo además un incremento en el contenido de grasa del producto final. Nutricionalmente el consumo de grasas es considerado un elemento clave en el sobrepeso, enfermedades coronarias y tal vez, ciertos tipos de cáncer, siendo recomendable su reducción. Por otra parte, algunos compuestos producidos durante el uso prolongado de aceites de fritura podrían tener efectos mutagénicos (Marzullo, C, 2010).

Recientemente se ha observado una marcada tendencia al aumento del consumo de snacks saludables frente a los comunes, siendo los principales atributos buscados por el consumidor: ausencia de aceites trans, bajo contenido de calorías, grasas, colesterol, azúcar y sodio, y presencia de vitaminas y minerales (Marzullo, C, 2010), siendo necesario investigar otra alternativa de fritura, que favorezca la conservación de compuestos nutricionales y funcionales (antioxidantes, vitaminas y minerales), preserve el color, el sabor de los alimentos y que reduzca el contenido de grasa del producto final, contribuyendo así a una alimentación saludable.

Se ha optado por el mejoramiento de la obtención de snacks por medio de la fritura a vacío;

una tecnología prometedora que puede ser una opción para la producción de snacks de frutas y verduras con un contenido bajo en aceite (Andrés *et al.* 2012; Garayo y Moreira, 2002), la reducción de los efectos adversos en la calidad del aceite, preservación de colores y sabores naturales, disminución del contenido en acrilamida (Granda *et al.* 2004), y la preservación de los componentes nutricionales (Da Silva y Moreira, 2008).

La obtención de esta clase de productos, con características agradables de textura y sabor y que respondan a las nuevas tendencias con valor agregado (Dueik *et al.* 2010) puede fortalecerse mediante el uso de pre tratamientos que permitan mejoras en las condiciones del producto, como es el caso de la deshidratación osmótica, que genera una mayor aceptabilidad sensorial, ahora bien, la deshidratación osmótica (*DO*) en conjunto con el uso del ultrasonido (*US*), proceso de onda mecánico que provoca la alteración de las propiedades físicas y químicas de los productos alimenticios acelerando la eliminación de la humedad y la ganancia sólida (Nowacka *et al.* 2014), se ha postulado como un pre-tratamiento de interés en este ámbito, pues bajo sus condiciones se aumenta la eficiencia del proceso y se obtienen materias primas cuyo bajo contenido de humedad favorece una rápida y más sana fritura, con menores contenidos de aceite final.

A pesar de sus ventajas, la *DO*, y más aún aquella asistida por ultrasonido, aún tiene restricciones para su implementación a nivel industrial tanto en el diseño de los equipos como de los procesos. Estas restricciones están relacionadas principalmente con la falta de modelos predictivos de cinéticas de pérdida de humedad y ganancia de sólidos que permitan relacionar con precisión las características de los productos deshidratados con las de la materia prima y las variables del proceso (Ochoa y Ayala, 2005)

A menudo, la deshidratación osmótica (*DO*) se utiliza en combinación con la fritura a vacío para producir snacks de fruta de alta calidad (Gómez, 2012) razón por la cual existe un creciente interés hacia el desarrollo de investigaciones orientadas a la obtención de snacks o chips de frutas

y verduras utilizando la tecnología de fritura al vacío (Zhu *et al.* 2015; Villamizar *et al.* 2012), por lo que en el caso de uchuva, por tratarse de un fruto andino, existe interés e inclinación por la necesidad de su obtención, pues la investigación en este campo es aun escasa.

La elaboración de snacks de frutas o verduras puede utilizarse como una forma agradable de consumir productos que constituyan un vehículo de nutrientes importantes para la salud y en este sentido se vienen desarrollando diversos estudios orientados a establecer los métodos y condiciones de procesamiento más adecuados para la obtención de este tipo de productos cuya demanda a nivel mundial sigue creciendo.

Un estudio como este es muy importante en el desarrollo del producto teniendo en cuenta la popularidad de snacks fritos en términos de calidad y nutrición (Esan *et al.* 2015).

Por lo anterior, en la presente propuesta se plantea dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el efecto de las variables del proceso de fritura por inmersión a vacío sobre las características de calidad de un snack de uchuva pretratada osmóticamente?

2. Justificación

El auge de la producción de uchuva y las correspondientes oportunidades de comercialización se ligan principalmente a las características de calidad propias de este fruto, al interés de varios países por incorporar y aumentar su consumo y al dinamismo que el sector exportador ha invertido para el desarrollo de esta industria en un corto periodo. Esto ha llevado a varias instituciones del país a considerar la uchuva como una de las frutas más promisorias y, en consecuencia, a dedicar esfuerzos de diverso orden para identificar mejor sus propiedades y posibilidades de conservación y aprovechamiento, mediante su transformación en productos derivados (Camacho y Sanabria, 2005).

El aprovechamiento de la uchuva que no cumple con los estándares de calidad para ser exportada, es una oportunidad para generar valor agregado, aumentar la vida útil de la fruta, incrementar la demanda y, por consiguiente, mejorar los ingresos de los cultivadores.

Además, la fruta es un alimento perecedero que en general se madura muy rápidamente y se tiene que ingerir en el menor tiempo posible luego de adquirida. Es en este contexto, que surge el snack de frutas deshidratadas como una opción alternativa al consumo de frutas frescas. Este tipo de snack goza de popularidad, sobre todo en países desarrollados, aunque también se lo acepta muy bien en nichos de mercado específicos en países en desarrollo.

En los últimos años la demanda de snacks se ha incrementado un 15 a 20% respecto del valor actual del mercado, siendo los pasabocas fritos los de mayor preferencia en el mercado (Charoen *et al.* 2015). La operación de fritura genera productos con cualidades organolépticas (color, textura y sabor) demandadas y apreciadas por los consumidores; sin embargo, estos productos presentan altos contenidos de grasa, la cual puede causar efectos adversos sobre la salud.

Adicionalmente, las altas temperaturas en el proceso de fritura y la exposición a oxígeno generan otros efectos no deseables como son la degradación de importantes compuestos

nutritivos y la generación de moléculas tóxicas (acrilamida) en el producto alimenticio (Villamizar *et al.* 2012).

Las nuevas tendencias en snacks saludables, que apuntan a alimentos con mayor valor nutricional, hacen necesario el estudio de nuevas técnicas de procesamiento para obtener alimentos de mejor calidad (Marzullo, C. 2010). Los recientes consumidores tienden hacia productos más saludables y aquellos con bajo contenido de aceite han tenido un impacto significativo en la industria de los snacks (Dueik *et al.* 2010).

Por ello se postula a la fritura al vacío como una excelente alternativa a la fritura convencional, la cual ofrece beneficios significativos tales como la disminución en el contenido final de grasa, preservación de nutrientes y reducción en la generación de compuestos tóxicos (Maity *et al.* 2014; Crosa, *et al.* 2014). La tecnología de fritura al vacío se dispone como una opción de procesamiento para el desarrollo de un producto tipo aperitivo o pasaboca (snack) a partir de la uchuva con un perfil sensorial apropiado, y saludable al presentar bajos niveles de grasa.

A nivel mundial, el consumo de frituras es considerado de bajo valor nutrimental y de alto aporte calórico y por ello se ha incrementado el interés de la industria en diseñar nuevos productos con el fin de mejorar la calidad de los alimentos, reduciendo al mínimo la absorción de aceite y la formación de acrilamida (Aguirre *et al.* 2016).

Un producto así podría tener una amplia potencialidad de mercado por sus propiedades nutricionales y funcionales, lo que constituiría una alternativa para el aprovechamiento de los excedentes de exportación y una fuente de ingresos que mejoraría la competitividad de esta fruta promisoría.

3. Objetivo general

- Optimizar las condiciones del proceso de fritura al vacío para la obtención de snacks de uchuva (*Physalis Peruviana L.*) pretratada por técnica de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido.

3.1 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la deshidratación osmótica asistida con ultrasonido sobre algunos atributos de calidad como pre tratamiento para la fritura al vacío de snacks de uchuva.
- Definir los niveles más apropiados para los factores tiempo, temperatura y presión que optimicen los atributos de calidad de snacks de uchuva obtenidos por fritura al vacío.
- Modelar los fenómenos de pérdida de humedad y absorción de aceite del snack obtenido bajo las condiciones óptimas de proceso.

4. Marco teórico

4.1. Fundamentos

4.1.1. Uchuva (*Physalis peruviana* L.).

La uchuva (*Physalis peruviana* L.), pertenece a la familia de las Solanáceas, cuenta con más de ochenta variedades que se encuentran en estado silvestre. Esta fruta es originaria de los Andes suramericanos, es la especie más conocida de este género (Fischer *et al.* 2000).

Las principales especies son *Physalis angulata* Linnaeus, *Physalis pubescens* L., *Physalis alkekengi* L. y *Physalis peruviana* L.; la última especie es la más conocida y estudiada. *Physalis peruviana* L. se origina en la región de los Andes sudamericanos y pertenece a la familia Solanaceae; crece en diferentes tipos de suelo y tiene bajos requerimientos de fertilización (Luchese *et al.* 2015).

El fruto *Physalis* es conocido con los nombre vulgares de uchuva, aguaymanto, capulí, motojobobo embolsado, topotopo, cereza de judas, chuchuva, poga y uvilla, en inglés se conoce como cape gooseberry o peruvian grandcherry (Duque *et al.* 2011).

Respecto a los estándares de calidad nacional e internacional de la uchuva, la norma técnica colombiana (NTC) 4580 de 1999 establece los requisitos de la uchuva destinada para el consumo fresco o como materia prima para el procesamiento. La madurez de la uchuva se aprecia visualmente por el cambio del color externo (Imagen 1). Su estado se puede confirmar por medio de la determinación de sólidos solubles totales, acidez titulable e índice de madurez.

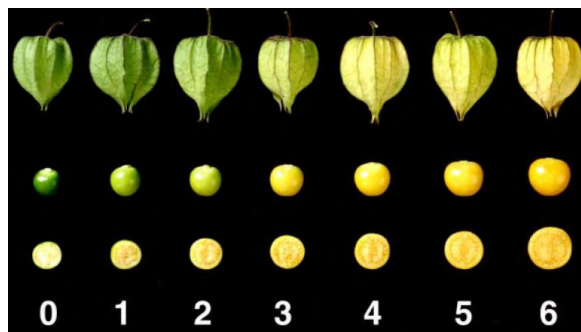


Imagen 1. Tabla de color para estados de madurez de uchuva según la norma técnica NTC 4580.

La uchuva fresca tiene una corta vida útil pos cosecha, alto contenido de agua y grandes cantidades de compuestos bioactivos; por lo tanto, las tecnologías alternativas como la deshidratación osmótica podrían reducir la pérdida pos cosecha de esta fruta (Luchese *et al.* 2014).

4.1.1.1. Composición nutricional.

Autores como Puente *et al.* (2010) y Ramadan (2011), describen a la uchuva como fruta de gran importancia debido a las características fisicoquímicas y nutricionales que posee y a la relación de sus componentes fisiológicamente activos con efectos benéficos sobre la salud humana, tales como carotenoides, esteroides, actividad antioxidante por su contenido de polifenoles y vitaminas, otros componentes también se encuentran presentes en la uchuva, entre ellos componentes medicinales, que han sido estudiados incluyendo withanoloides, whitaesteroides (Luchese *et al.* 2015).

Estos compuestos presentaban propiedades farmacológicas importantes, que incluían propiedades antimicrobianas, antibacterianas, antitumorales, antiinflamatorias, hepatoprotectoras, inmunomoduladoras e inmunosupresoras, además de demostrar la eficacia para la inhibición de respuestas no deseadas en enfermedades autoinmunes y alergias, así como para el trasplante de órganos (Luchese *et al.* 2015).

Los compuestos bioactivos, han sido asociados al combate de células cancerígenas, al retardo de los efectos del envejecimiento precoz y a la disminución de la incidencia de enfermedades crónico-degenerativas (Ramadan, 2011). Los frutos de *Physalis* presentan actividad como estimulante inmunológico, efecto antiinflamatorio, analgésico, antiviral y antibacteriano (Wu *et al.* 2006).

El fruto de uchuva es importante por su contenido de azúcares y vitaminas A, B y C. En virtud de su contenido de vitamina A se le conoce como un fruto carotenógeno y a diferencia de otras frutas el contenido de este ácido orgánico, aumenta durante la maduración (Fischer, 2000), la composición nutricional de la uchuva se resume en la Tabla 1. Durante la maduración del fruto el pH aumenta (el jugo de uchuva presenta valores de pH entre 3.6 a 4.1) como consecuencia de la reducción de los niveles de ácidos orgánicos; este comportamiento es propio de los frutos climatéricos; lo que puede llevar a clarificarse a la fruta como tal. Los ácidos orgánicos presentes son el cítrico (predominante), seguido del málico y oxálico.

Tabla 1.**Composición nutricional de la uchuva por cada 100g de pulpa.**

Factor nutricional	Contenido	Factor nutricional	Contenido
Calorías	54,0	Tiamina (mg)	0,01 – 0,03
Agua	79,6	Riboflavina (mg)	0,17 – 0,18
Proteínas (g)	1,1 -1,5	Niacina (mg)	0,8
Grasas (g)	0,4 – 0,5	Ácido ascórbico (mg)	20,0
Carbohidratos (g)	11,0 – 13,1	Pulpa g/100g fruta	70,0
Fibra (g)	0,4	Cascara g/100g fruta	3,5
Cenizas (g)	0,7 – 1,0	Semilla g/100g fruta	26,5
Calcio (mg)	7,0 – 9,0	Proteínas (g)	1,1 -1,5
Fosforo (mg)	2,1 – 3,8	Grasas (g)	0,4 – 0,5
Hierro (mg)	1,2 -1,7	Carbohidratos (g)	11,0 – 13,1
Vitamina A (U.I)	648,0 – 1730,0	Fibra (g)	0,4

Fuente: González (2010) y Mendoza et al. (2012).

Como se ha estudiado la uchuva posee características tanto fisicoquímicas como organolépticas que permiten obtener diversos productos transformados con elevados rendimientos. El contenido en pulpa (70%), en sólidos solubles (14%), su pH alrededor de 3.4 y especiales color, aroma y sabor son parámetros que, sin duda, favorecen el aprovechamiento industrial; las presentaciones comerciales de uchuva procesada más frecuentes son: fruta congelada IQF, puré, pulpa, mermeladas, conservas, y actualmente deshidratada (para consumir como pasabocas).

4.1.2. Deshidratación Osmótica.

4.1.2.1 Definición.

La deshidratación osmótica se define como el proceso o tratamiento utilizado para reducir el contenido de humedad de los alimentos, en el cual se lleva a cabo una deshidratación parcial de un alimento sólido rico en agua, a través de la inmersión en una solución acuosa hipertónica de uno o varios solutos comestibles por un tiempo determinado con el objeto de prolongar el tiempo de vida comercial y mantener características sensoriales y nutricionales (Park *et al.* 2002; Ochoa y Ayala, 2005; Vega *et al.* 2007; Fernandes *et al.* 2007; Nowacka *et al.* 2014; Gómez, 2014; Hui *et al.* 2012; Shafiq *et al.* 2017).

Su aplicación en la conservación de frutas y hortalizas es muy importante, sobre todo en aquellas que presentan un corto tiempo de cosecha y que son perecederas. Además, en algunos casos, la deshidratación parcial de un alimento es imprescindible para que adquiera ciertas características que faciliten su procesamiento (Jijaba, 2010).

Es un proceso que involucra bajos costos de inversión y es de fácil implementación, lo que la convierte una excelente alternativa de procesamiento (Arias *et al.* 2017) usado principalmente como pre-tratamiento de muestras que luego son sometidas a congelación o a deshidratación térmica (Maldonado, 2008).

4.1.2.2 Solución osmótica.

La solución osmótica o también denominada hipertónica, es una solución concentrada rica en solutos, en la cual se sumerge el producto a deshidratar, que disminuye la actividad de agua de la misma y pueda crear una diferencia de presión osmótica entre el producto y la solución. Los solutos comúnmente utilizados en los procesos de deshidratación osmótica son: mono y disacáridos (glucosa, fructosa, sacarosa, lactosa), sales (cloruro de sodio) e hidrolizados de productos ricos en almidón (hidrolizado de maíz con alto contenido de fructosa y glicerol)

(Jijaba, 2010).

La concentración ideal de azúcares en dichas soluciones se encuentra generalmente en el rango de 60-70 °Brix, ya que a concentraciones elevadas la tasa de ósmosis se incrementa. Por otro lado, la solubilidad de las sales en agua disminuye conforme aumenta la concentración, por lo que se utilizan comúnmente concentraciones bajas, cercanas al 25 %, además de que a concentraciones más elevadas el sabor final del producto puede verse perjudicado (Cazar, 2015).

Al momento de elegir el soluto o solutos para la preparación de la solución osmótica, se deben considerar tres factores importantes: las características sensoriales del producto, el costo del soluto y su masa molecular (Jijaba, 2010).

Los solutos que normalmente se utilizan en las soluciones osmóticas, son de bajo costo, tales como sacarosa, glucosa, fructosa, cloruro de sodio, glicerol, sorbitol y combinaciones de estos, presentando efecto sinérgico, como es el caso de la mezcla sacarosa-cloruro de sodio. Generalmente, las soluciones de sacarosa son usadas para frutas y las soluciones de cloruro de sodio para vegetales (Vega *et al.* 2007).

La elección del soluto y la concentración de la solución osmótica depende de varios factores, como su efecto en la calidad organoléptica, sabor del producto final su capacidad para disminuir la actividad de agua, la solubilidad del soluto, la permeabilidad a la membrana celular, efecto conservador y el costo (Sharma *et al.* 2003).

4.1.2.3 Transferencia de materia y modelamiento cinético en la deshidratación osmótica.

Desde el punto de vista de la transferencia de masa, la deshidratación osmótica es un proceso complejo de contra-difusión simultáneo de agua y solutos a través de las membranas celulares, debido a la fuerza motriz creada por la alta presión osmótica de la solución o por el gradiente de concentración entre la solución osmótica y el sólido, en el cual la velocidad de transferencia de masa disminuye hasta alcanzar el equilibrio en el que la tasa neta de transporte de masa es nula lo

que permite reducir hasta el 80% del agua original del alimento, protegiendo e incluso mejorando el color y sabor del producto final (Rastogi y Raghavarao, 1997; Jijaba, 2010; Ayala *et al.* 2010; Arias *et al.* 2017).

El fenómeno de *DO* implica la remoción de agua del alimento y el ingreso de sólido desde la solución hipertónica hacia el interior del alimento como se aprecia en la Figura 1. La velocidad y el grado de deshidratación de un material y los cambios en su composición química dependen de la concentración de la solución osmodeshidratante, el tipo de agente osmótico, el grado de agitación del medio, la estructura, forma y tamaño del alimento, el peso molecular del soluto osmótico, de la relación fruta: jarabe, de la temperatura, del tiempo y de factores externos como la aplicación de presión o pulsos de vacío y el empleo de ultrasonido (Maldonado, 2008; Jijaba, 2010; Romero, 2015; Arias *et al.* 2017).

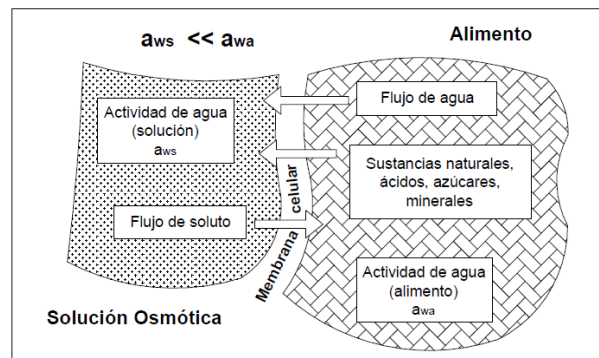


Figura 1. Transferencia de materia durante la deshidratación osmótica.

Fuente: (Jijaba, 2010)

Las membranas de los alimentos son semipermeables por lo cual esta técnica provoca al menos dos flujos principales simultáneos en contracorriente. Un importante flujo de agua del interior de la fruta hacia el exterior, para tratar de equilibrar el potencial químico del agua a ambos lados de dichas membranas. Simultáneamente se presenta, en menor cantidad, la entrada de soluto desde la parte externa hacia el interior del producto a deshidratar. Además hay otro flujo

que se debe considerar el que consiste en una mínima pérdida de solutos propios del alimento (azúcares, sales minerales, ácidos orgánicos y otros) que aunque cuantitativamente es insignificante, puede tener alguna importancia a nivel nutricional y organoléptico (Vega *et al.* 2007; Park *et al.* 2002; Ayala *et al.* 2010)).

La transferencia de materia en la deshidratación osmótica se da por mecanismos de convección libre y difusión, estos pueden ser simultáneos para los mismos componentes, debido a la estructura compleja de los alimentos. Se considera que después de cierto tiempo de tratamiento osmótico y, dependiendo de las condiciones del proceso, la permeabilidad selectiva de la membrana se destruye y el soluto puede penetrar por difusión (Jijaba, 2010)

La transferencia de masa en el proceso de deshidratación osmótica a presión atmosférica se modela fenomenológicamente utilizando generalmente el modelo de Crank que consiste en una solución de la ley de Fick.

La gran complejidad del proceso de transferencia de masa hace que la predicción precisa sea difícil y que dependa de la determinación apropiada de las condiciones de equilibrio y de parámetros como la difusión efectiva, algunos de éstos modelos se desarrollaron a partir de ajustes polinómicos y otros, a partir de los balances de masa y de las relaciones entre las variables del proceso ((Ochoa y Ayala, 2005). Por tal razón para simplificar el tratamiento del fenómeno se suele interpretar la información experimental mediante modelos empíricos y semiempíricos los cuáles son válidos solamente para reproducir condiciones semejantes a las experiencias de las que se obtuvieron los datos por lo que, estos métodos no permiten la extrapolación más allá del rango experimental. (Della Rocca, 2010; Arias *et al.* 2017).

Por lo general, las velocidades más altas de eliminación de agua se alcanzan dentro de los primeros 60 minutos de deshidratación osmótica, debido a una gran fuerza impulsora en la savia diluida de la fruta y la solución osmótica. Esto es seguido por velocidades más bajas a causa de la

formación de una capa superficial sólida que reduce la fuerza impulsora. La velocidad de ganancia de sólidos también parece compararse de manera similar en la mayoría de los casos. Sin embargo, depende del tamaño del soluto y la permeabilidad de la membrana del alimento (Sharma *et al.* 2003).

Inicialmente, el alimento tiene una alta humedad en la superficie (película continua de agua), pues la velocidad de desplazamiento del agua dentro del alimento es suficiente para mantener la superficie mojada. Sin embargo, mientras continúa el secado, como puede observarse en la Figura 2, llega un momento en que el movimiento del agua no es capaz de mantenerse en superficie y la velocidad de secado o deshidratación disminuye (período decreciente) (Marzullo, C. 2010).

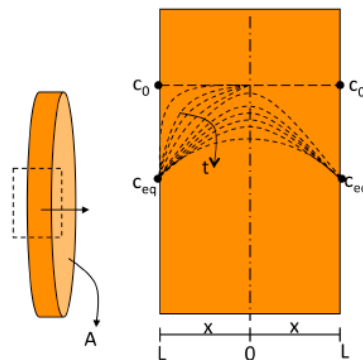


Figura 2. Modelo conceptual de difusión líquida en una placa plana con resistencia superficial despreciable. Las líneas representan la evolución de la concentración de humedad en el tiempo (t).

Fuente: (Marzullo, C, 2010)

Existen estudios de las principales variables que producen efecto sobre la deshidratación osmótica, específicamente sobre la cinética de transferencia de materia, entre ellas destacan las propias del producto como composición, la estructura (porosidad) del material, la geometría (tamaño, forma y área superficial), presencia de piel, pre tratamientos previos, y de la solución

osmótica como temperatura, concentración, naturaleza del agente osmótico, presión de trabajo (vacío o atmosférica), razón alimento-solución, tiempo de inmersión y nivel de agitación (Ayala-Aponte, A, 2005; Vega *et al.* 2007).

Sharma *et al.* (2003) propone igualmente como factores influyentes, la estructura de la membrana del alimento, la relación entre pro pectina y pectina soluble, espacio intercelular, compacidad del tejido, aire atrapado, etcétera.

4.1.2.4 Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica.

El proceso de deshidratación generalmente se realiza por medio de un secado térmico utilizando técnicas como secado con aire, al sol y al vacío, microondas, liofilización y fritura, pero con la consecuente modificación de las propiedades organolépticas del alimento y su degradación por descomposición térmica, oxidación o pardeamiento enzimático. Se ha comprobado que efectuando un tratamiento de deshidratación osmótica (*DO*) previo al proceso de secado térmico se reduce el daño de las propiedades texturales, estructurales y sensoriales del alimento y se disminuyen los costos energéticos (Ochoa y Ayala, 2005).

Según Jijaba, (2010) y Cazar (2015), si se comparan los tratamientos tradicionales con la deshidratación osmótica, esta última presenta algunas ventajas:

1. La deshidratación osmótica tiene varias ventajas tales como un mayor contenido nutricional que los producidos por cualquier otro método de secado, ya que la deshidratación osmótica hace poco daño a los componentes nutricionales dentro de la fruta (Hui *et al.* 2012), además los alimentos presentan menor daño de color y sabor, debido a que la ósmosis puede realizarse a bajas temperaturas, que en el secado térmico (Azura *et al.* 2002).

2. Conserva mejor el sabor “fresco” de productos como las frutas, si se utiliza como pre tratamiento en los procesos de conservación por congelación, secado por aire caliente, liofilización, pasteurización, secado solar o elaboración de productos auto estable de humedad

intermedia.

3. Inhibir la transferencia de oxígeno a la fruta por la presencia de azúcar sobre la superficie, reduciendo el pardeamiento enzimático, además debido a la alta concentración de soluto alrededor del alimento, con lo cual se evita el uso de aditivos químicos como el sulfito

4. Conserva mejor la estructura de los alimentos, ya que la eliminación del agua se realiza sin cambio de estado.

5. Retardar la pérdida de volátiles durante el secado térmico (Azuara *et al.* 2002), y el proceso individual evita la pérdida de ciertos nutrientes hidrosolubles, como la vitamina C.

6. Permite reducir costos en el proceso de secado, gracias al ahorro de tiempo cuando se utiliza este método como pre tratamiento.

7. Es posible introducir solutos y especies tales como agentes conservantes, nutrientes, saborizantes o mejoradores de textura como componentes activos a través de la disolución osmótica.

Según Cazar (2015) la deshidratación osmótica presenta las siguientes desventajas:

1. La disminución de acidez, en ciertos productos, puede causar problemas de almacenamiento y cambios de sabor.

2. Puede formarse una capa de azúcar que no favorezca la textura de los alimentos después del secado complementario.

3. Las frutas pueden oxidarse en pocas semanas debido a la alta retención de aceites esenciales, con un deterioro del sabor.

4. Los alimentos tratados con ósmosis disminuyen sus atributos de calidad cuando se los somete a un proceso de rehidratación.

5. La lentitud del proceso de secado osmótico puede representar un problema en ciertos procesos.

4.1.3 Ultrasonido.

El interés económico respecto reducción del consumo de energía (temperaturas más bajas) para la eliminación de agua sin cambio de fase, en comparación con el secado convencional, ha sido una de las principales razones al momento de utilizar la osmodeshidratación, razón por la cual se han propuesto diferentes técnicas para asistir el proceso de pérdida de humedad en el producto; una de las más novedosas y eficientes ha sido la aplicación de frecuencias sonoras como un pre-tratamiento alternativo asociado a procedimientos de secado, el cual consiste en la inmersión de la fruta en el agua o en una solución acuosa hipertónica a la que se aplica el ultrasonido (Mason, 1998).

El ultrasonido es una de las tecnologías emergentes con mayor investigación y desarrollo para la conservación de alimentos, utilizada, principalmente para la disminución de la concentración de microorganismos y la inhibición de la actividad enzimática, sin alterar las propiedades físicas, químicas y nutricionales de los alimentos. La aplicación de ultrasonido se fundamenta en el hecho de que las ondas (por encima del rango audible para los seres humanos) crean un efecto de cavitación que rompe las paredes celulares, por lo que se ha empleado para acelerar la transferencia de calor y de masa desde o hacia el alimento en operaciones tales como la extracción o el secado de frutas (Chemat, *et al.* 2011).

El ultrasonido (US) es una onda mecánica con frecuencias que van desde 20 kHz hasta 100 MHz que pueden propagarse a través de un medio material, sólido, líquido o gaseoso, generando una serie de compresiones y expansiones rápidas y sucesivas, conocidas como "efecto esponja", con tasas dependiendo de su frecuencia (Fernandez y Rodruiguez, 2007), esta promoción de la alteración de las propiedades físicas y químicas de los productos, acelerando la eliminación de la humedad y la ganancia sólida (Nowacka *et al.* 2014).

Las fuerzas implicadas en este mecanismo mecánico pueden ser más altas que la tensión

superficial que mantiene la humedad dentro de los tubos capilares de la fruta formando canales microscópicos en el tejido de frutas que significan una vía más fácil para el intercambio de materia, pues consecuentemente ocurre un incremento en la permeabilidad de la piel de la fruta. Por otro lado, se facilita la expansión y escape del gas atrapado en los poros, para que los poros vacíos se llenen por la solución osmótica. Este mecanismo puede explicar el aumento y la mejora en la difusión en masa cuando se utiliza el tratamiento ultrasónico (Fernandes. F *et al.* 2007; Nowacka *et al.* 2014; Hui *et al.* 2012; Luchese *et al.* 2014).

Cuando las ondas mecánicas se transmiten a través de un fluido, la distancia promedio dentro de las moléculas se modula, oscilando alrededor de su posición de equilibrio. Durante el ciclo de compresión, la distancia intermolecular se acorta y se alarga nuevamente en el ciclo de rarefacción; cuando la disminución de presión en el ciclo de rarefacción es bastante para exceder la distancia crítica entre moléculas, las cavidades pueden aparecer en el líquido. Aquellas burbujas incipientes siguen creciendo hasta que el sistema alcance su presión mínima y comienza el ciclo de compresión subsiguiente. Entonces, las cavidades pueden comenzar otro ciclo de rarefacción o colapso adiabático causando una implosión violenta al final de ciclo de compresión lo cual puede ser provechosa para quitar la humedad fuertemente ligada (Luchese *et al.* 2014).

Rastogi and Raghavarao, (1997) y Nowacka *et al.* (2014) proponen llevar a cabo la aplicación de ultrasonido a temperatura ambiente de manera que se proporcione altas velocidades de remoción de agua y ganancia sólida, que por una menor degradación térmica se conduce a un mejor mantenimiento de un aroma natural, color y contenido de nutrientes. Sin embargo, incluso a temperatura ambiente, el tejido sometido a ondas ultrasónicas puede someterse a un calentamiento local debido al efecto de cavitación, que podría depender de la secuencia de ultrasonidos aplicada (pulsada o continua), la duración, la fuerza y la frecuencia de los pulsos.

4.1.4. Fritura de alimentos.

4.1.4.1 Fritura convencional de alimentos.

4.1.4.1.1 Generalidades.

A partir de la primera mitad del siglo XX, se empieza a describir los complicados cambios físico-químicos que ocurren durante este proceso y surge la necesidad de conocer, controlar y optimizar las distintas variables que influyen en el proceso de fritura, con el fin de implementar su aplicación en la industria de alimentos (Stier, 2004; Badui, 2006).

Los cambios de temperatura y de humedad que suceden en el interior del mismo logran la preservación del alimento (Moreira, 2001; Sahin *et al.* 2000; Vitrac *et al.* 2000), como resultado de la destrucción térmica de los microorganismos, toxinas e inactivación de las enzimas, y la reducción de la actividad de agua (Rimac *et al.* 2004; Jijaba, 2010) sin embargo, se presentan efectos indeseables derivados de las altas temperaturas y la exposición al oxígeno, como la degradación de importantes compuestos nutricionales y la generación de moléculas tóxicas como la acrilamida alrededor de 28 $\mu\text{g kg}^{-1}$, así como a la polimerización de aceite (Moreira y Tichy, 2004).

Según Dueik y Bouchon (2011), durante el proceso de fritura a presión atmosférica se presenta la oxidación de los carotenoides, ácido ascórbico y antocianinas, produciendo olores desagradables y reducción de la capacidad antioxidante. Por otro lado, las altas temperaturas también influyen en la desnaturalización de las proteínas, que pueden afectar al desarrollo de las características propias de los alimentos fritos, particularmente en el color y la textura. Además, los cambios de color se afectan por los tiempos de fritura y tipos de aceite, así como también la variedad, las condiciones de almacenamiento previas, y los antioxidantes (Dueik y Bouchon, 2011; Krokida, *et al.* 2000; Sahin, 2000).

4.1.4.1.2 Transferencia de calor y de materia durante el proceso de fritura.

El proceso de fritura consiste en sumergir el alimento en aceite o grasa caliente a altas temperaturas y a presión atmosférica. La diferencia de temperatura entre el alimento y el aceite desencadena un proceso simultáneo de transferencia de calor y de materia (Figura3) (Moreira, 2001; Vitrac *et al.* 2000).

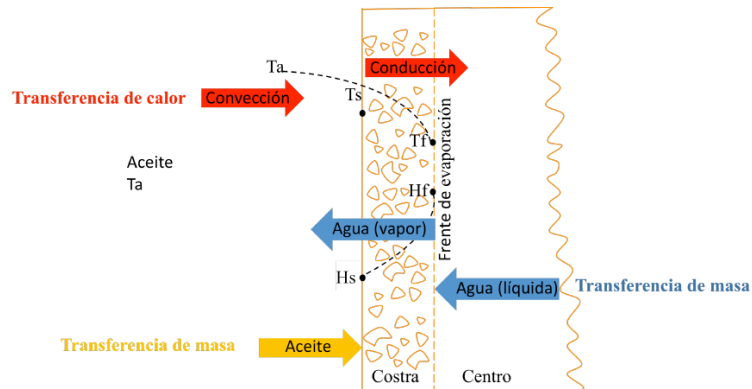


Figura 3. Diagrama genérico de los posibles mecanismos de transferencia de calor y masa durante la fritura

Fuente: (Marzullo, C. 2010)

La transferencia de calor durante el proceso de fritura se realiza por dos mecanismos: convección y conducción.

En la Figura3 se observa que la transferencia por convección, ocurre entre el aceite caliente y la superficie del alimento, mientras que la transferencia por conducción, tiene lugar desde la superficie hacia el interior del alimento donde la magnitud de esta transferencia está influenciada por las propiedades térmicas del alimento y éstas pueden cambiar durante el proceso (Aguilera, 1997; Moreira, 2001). La transferencia de materia se caracteriza por la pérdida de humedad y la ganancia de aceite, flujos que operan en contracorriente, impulsados por la transferencia de calor del aceite al alimento, por ello es inevitable describir ambos fenómenos de transferencia de forma conjunta.

Como resultado de la transferencia de materia y de calor, el producto presenta dos regiones características: la costra o superficie deshidratada, donde se producen los principales cambios, y el interior del alimento, donde la temperatura no sobrepasa la temperatura de ebullición del agua (Dobarganes *et al.* 2000). Los principales parámetros que influyen en la pérdida de agua y la absorción de aceite son la temperatura y el tiempo de fritura. Otros parámetros a considerar en el proceso son la forma del alimento y la relación entre el tamaño del producto y la superficie expuesta al medio circundante, que permiten el desarrollo del dorado del producto y el inicial ablandamiento al principio de freír y el endurecimiento de las capas externas de los tejidos con más tiempo de fritura (Figura 4) (Dobarganes *et al.* 2000; Moreira, 2001).

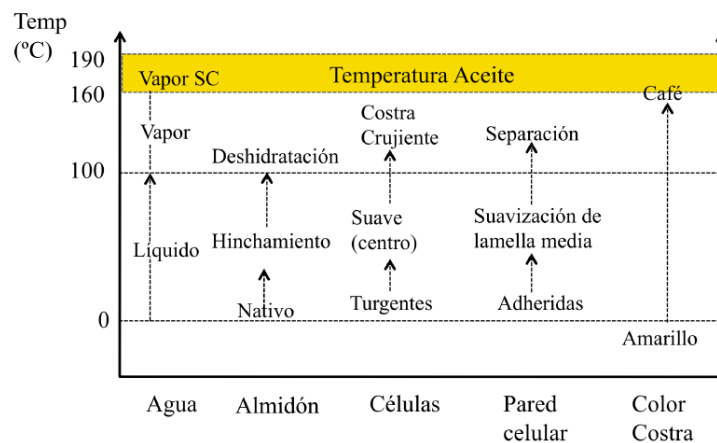


Figura 4. Cambios físicos, químicos y estructurales que ocurren en fritura por inmersión

Fuente: (Marzullo, C. 2010)

4.1.4.1.4 Pérdida de humedad durante el proceso de fritura.

Cuando el alimento ingresa en el aceite caliente, el calor de éste es transferido al alimento, el cual rápidamente se calienta desde la temperatura ambiente (23-24 °C) hasta el punto de ebullición del agua (100°C) momento en que empieza a evaporarse y pasa al aceite. Por este motivo la fritura puede considerarse como un proceso de deshidratación (Stier, 2004) y el comportamiento de la cinética de transferencia de agua es similar al producido en cualquier

proceso de deshidratación, como puede ser el llevado a cabo utilizando aire caliente (Baumann y Escher, 1995; Stier, 2004).

Según Stier, 2004, la cinética de transferencia se divide en tres etapas:

1. La etapa de calentamiento del alimento, se inicia con la inmersión del alimento en el aceite caliente y termina cuando la superficie de este alcanza la temperatura de ebullición del agua superficial. Esta etapa tiene una duración muy corta, ya que el agua líquida tiene un alto calor específico y se caracteriza por la ausencia de burbujas de vapor y se identifica con la etapa de velocidad de secado creciente, el calor es transferido por convección natural desde el aceite hacia la superficie del alimento y por conducción desde la superficie al interior del mismo (Jijaba, 2010)

2. En la etapa de velocidad de secado constante, la cantidad de calor transferido es suficiente para que el agua superficial del alimento alcance condiciones de ebullición y esta se evapore muy rápidamente, observándose una explosión de burbujas de vapor. Es una etapa breve, donde empieza a formarse la costra en la superficie del alimento (Aguilera, 1997).

3. La etapa de velocidad decreciente, es la de mayor duración. La temperatura del interior del alimento es cercana al punto de ebullición del agua, mientras que la temperatura de la corteza se aproxima a la del aceite caliente y la humedad se reduce a niveles muy bajos (Aguilera, 1997).

Dado que la costra sigue aumentando de espesor y por su baja conductividad térmica, disminuye la transferencia de calor en la interfase costra e interior del alimento y, por ende, la salida de agua del interior del alimento. El fin de esta etapa se produce cuando ya no se aprecia la salida de burbujas de vapor del alimento (Aguilera, 1997) esto puede ser ocasionado por la reducción de la transferencia de calor en la interfase costra e interior del alimento, o por la eliminación total del agua del alimento.

4.1.4.1.5 Ganancia de aceite durante el proceso de fritura.

La cinética de absorción de aceite por parte del producto es más compleja, porque mientras el vapor esté presente en los poros del alimento, impedirá el paso del aceite al interior del mismo, y sólo cuando disminuya la salida del vapor el aceite podrá transferirse al alimento, si bien dependerá de las propiedades de permeabilidad de la costra formada en la superficie del alimento.

La pérdida de agua no es uniforme en el producto, primero ocurre en la superficie y, según transcurre el calentamiento, gradualmente va afectando al interior del mismo. El contenido de aceite aumenta con el tiempo de fritura y se concentra principalmente en el área cercana a la superficie del alimento (Moreira *et al.* 1995; Costa y Oliveira, 1999). La cinética de ganancia de aceite inicia cuando la temperatura del producto se incrementa y empieza a formarse la costra, si el espesor del producto es más grueso, disminuye el contenido de aceite en el interior del mismo.

Los mecanismos de transferencia de masa en la fritura atmosférica se pueden dividir en dos períodos: el período de fritura y el período de enfriamiento.

Una vez que los poros se llenan con gas (vapor de agua y aire), la temperatura y luego la presión aumentan a un ritmo acelerado (debido al alto diferencial de temperatura con el aceite). Durante este período, la presión capilar es insignificante, por lo que no hay una fuerza motriz para que el aceite fluya a los poros del chip.

Gamble *et al.* (1987) observaron que el contenido de aceite no estaba directamente relacionado con la temperatura de fritura, sino con la humedad residual del alimento. Esto lo corroboran Moreira, *et al.* (1995) que demuestran que la mayor retención de aceite en el producto tiene lugar cuando la mayor cantidad de agua ha salido del mismo.

Yamsaengsung y Moreira (2002) indican que cuando la temperatura del aceite es alta, el secado es más rápido, además la temperatura y presión del producto aumentan rápidamente.

Durante el período de enfriamiento, a medida que el producto se enfría, la presión del vapor

dentro de los poros cambia como consecuencia del llamado aumento de la presión capilar. Esta diferencia de presión entre la superficie y los poros del producto frito crea una fuerza impulsora, un efecto de succión, para que el aceite y el aire penetren en los poros, por lo que la temperatura a la que se enfría el producto, si es a una temperatura cercana a la del producto no absorberá mucha cantidad de aceite (Moreira *et al.* 1995; Aguilera, 1997; Vitrac *et al.* 2000; Yamsaengsung y Moreira, 2002).

4.1.4.2 Fritura al vacío de alimentos.

4.1.4.2.1 Generalidades.

El proceso de fritura al vacío es básicamente el mismo que el de la fritura convencional, pero en este caso se efectúa en un sistema cerrado, lo que permite reducir la presión hasta niveles considerablemente inferiores a la presión atmosférica.

La presión de trabajo disminuye la temperatura de ebullición del agua contenida en el alimento con respecto a la presión atmosférica, permitiendo la disminución de la temperatura del aceite durante la fritura sin afectar negativamente la textura característica del alimento frito (Shyu *et al.* 2005; Jijaba, 2010; Coronel, 2014) permitiendo retirar la humedad en temperaturas más bajas gracias a la disminución de su punto de ebullición y prolongando la vida útil del aceite, pues la ausencia de aire durante la fritura a vacío puede inhibir la oxidación lipídica y el tueste enzimático de las muestras, reduce el contenido final de grasa, presenta un contenido muy bajo de acrilamida y una mejor calidad organoléptica y nutritiva preservando el color natural (Imagen 2) y sabores del producto debido a la baja temperatura y contenido de oxígeno durante el proceso, (Garayo & Moreira, 2002; Shyu, *et al.* 2005; Liu-Ping *et al.* 2005; Mariscal y Bouchon, 2008; Pérez Tinoco *et al.* 2008; Da Silva y Moreira., 2008; Troncoso & Pedreschi, 2009; Dueik *et al.* 2010; Yamsaengsung *et al.* 2011; Dueik & Bouchon, 2011; Villamizar *et al.* 2012; Crosa, *et al.* 2014;), obteniendo así snacks más saludables, y conservando además sus particulares

características originales.



Imagen 2. Comparación entre la fritura al vacío (98°C; 48,3 mm de Hg; fila superior) y la fritura convencional (160°C; presión atmosférica) de rodajas de manzana, remolacha, zanahoria y papa.

Fuente: Dueik, y Bouchon, (2011).

4.1.4.2.2 Transferencia de calor durante el proceso de fritura al vacío.

El mecanismo de transferencia de calor en la fritura al vacío es similar al descrito en la fritura convencional de alimentos, puesto que el proceso de fritura al vacío consiste básicamente en el mismo proceso de la fritura a presión atmosférica, con la diferencia de que la temperatura del aceite será más baja que en la fritura tradicional, alrededor de 110°C, debido a la presión subatmosférica de trabajo (Garayo y Moreira, 2002; Ramos, 2018).

La temperatura del aceite en este tipo de proceso se suele situar alrededor de 110°C con una presión alrededor de 3.1 kPa, siendo 24.7°C la temperatura de ebullición del agua a esta presión (Garayo y Moreira, 2002; Shyu *et al.* 2005). La fritura al vacío es una tecnología que no está ampliamente extendida en el mercado y actualmente se dirige a obtener productos tipo *snacks* de alimentos cuya calidad puede verse afectada por las altas temperaturas, como son frutas y vegetales.

La transferencia de calor durante el proceso de fritura se realiza por dos mecanismos: convección y conducción. La transferencia por convección, ocurre entre el aceite caliente y la

superficie del alimento, mientras que la transferencia por conducción, tiene lugar desde la superficie hacia el interior del alimento (Aguilera, 1997; Moreira, 2001).

Como consecuencia, de la diferencia de temperatura entre el alimento y el aceite como se puede ver en la Figura 5, se desencadena un proceso sincrónico de transferencia de calor y de materia. El calor se transfiere del aceite al alimento, evaporando el agua del alimento, pasando al aceite como burbujas de vapor; mientras que este penetra el alimento. Al mismo tiempo las propiedades físicas del alimento varían con los cambios de temperatura y de humedad que suceden en el interior del mismo (Ramos, 2018; Jibaja, 2010; Moreira, 2001; Sahin, 2000; Vitrac, Trystram, & Raoult-Wack, 2000).

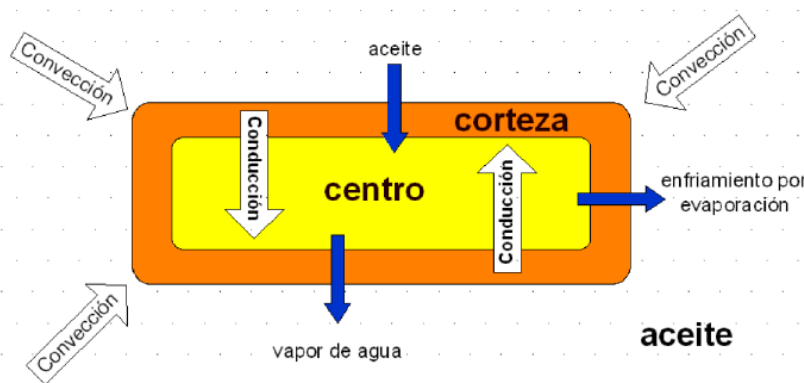


Figura 5. Transferencia de calor y de materia durante el proceso de fritura.

Fuente: (Ramos, 2018)

4.1.4.2.3 Transferencia de materia durante el proceso de fritura al vacío.

4.1.4.2.3.1 cinética de pérdida de agua.

Según (Garayo y Moreira, 2002; Jijaba, 2010), en la fritura al vacío, al igual que en la fritura convencional, las curvas de pérdida de humedad son semejantes a las curvas clásicas de secado y se caracterizan generalmente por tres etapas:

a) Los medios de fritura como los aceites poseen alta capacidad calorífica, lo cual permite la transferencia de energía para sobrepasar el punto de ebullición del agua (Coronel, 2014), así en la

etapa de calentamiento inicial, cuando el alimento se sumerge en el aceite caliente y termina cuando la superficie de este alcanza la temperatura de ebullición del agua superficial, el material absorbe calor del aceite y se calienta hasta la temperatura a la cual el agua presente en el alimento empieza a evaporarse. Esta etapa es muy rápida y resulta difícil su cuantificación, puesto que la diferencia de temperatura entre el alimento y la temperatura de ebullición del agua a presión subatmosférica es de apenas unos pocos grados (Garayo y Moreira, 2002; Liu-Ping *et al.* 2005). Esto se evidencia, por ejemplo, al realizar la fritura a una presión de 3.1 kPa (el punto de ebullición del agua a esta presión es alrededor de 25°C), ya que si el alimento está a temperatura ambiente (23-24°C) se precisa aumentar su temperatura unos pocos grados para que el agua empiece a evaporarse.

b) Durante la fritura al vacío, generalmente, no se observa la etapa de velocidad constante, debido a la alta velocidad de evaporación del agua superficial (Garayo y Moreira, 2002; Liu-Ping *et al.* 2005). En el segundo período, o de velocidad constante, la velocidad de secado viene limitada por el calor transferido del medio de calentamiento al alimento. Este periodo tiene lugar mientras exista agua en la superficie del alimento.

c) La etapa de velocidad decreciente del secado, tiene lugar cuando el contenido de agua en la superficie del alimento es bajo. Durante este periodo la velocidad de secado es controlada por un mecanismo de transferencia de la humedad dentro del alimento, descrito frecuentemente, como difusión a partir de la ley de Fick. El agua durante este periodo se mantiene en el material por la adsorción multicapa y la condensación capilar.

El nivel de vacío y la temperatura de fritura son los factores que afectan la humedad del producto. A una determinada temperatura, cuanto mayor es el nivel de vacío, la velocidad de evaporación aumenta y, por tanto, mayor es la velocidad de secado (Figura 6). Mientras que a una determinada presión, cuando la temperatura aumenta, aumenta la velocidad de secado y, por

tanto, disminuye el tiempo de fritura (Shyu y Hwang, 2011; Liu-Ping *et al.* 2005; Shyu *et al.* 2005).

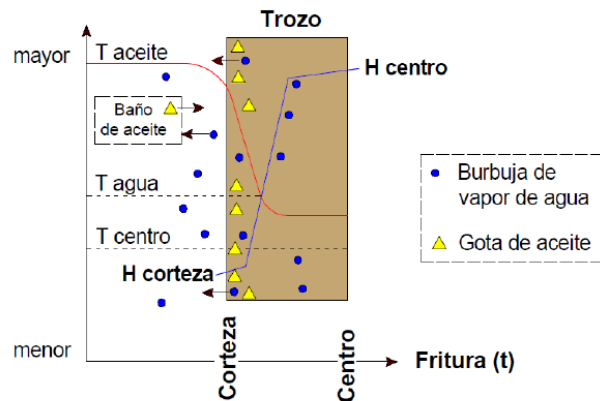


Figura 6. Perfiles de temperatura y humedad durante el proceso de fritura.

Fuente: (Ramos, 2018)

4.1.4.2.3.2 cinética de absorción de aceite.

La cinética de ganancia de aceite inicia con la formación de la costra y el aumento de la temperatura del producto. El contenido de aceite aumenta con el tiempo de fritura y se concentra principalmente cerca de la superficie del alimento (Costa & Oliveira, 1999; Jibaja, 2010; Moreira, Palau, & Sun, 1995).

La absorción de aceite durante la fritura al vacío sigue los mecanismos de transporte más complejamente que los que se dilucidan en la fritura convencional y actualmente es objeto de un estudio intensivo; debido a ello, se encuentran resultados contradictorios divulgados en varios trabajos para la absorción de aceite en la fritura a vacío. (Troncoso, *et al.* 2009b)

Para describir los mecanismos de transferencia de aceite en la fritura a vacío Garayo y Moreira (2002) dividen el proceso en tres etapas: fritura, presurización y enfriamiento.

- En cuanto al mecanismo de absorción, se tiene que la primera etapa de la fritura a vacío es similar al comportamiento reportado para la fritura atmosférica, donde las altas temperaturas producen una evaporación parcial del agua en los alimentos, la cual es trasladada desde el interior

del producto, siendo parcialmente sustituido por el aceite. Sin embargo, al freír al vacío las tasas de calor y transferencia de masa son más altas debido a la disminución en el punto de ebullición del agua a presión de vacío la cual está muy por debajo de los 100°C , por lo que el agua se evaporará más fácilmente (Troncoso, *et al.* 2009a); la salida del vapor de agua y la baja diferencia de presión entre el interior de los poros del alimento y el aceite no permite que éste penetre en el mismo (Garayo y Moreira, 2002), pues la presión capilar entre el aceite y el vapor de agua es insignificante.

- La etapa de presurización inicia cuando se retira el alimento del aceite caliente y empieza a introducirse aire en el equipo para recuperar la presión atmosférica. En esta etapa, la presión en los poros se incrementa rápidamente hasta los niveles de presión atmosférica, de forma que el aire y el aceite de la superficie del alimento van llenando los espacios vacíos de los poros hasta que la presión se recupera. Esto resulta en un aumento repentino de la presión circundante, que puede forzar el vapor dentro de los poros a condensar, lo que significa que la presión en los poros aumenta rápidamente, causando que el aceite que se adhiere a la superficie penetre continuamente el interior de los alimentos hasta que la presión en los poros sea igual a la presión atmosférica. Sin embargo, a grandes presiones de vacío, el aire se introduce más rápidamente que el aceite dentro del espacio del poro, debido a que la densidad del aire disminuye con la presión más que la del aceite, y obstruye el paso de este último hacia el interior del producto (Troncoso, *et al.* 2009^a; Garayo y Moreira, 2002) llevando a una absorción más baja del aceite que se observa en freír atmosféricamente.

- La etapa de enfriamiento empieza cuando el alimento es retirado del equipo de fritura. En esta etapa, parte del aceite que se encuentra en la superficie continúa penetrando en los poros del alimento, del mismo modo que en la fritura a presión atmosférica, con la diferencia que en la

fritura al vacío, el aceite se adhiere en menor cantidad a la superficie del producto, por lo que existe menos aceite disponible para penetrar durante esta etapa (Garayo y Moreira, 2002)

Dueik *et al.* (2009); Mariscal *et al.* (2008), afirman que las variables que rigen el proceso de impregnación del aceite en el alimento son: el escurrido del aceite de la superficie del chip y la succión que ocurre en el poro del chip debido a la disminución del volumen del vapor de agua cuando el chip se enfría. Los autores concluyeron que es necesario escurrir el aceite de la superficie antes de recomponer la presión del sistema para controlar y disminuir la impregnación del aceite en el alimento.

4.1.5 Snacks.

Se define un *snack* o bocadito al producto alimenticio que permite mitigar el hambre sin llegar a ser una comida completa. Son elaborados por una variedad de materias primas que van desde la utilización de tubérculos hasta pulpas de frutas, también pueden contener cantidades representativas de sal, conservantes, saborizantes, entre otros. Estos alimentos nutricionalmente pueden ser dañinos, por su alto contenido de grasa. Sin embargo, pueden ser nutritivos cuando proceden de frutas, legumbres o cereales, por su contenido de antioxidantes.

Los *snacks* se clasifican de acuerdo al tipo de técnicas usadas para su procesamiento, así, se encuentran las confituras obtenidas mediante deshidratación osmótica, lo que se pasan por un proceso de extrusión (hojuelas de maíz, cebada, entre otros) y los *snacks* obtenidos mediante un proceso de frituras (*chips* de tubérculos y frutas), sin embargo, el consumo de estos tipos de alimentos puede afectar a la salud por su alto contenido de aceite (Romero, 2015).

De acuerdo con el documento de Ng *et al.* (2014), entre 1980 y 2013 a nivel mundial la prevalencia de sobrepeso y obesidad en conjunto se elevó 27,5% en el caso de los adultos y 47,1% entre los niños. En números reales, las personas con sobrepeso y obesidad pasaron de 857 millones en 1980 a 2.100 millones en 2013.

Comer un snack es una práctica común que se ha expandido a nivel mundial en los últimos años. En países desarrollados, la tendencia al alza del consumo de snacks es resultado de la recomendación de hacerlo para mermar la ingesta calórica en las tres comidas principales, hábito que también ayuda a controlar el apetito. Se respondió así a la preocupación surgida por el incremento en las cifras de obesidad registrado en dichas naciones.

Por ello la elaboración de snacks de frutas o verduras puede utilizarse como una forma de consumir este tipo de productos, los cuales constituyen un vehículo de nutrientes importantes para la salud y en este sentido se vienen desarrollando diversos estudios orientados a establecer los métodos y condiciones de procesamiento más adecuados para la obtención de este tipo de productos cuya demanda a nivel mundial sigue creciendo.

4.2. Antecedentes

4.2.1. Deshidratación osmótica en frutas.

Andrade, *et al.* (2003) realizaron estudios sobre deshidratación osmótica en cubos de jenipapo (*Genipa americana L.*) analizando la influencia del tipo de agente osmótico (azúcar moreno refinado, azúcar moreno en cristales y azúcar comercial), la concentración de la solución (50, 70 y 80 °Brix) y la temperatura de deshidratación osmótica (50, 60 y 70 °C) sobre la pérdida de humedad, la ganancia de solutos y la pérdida de peso en la fruta. Los autores encontraron que el tipo de agente osmótico utilizado no influyó en ninguna de las variables de respuesta analizadas, por otra parte la concentración de solución osmótica influyó en todas ellas en interacción con la temperatura de deshidratación. La mayor pérdida de humedad reportada sucedió cuando se trabajó a 70 °C con una concentración de solución osmótica de 70 °Brix. Por otro lado las pruebas sensoriales mostraron que la preferencia del consumidor se inclinó por el producto deshidratado en condiciones de 60 °C, 60 °Brix y utilizando como agente osmótico azúcar moreno refinado y azúcar comercial en cristales.

Fernandes, *et al.* (2005) investigaron acerca de la deshidratación osmótica de papaya seguida por una etapa de secado con aire. Los resultados demuestran que el tiempo global de proceso puede optimizarse al llevarse a un mínimo, lo que aumenta la productividad global ya que al retirarse humedad en el primer tratamiento los costos energéticos del equipo utilizado para el secado con aire disminuyen. Se utilizaron dos temperaturas (50 y 70 °C) y concentraciones (50 y 70 °Brix) de operación en la deshidratación osmótica, los cubos de fruta fueron sumergidos en la solución osmótica durante 3 horas. De la misma manera la velocidad de aire se ajustó a 2.4 m/s con una temperatura de alrededor de los 60 °C. Los resultados mostraron que el uso de una solución osmótica con concentraciones de sacarosa y temperatura altas (70 °C y 70 °Brix) acelera el proceso, lo que reduce el periodo de secado en 11.3 h si se compara con el proceso de secado de papaya únicamente con aire. Incluso cuando utilizaron concentraciones de sacarosa y temperatura bajas (50 °C y 50 °Brix) el proceso total se redujo en 6,6 h mostrando que la deshidratación osmótica es extremadamente útil para reducir el tiempo de procesamiento de secado de papaya.

Khoyi y Hesari, (2006) analizaron la relación existente entre la pérdida de humedad y la retención de sólidos con las variables de proceso (temperatura, concentración de solución osmótica y relación en peso de solución/muestra), para lo cual realizaron un estudio cinético del proceso de osmodeshidratación en trozos de albaricoque. En el estudio trabajaron tres tipos de concentraciones (50, 60 y 70 °Brix), cuatro temperaturas (30, 40, 50 y 60 °C); para el caso donde evaluaron la influencia de la relación en peso de solución/muestra utilizaron tres relaciones: 5:1, 10:1 y 15:1. Todas las muestras fueron llevadas a deshidratación en jarabe de sacarosa durante un tiempo de 6 horas. Los resultados obtenidos muestran que un aumento en el volumen del medio osmótico significa una mayor pérdida de humedad pero también una incidencia alta en costos, el aumento de la relación también conlleva a un aumento de la transferencia de sólidos lo que puede

causar una mayor migración de compuestos nutricionales desde la fruta, por lo tanto debe buscarse optimizar la relación en peso de solución/muestra. Los autores en el estudio para una concentración de 60 °Brix y una temperatura de 50 °C encontraron una relación óptima de solución/muestra de 10:1 lo que reflejó una mayor pérdida de agua (*PA*) y la cual fue medida en relación con la ganancia de sólidos (*GS*) ($PA/GS=3.1098$). De acuerdo al tiempo de proceso los autores señalan a partir del análisis cinético que un tiempo de contacto con la solución osmótica mayor a 6 horas es poco productivo ya que la tasa de deshidratación disminuye a menos de la mitad de su máximo.

El anterior estudio demostró también que al aumentar la temperatura y la concentración de la solución osmótica, la pérdida de humedad en la fruta se ve favorecida, aunque esto puede llevar al aumento de los costos operativos en solución hipertónica y en gasto energético ya que tienen que manejarse temperaturas por encima de los 50 °C para disminuir la viscosidad de la solución y aumentar así la transferencia de materia. Los autores recomiendan entonces utilizar una concentración de 60 °Brix de sacarosa a una temperatura de 50 °C, ya que en estas condiciones la viscosidad de la solución disminuye significativamente causando un incremento en la transferencia de masa; alcanzando valores de pérdida de humedad muy cercanos a los reportados en condiciones de temperatura y concentración más altas (60 °C y 70 °Brix).

Por su parte trabajar con temperaturas por encima de los 60° C probablemente afecte las propiedades del tejido de la fruta, favoreciendo el fenómeno de impregnación, o sea, la ganancia de azúcar.

Jain, *et al.* (2010) utilizaron el método de superficie de respuesta para evaluar el efecto del tiempo (4, 5 y 6 horas), la concentración de la solución osmótica (50, 60 y 70 °Brix) y la temperatura (30, 40 y 50 °C) sobre la pérdida de humedad y la absorción de soluto (azúcar) en la deshidratación osmótica de cubos de papaya. Los resultados obtenidos por los autores muestran

una máxima pérdida de agua de 28% con una óptima ganancia de azúcar del 4% en relación a la cantidad inicial de la fruta, estos fueron alcanzados cuando se trabajó con una concentración del jarabe de 60 °Brix a 37°C en 4,5 horas de deshidratación osmótica.

Luchese *et al.* (2015) estimaron la pérdida de agua y la ganancia de sólidos con el fin de evaluar la difusividad efectiva de agua y sacarosa a diferentes temperaturas (40 y 70 °C) y concentraciones (40 y 70 g 100 g⁻¹ de solución) de una solución para la deshidratación osmótica de *Physalis*. Además, este estudio tuvo como objetivo evaluar una serie de parámetros de calidad antes y después de 10 h del proceso de deshidratación osmótica, tales como el contenido total de carotenoides, la diferencia global de color, índice de pardeamiento y la actividad de agua. Entre todas las condiciones estudiadas en el diseño experimental, la deshidratación osmótica fue más eficiente cuando se realizó a una temperatura de 70 °C y una concentración de la solución osmótica de 70 g 100 g⁻¹ de solución. En estas condiciones, se presentó la pérdida de agua más alta y una reducción estadísticamente significativa en la actividad de agua de esta fruta. Sin embargo, se observó la mayor pérdida de carotenoides totales (aproximadamente 50%).

4.2.2. Deshidratación osmótica en frutas asistida por ultrasonidos.

La investigación en el área de la deshidratación osmótica se ha llevado por más de 30 años, pero la aplicación industrial del método se ha mantenido limitada por varias razones. Una es la complejidad estructural del tejido celular que impide tener una descripción clara de los mecanismos de transporte de masa que controlan el fenómeno (Gómez L, 2014).

Las nuevas metodologías, como la deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, se han implementado como un pre-tratamiento alternativo asociado a procedimientos de secado; diversos estudios han encontrado una reducción significativa en el tiempo de secado cuando se asiste procesos de osmodeshidratación o secado tradicional con aire.

Park *et al.* (2002) llevaron a cabo la cinética de deshidratación osmótica de cubos de peras D'anjou para tres concentraciones diferentes y tres temperaturas de solución diferentes. Condiciones en las cuales aplicaron los modelos matemáticos de Peleg, Fick y Page, los cuales se ajustaron a los datos experimentales.

Moreira y Murr, (2003) trabajaron con muestras de tomate Cherry, se deshidrataron osmóticamente en diferentes soluciones de NaCl hipertónicas (con o sin sacarosa) en dos concentraciones diferentes. La cinética de transferencia de masa se modeló de acuerdo con las ecuaciones de Peleg, Fick y Page.

Cárcel, *et al.* (2005) estudiaron la influencia de la intensidad de ultrasonido en un medio líquido, el sistema estuvo constituido por una solución de sacarosa donde se sumergieron rodajas de manzana, la concentración de la solución de sacarosa fue de 30° °Brix a una temperatura de 30 °C. Se llevaron a cabo tres tipos de tratamientos: estática, con agitación y con la aplicación de ultrasonido. En lo que respecta a la pérdida de humedad y transferencia de sólidos los autores encontraron que después de 45 min de tratamiento, las pérdidas de agua aumentó significativamente cuando la intensidad de ultrasonidos estuvo por encima de 10,8 W / cm² trabajando a una frecuencia de 20 kHz.

Por otro lado Fernandes y Rodrigues, (2007) investigaron el efecto del pre-tratamiento con ultrasonidos en un medio hipertónico antes de secado con aire en la deshidratación de plátanos. Los resultados mostraron que la difusividad del agua aumentó después de la aplicación de ultrasonidos a la solución osmótica y que el tiempo de secado total se redujo en un 11% después de 20 minutos de tratamiento y trabajando a una frecuencia constante de 25 kHz, lo cual representa una economía de energía, ya que el costo energético de secado con aire es alto. Durante el tratamiento con ultrasonidos los autores encontraron que los plátanos tratados perdieron azúcar, por lo que el pre-tratamiento ultrasónico puede ser un proceso interesante para

producir frutos secos con bajo contenido de azúcar.

Fernandes *et al.* (2007) del mismo modo aplico el estudio del efecto de la deshidratación osmótica asistido por ultrasonido a presión atmosférica en la estructura del tejido del melón.

Vega *et al.* (2007) determino la cinética de deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*), utilizando dos variables experimentales: la temperatura (30, 40, 50 °C) y concentración (40, 50 y 60%) de la solución osmótica

El proceso igualmente se llevó a cabo por (Maldonado, 2008) en placas de 3 x 3 x 0,3 cm de yacón. Se la deshidrató osmóticamente con solución de sacarosa al 40% (p/p), hasta $A_w = 0,97$. El proceso se realizó a temperatura de 25 °C y con agitación continua (105 rpm).

Fernandes *et al.* (2008) investigaron el efecto de pre-tratamiento con ultrasonidos y la deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, antes del secado con aire, en la deshidratación de piña. El diseño experimental estuvo conformado por dos concentraciones diferentes de agente osmótico (35 y 70 °Brix), tres tiempos de proceso (10, 20 y 30 minutos), una temperatura constante de 30°C, la frecuencia de trabajo fue constante e igual a 25 kHz y una intensidad de onda igual a 4870 W/m². Los resultados mostraron que la difusividad de agua aumentó después de la aplicación de ultrasonidos y que el tiempo de secado total se redujo en un 8% (más de 1 h de tiempo de secado al aire). Durante el tratamiento con ultrasonidos en agua destilada las piñas perdieron azúcar (23,2% en 30 min), así que en esta condición, el pre-tratamiento ultrasónico puede ser un proceso interesante para producir frutos secos con bajo contenido de azúcar. Los resultados mostraron que la pérdida de agua aumentó al aumentar el contenido de sólidos solubles de la solución osmótica y que la deshidratación osmótica asistida por ultrasonido incorporó más azúcar al producto que la deshidratación osmótica convencional.

Consecuentemente cuando utilizaron una solución de sacarosa como medio líquido (deshidratación osmótica asistida por ultrasonido), observaron una pérdida de agua más alta,

entre 5,1% y 8,3% de su contenido inicial cuando se utilizaron una solución osmótica de 35 °Brix y entre 9,8% y 14,1% de su valor inicial de agua cuando se utilizaron una solución osmótica de 70 °Brix. Así mismo cuando trabajaron la osmodeshidratación asistida con ultrasonido observaron una ganancia de sólidos solubles en el fruto con un aumento de 18,2% en el contenido de azúcar de la fruta cuando utilizaron una solución osmótica de 35 °Brix y un aumento de 34,1% cuando utilizaron una solución osmótica de 70 °Brix. Los autores resaltan la gran significancia que tiene la aplicación de ultrasonido como una tecnología que al combinarse con la deshidratación osmótica han generado resultados favorables para frutas como bananos y melones, y que para el caso del su estudio disminuyó en un 31% el tiempo de secado en comparación al realizado con aire.

Otros estudios como el de Noruega, *et al.* (2010) estudiaron el secado osmótico de trozos de fresa asistido por ultrasonido, aplicado como un método para aumentar la difusividad del agua y reducir el tiempo de secado en las fresas. Los autores evaluaron el comportamiento de deshidratación de fresas troceadas en mitades, las cuales se sumergieron en agua destilada y en dos concentraciones diferentes de solución de sacarosa; variando el tiempo de pre tratamiento y los niveles de frecuencia ultrasónica, y así determinaron su efecto sobre el tiempo de secado, la pérdida de agua, y la ganancia de sólidos solubles. A partir de análisis de los datos encontraron que las fresas tratadas previamente a una frecuencia de 25 kHz en soluciones de sacarosa 25 y 50% alcanzaron los valores de ganancia de azúcar más altos dentro de 10 a 20 min, lo que conllevó también que al aumentar el tiempo de pre tratamiento manteniendo una frecuencia de 25 kHz causó una disminución de la ganancia de azúcar. Por su parte, al analizar la pérdida de humedad de Noruega, *et al.* (2010) encontraron que cuando se aplicó ultrasonido a la fruta sumergida en agua destilada aumentó la ganancia de agua entre los 30 y 45 minutos, lo que relacionan con la formación de canales microscópicos y ruptura de las células de tejido. Del

mismo modo los resultados mostraron un aumento en la pérdida de agua con el aumento de concentración de la solución osmótica, debido al aumento en el gradiente entre la concentración de sólidos solubles en la fruta y en la solución osmótica. Los mayores porcentajes promedio de pérdida de agua en las mitades de fresa se reportaron cuando se trabajó a una concentración de la solución de 50 % (p/v), a una frecuencia de ultrasonido de 25 kHz durante un tiempo de 45 minutos.

Ayala *et al.* (2010) realizó esta operación en rodajas de pitahaya amarilla, evaluó las cinéticas de deshidratación osmótica a presión atmosférica y con aplicación de pulso de vacío

Hui *et al.* (2012) para elaborar la deshidratación y las características de equilibrio osmótico de los tomates Cherry y analizar la aplicabilidad del modelo Peleg en la predicción del contenido de humedad en equilibrio y la metodología de la solución de Crank a la de la difusividad de Fick; los tomates Cherry fueron tratados osmóticamente en solución ternaria. (Agua, sacarosa y NaCl) con o sin ultrasonido a 30 °C.

Gómez, (2014) estudió la deshidratación osmótica de melón sometida a dos distintas soluciones hipertónicas.

Luchese *et al.* (2015) propone presentar *Physalis peruviana* L. para la deshidratación osmótica, para evaluar los efectos de la temperatura (40/70 °C) y la concentración de la solución osmótica de sacarosa (40/70 g 100 g⁻¹ solución)

Recientemente Arias *et al.* (2017) estudió la cinética de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de mango (*Mangifera indica* L.) var. Tomy Atkins en láminas

Y Shafiq *et al.* (2017) aplicó la cinética de transferencia de masa se llevó a cabo para la geometría de la hoja de fruta entera kinnow en solución de azúcar. Los experimentos se llevaron a cabo utilizando un diseño completamente aleatorizado con la concentración de sacarosa (55-75°B) a varias temperaturas de proceso (35-65 °C) y una relación de solución a fruto (3-7: 1 v /

p) a intervalos de tiempo de inmersión variables (30- 270 min)

4.2.3. Fritura al vacío en frutas.

La mayoría de los trabajos de investigación enfocados a la fritura al vacío pretenden establecer las condiciones óptimas para desarrollar un producto final con buenas características organolépticas tales como textura, color y sabor, disminuir el contenido final de aceite (Garayo y Moreira, 2002; Shyu *et al.* 2005; Shyu y Hwang, 2011), determinar la vida de anaquel de chips de zanahoria (Liu-Ping *et al.* 2007) y reducir la formación de acrilamida (Granda *et al.* 2004).

Entre los alimentos comúnmente utilizados en los procesos de fritura a presión reducida se pueden mencionar: la manzana, la zanahoria, la piña, la patata, las donas, la cebolla y la calabaza (Shyu y Hwang, 2011; Garayo y Moreira, 2002; Liu-Ping *et al.* 2006; Shyu *et al.* 2005).

La fritura con aceite a alta temperatura determina una considerable absorción de éste y una pérdida de vitaminas, por lo que puede resultar que el producto sea menos nutritivo (Garayo y Moreira, 2002). Una alternativa para disminuir los efectos indeseables es reducir la presión de fritura y trabajar en condiciones de vacío reduciendo el punto de ebullición del agua para eliminarla a bajas temperaturas, disminuyendo el contenido de aceite en un 69,8% y/o en un 80% (Yamsaengsung *et al.* 2011). Se ha reportado que en los productos fritos al vacío se presenta una reducción del contenido de acrilamida, por ejemplo, del 94% a 118°C, con resultados sensoriales deseables en textura y color. (Granda *et al.* 2004) y un incremento de la calidad organoléptica y nutricional (Shyu y Hwang 2011; Da Silva y Moreira 2008).

Aguilera, (1997) encontró que la pérdida de humedad y la absorción de aceite que caracterizan la transferencia de masa en el proceso de fritura son dos fenómenos que operan en contracorriente en los que el agua sale del producto en forma de burbujas de vapor y cuyos mecanismos de transporte aún no han sido aclarados. Reporta también que cuanto mayor es el contenido de humedad de los productos alimenticios sometidos al freído por inmersión, mayor es la absorción

de aceite, y se presume que, cuanto menor contenido de humedad, especialmente en las capas externas del producto, hay una menor evaporación de agua y consecuentemente menor porosidad interna en la que se sitúa el aceite absorbido.

Más adelante, Baumann y Escher, (1995) exponen que al incrementar la temperatura la velocidad de deshidratación aumenta, reduciéndose el tiempo de fritura; en cambio, al aumentar el espesor del producto se incrementa el tiempo. Para Krokida *et al.* (2000) el transporte de agua y aceite es más intenso cuanto mayor es la temperatura del aceite y menor el espesor de la muestra. Por ejemplo, si el alimento se procesa en láminas, aquellas más gruesas presentan una menor área específica, reduciéndose el área relativa disponible para perder el agua; también el camino interno que tiene que recorrer el agua es más largo y se requiere más calor para evaporar dicha agua, además la corteza que se forma impide que el agua salga con facilidad (Costa y Oliveira, 1999).

Gamble *et al.* (1987) observaron que el contenido de aceite no estaba directamente relacionado con la temperatura de fritura, sino con la humedad residual del alimento. Esto lo corroboraron Moreira, *et al.* (1995) que demuestran que la mayor retención de aceite en el producto tiene lugar cuando la mayor cantidad de agua ha salido del mismo. Además, la pérdida de agua no es uniforme en el producto, primero ocurre en la superficie y, según transcurre el calentamiento, gradualmente va afectando al interior del mismo. Por ello, la absorción de aceite tiene lugar en mayor grado a nivel superficial (Costa y Oliveira, 1999).

Por otro lado Mariscal y Bouchon, (2008) con el fin de comparar la fritura atmosférica y al vacío de trozos de manzana, definen el término de "motor térmico equivalente", que es la diferencia entre la temperatura del aceite y el punto de ebullición del agua a la presión de trabajo (es decir, 100 °C en condiciones atmosféricas y 55 °C bajo vacío). Los autores estudiaron tres niveles de temperatura del aceite: 140, 150 y 160 °C, para fritura atmosférica, y 95, 105 y 115 °C,

para fritura a vacío ($T= 40, 50$ y 60°C) al freírse las rodajas de manzana en condiciones atmosféricas o de vacío (15 KPa). Sus experimentos mostraron que la frita al vacío de rodajas de manzanas absorbió ligeramente menos aceite, y se presentaron mejores resultados para la conservación de color que las muestras freídas en condiciones atmosféricas.

Troncoso, *et al.* (2009b) determinaron la cinética de pérdida de agua y la toma de aceite durante la fritura de rodajas de patata pre tratadas bajo vacío y presión atmosférica. Las rebanadas fueron fritas bajo vacío (5,37 kPa, presión absoluta, en 120, 130 y 140°C) y condiciones atmosféricas (en 180°C). Se utilizaron dos modelos basados en la ley de Fick para describir la pérdida de agua: (I) con un coeficiente difusor eficaz constante; y (II) con un coeficiente difusor eficaz variable. Los datos de la toma de aceite fueron montados a un modelo empírico, con un comportamiento lineal para los tiempos cortos mientras que el modelo era tiempo independiente para los tiempos largos. La absorción de aceite de las patatas fritas secas del vacío disminuyó por el 30%.

Shyu & Hwang. (2011) estudiaron el comportamiento en rodajas de zanahoria que fueron blanqueadas, sumergidas en solución de fructosa antes de congeladas y fritas al vacío para preparar chips de zanahoria. Los efectos de sumergir la concentración del azúcar, el vacío que fríe temperatura y el tiempo en la calidad de las virutas fritas de la zanahoria fueron estudiados con un diseño rotativo compuesto central (CCRD) basado en CCRD y diagramas del contorno, obteniendo condiciones óptimas del proceso de temperatura de $100\text{-}105^{\circ}\text{C}$, tiempo que fríe del vacío de 16-20 min.

Villamizar, *et al.* (2011) estudio la comparación de la fritura al vacío y atmosférica en la obtención de pasabocas de mango. Las condiciones del proceso fueron: a presión atmosférica 175°C de temperatura y 30 seg, al vacío 110°C y 90s de tiempo de inmersión. Los resultados indicaron que la pérdida de vitamina c al vacío (43,2%) fue menos de la mitad de la que se pierde

a presión atmosférica (93,8%) y que se presenta una reducción en la producción de acrilamida del 83,14% al vacío.

Así mismo Dueik y Bouchon, (2011) evaluaron la influencia del tiempo y temperatura de fritura sobre la calidad de snacks de papa, zanahoria y manzana en condiciones atmosféricas y de vacío (6.48 KPa). Las rebanadas se frieron utilizando motores térmicos equivalentes según la metodología de Mariscal y Bouchon, (2008). Todas las muestras fueron sometidas a tiempos crecientes de fritura hasta alcanzar su punto de burbuja (2% de contenido de humedad). Para los atributos de calidad evaluados (contenido de vitaminas, color y absorción de aceite) los autores encontraron que la condición temperatura óptima para la fritura al vacío de los snacks de papa, manzana y zanahoria fue de 98 °C, con tiempos de 6.5, 4.5, y 5 minutos respectivamente

Por otro lado, Shyu y Hwang, (2011), al estudiar el efecto de las condiciones de procesado sobre la calidad de chips de manzana freídas al vacío utilizando una sola condición de presión de vacío (3,115 KPa), y tres temperaturas de aceite diferentes (90, 100, 110 °C), llegando a la conclusión de que el contenido de aceite aumenta al aumentar los tiempos de fritura y temperaturas del aceite. Usando la fuerza de ruptura como un indicador de la calidad de los trozos de manzana freídas al vacío los autores determinaron que la combinación óptima de temperatura del aceite y tiempo de fritura fueron de 100 - 110 °C y 20 - 25 min respectivamente.

Diamante L, *et al.* (2012) utilizaron una metodología de superficie Box-Behnken para investigar los efectos del nivel de maltodextrina (MD), temperatura y el tiempo en las propiedades de humedad, color y textura de las rodajas de kiwi dorado fritas al vacío y determinar las condiciones para freír al vacío. Al procesar rodajas de kiwi dorado fritas al vacío, se necesitó utilizar temperaturas de fritura de 72.0 – 76.3°C, tiempos de fritura de 35.0 – 65.0 min y nivel de maltodextrina del 40% para lograr productos con propiedades de humedad, color y textura aceptables

Villamizar V *et al.* (2012) evaluó el comportamiento de los parámetros de calidad de un pasa bocas frito hecho con pasta de mango (*Manguifera indica* L.), bajo condiciones de vacío. El proceso de fritura se realizó aplicando diferentes presiones de vacío (0.4, 0.5, 0.6 bar), temperaturas (100, 110 y 120 °C) y tiempos (30, 45, 60, 75 y 90 seg). Obteniendo como resultado que la fritura a vacío mejora las características de calidad del producto, el mejor tratamiento fue 0.5 bar de presión, 110 °C de temperatura y 90 seg de inmersión.

Coronel (2014) encontró que los chips de papa elaborados por fritura en vacío presentaron en promedio un 50% menos en contenido de materia grasa y un 90% menos de acrilamida que los chips elaborados por fritura tradicional.

Barrios, Osorio, & Cerón (2015) realizaron la cinética de pérdida de humedad y absorción de aceite durante la fritura por inmersión de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña, empleando un modelo exponencial para la cinética de absorción de aceite mientras que la pérdida de humedad se estudió con el modelo de newton. Los modelos estudiados describieron adecuadamente los dos fenómenos de transferencia de masa. Las constantes cinéticas calculadas a temperaturas de 160, 180 y 200 °C fueron: absorción de aceite (0.0084, 0.0088 y 0.0094 s⁻¹) y pérdida de humedad (0.0125, 0.0144 y 0,0194 s⁻¹) mientras que los valores de difusividad obtenidos fueron (0.1551 x 10⁻⁹, 0.1787 x 10⁻⁹ y 0.2371x 10⁻⁹ m²/s). Tanto la difusividad como los parámetros cinéticos presentaron dependencia con la temperatura al evaluarlos, con la ecuación de Arrhenius se obtuvo la energía de activación 18.13 kJ/mol.

Esan *et al.* (2015) estudio los efectos y optimizo los parámetros del proceso para freír rebanadas de camote de carne amarilla para la producción de bocadillos fritos saludables y nutritivos con un diseño Box– Behnken de tres niveles, con temperatura de fritura (108 – 136 °C), presión de vacío (4.91 – 19.91 cmHg) y tiempo (3 – 9 min).

El estudio realizado por Cazar, (2015) con el fin de determinar las ventajas de la aplicación de

diferentes pre tratamientos en la elaboración de snacks de piña mediante fritura al vacío analizó los resultados de los diferentes tratamientos utilizando mediante superficie de respuesta para encontrar un tratamiento de fritura que permitiera optimizar las variables de respuesta, las cuales fueron: minimizar los niveles de humedad, grasa, fuerza de ruptura y al mismo tiempo maximizar los contenidos de polifenoles y mejorar los resultados de color en los snacks. Las coordenadas del punto óptimo indicaron un nivel de temperatura y tiempo de fritura aproximados de 102 °C y 7 minutos, respectivamente.

Bermudez *et al.* (2016) estudió el efecto de la temperatura y el tiempo sobre la pérdida de humedad y ganancia de aceite y determinó el coeficiente de difusión en tajadas de plátano maduro durante la fritura por inmersión. La pre fritura se realizó en aceite de palma a tres temperaturas (160, 170 y 180°C) durante intervalos de tiempo de 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 105 segundos. Se observó que hubo mayor evaporación de agua a 180°C, desde 0,66 kg de agua/kg muestra hasta 0,346 kg de agua/kg muestra, que a 160 y 170°C. En cuanto a la absorción de aceite, el contenido de aceite se incrementó rápidamente con el tiempo de proceso, siendo máximo a los 60 segundos para la temperatura de 160°C

Lea Wexler *et al.* (2016) por su parte utilizaron la metodología de superficie de respuesta para comparar la fritura por inmersión a presión atmosférica y al vacío de hojuelas de papaya impregnadas con jugo de mora como método de deshidratación osmótica. Tomando en cuenta agrado, color, dureza y contenidos de humedad y grasa, determinaron las condiciones óptimas de cada proceso, que fueron freír por 6 min a 117 °C al vacío (24 KPa), freír por 6 min a 130 °C y freír 3 min a 150 °C en condiciones atmosféricas.

Por otra parte diversos autores con el uso de diferentes tratamientos de pre fritura han demostrado ser eficaces en la reducción de la absorción. La reducción del contenido de humedad de los alimentos antes de freír con microondas, tratamiento de aire caliente y horneado ha dado

como resultado una disminución significativa del contenido de aceite en diferentes productos.

Además, se ha prestado mucha atención al uso de hidrocoloides como metilcelulosa, hidroxipropil metilcelulosa, celulosa de fibra larga y Zein de maíz, para reducir la permeabilidad de la superficie e inhibir la toma de aceite (Gamble *et al.* 1987; (Mariscal y Bouchon, 2008)

4.2.4. Modelamiento matemático de la fritura al vacío.

Un modelo matemático es la representación de un sistema real, cuya descripción de sus propiedades y características se lleva a cabo en términos de variables matemáticas y operaciones. Permite estimar previamente cuál va a ser el desarrollo del proceso y, en consecuencia, la posterior optimización y control integral del mismo (Banga *et al.* 2003), permitiendo asimismo el control de la calidad del producto final. La modelización de procesos se hace especialmente difícil cuando se trabaja con productos biológicos, dado su carácter heterogéneo, complejo y delicado.

Un modelo permite disminuir la complejidad de parámetros en un proceso, reducir el número de experimentos, ayudando a ahorrar, en términos de energía, tiempo y costos de operación, así como también extrapolar los resultados hacia regiones inexploradas (Jibaja, 2010).

Para modelar un proceso tan complejo como la fritura, es importante tener en cuenta que los principales fenómenos que se producen en la fritura son la remoción parcial o completa del agua y la absorción de aceite en los poros del producto. Por esta razón, la predicción de la pérdida de humedad y de la absorción de aceite en el producto final, son aspectos muy importantes para modelar y controlar el proceso de fritura (Costa y Oliveira, 1999).

Existen diferentes teorías que intentan explicar la pérdida de agua y la ganancia de aceite. Una de ellas es la teoría difusional, que intenta explicar la pérdida de agua utilizando leyes físicas.

También se pueden utilizar modelos empíricos, en el caso de la ganancia de aceite, cuyo objetivo es la descripción e identificación de las variables más relevantes del proceso.

En lo que se refiere a los mecanismos de transferencia de masa, pueden presentarse (Ochoa y Ayala, 2005)

- Mecanismos dependientes del gradiente de concentración que incluyen los mecanismos osmóticos y Fickianos, y que se afectan principalmente por la permeabilidad de la membrana a los diferentes componentes.

- Mecanismos dependientes del gradiente de presión, que son los mecanismos hidrodinámicos (HDM) que son inducidos por la aplicación de vacío o por las tensiones liberadas en el proceso de relajación y que están condicionados por la estructura del alimento (porosidad).

- Mecanismos de vaporización-condensación cuando se trabaja a presiones cercanas a la presión de vapor.

La alta complejidad del sistema hace que la precisión predictiva sea difícil cuando se usan modelos matemáticos rigurosos y que ésta dependa de la determinación apropiada de las condiciones de equilibrio y de parámetros como la difusividad.

Se han propuesto numerosos modelos matemáticos basados en la observación, los cuales tienen como punto de partida los datos experimentales con los cuales se construye el modelo que posteriormente describen el proceso real.

A partir de la suposición de un modelo lineal, por ejemplo, Gamble *et al.* (1987), estudiaron la relación que existe entre la pérdida de humedad y la absorción de aceite en función de la temperatura del aceite para la fritura de láminas de patatas; los cuales encontraron a partir del coeficiente de correlación de estas relaciones lineales que tanto la humedad como el contenido de aceite estaban correlacionados con la raíz cuadrada del tiempo de fritura.

Por otra parte se encuentra la teoría difusional. Los modelos difusionales son fáciles de formular y normalmente proporcionan resultados razonables. Su principal inconveniente recae frecuentemente en las suposiciones que se tienen en cuenta para poder resolverlo. Generalmente,

se asume una difusividad efectiva que incluye los efectos relacionados con la cinética, tanto los conocidos como los fenómenos desconocidos (Mulet, 1994).

Por su parte Baumann y Escher, (1995), propusieron para la descripción de la deshidratación un modelo exponencial. Otros autores como es el caso de Krokida *et al.* (2000), relacionaron la pérdida de agua y la absorción de aceite en función del tiempo de fritura y aplicaron una ecuación cinética de primer orden para modelar este proceso.

La mayoría de modelos difusionales propuestos basan sus experiencias teniendo en cuenta la ley de Fick. Simal *et al.* (1997) propusieron una ecuación que gobierna el problema de transferencia de materia para un volumen de control determinado (placa, cilindro o esfera) y a partir de la cual varios autores han tomado la base para proponer sus modelamientos. Los procesos de fritura por inmersión y de secado son muy similares, por lo cual las ecuaciones básicas que gobiernan la transferencia de masa y energía son las mismas. Las diferencias entre los modelos radican usualmente en el sistema que el modelo describe.

Budzaki y Seruga, (2005), para describir el mecanismo de transporte del agua, determinaron el coeficiente de difusividad, para lo cual consideraron que el espesor de una lámina de alimento es significativamente menor que el diámetro de la misma, y utilizaron la resolución de la ley de Fick para una geometría de lámina infinita, consideraron que la difusividad efectiva era constante. Además relacionaron el efecto de la temperatura con coeficiente de difusión, este fenómeno lo describieron utilizando una relación tipo Arrhenius.

En un trabajo posterior, Moreira (2001) consideró que la difusión es el principal mecanismo de transferencia de agua durante el proceso de fritura, asimismo que la difusividad es constante y resolvió el modelo propuesto aplicando la técnica de diferencias finitas.

Moyano y Berna (2002) modelaron la pérdida de agua durante la fritura de patatas cortadas en tiras, para lo cual propusieron utilizar la resolución de la segunda ley de Fick suponiendo que la

geometría de las tiras de patatas es el resultado de la multiplicación de tres láminas infinitas.

En lo que respecta al modelado de la cinética de absorción de aceite, generalmente, se ha realizado con métodos empíricos, por la falta de conocimiento del mecanismo de transferencia que ocurre, principalmente en la etapa de enfriamiento (Garayo y Moreira, 2002).

La modelización de la absorción de aceite, la mayoría de autores lo realizan conjuntamente con la modelización de la pérdida de agua, para lo cual utilizan métodos similares.

Gamble *et al.* (1987) aplicó un método empírico en el cual relacionó la absorción de aceite en función de la raíz cuadrada del tiempo de fritura. Krokida *et al.* (2000), consideraron la absorción de aceite en función del tiempo de fritura y aplicaron una ecuación cinética de primer orden para modelar este proceso.

En cuanto a la experimentación llevada a cabo por diversos investigadores aplicados al tema, se tiene alguno como, Krokida *et al.* (2000), quienes encontraron que la temperatura del aceite y el espesor de trozos de papa frita influyeron significativamente en la absorción de aceite y la pérdida de humedad empleando un modelo cinético de primer orden para predecir la pérdida de humedad y la absorción de aceite en función del tiempo de fritura.

Jibaja (2010), modeló matemáticamente la cinética de absorción de aceite durante el proceso de fritura al vacío de hojuelas de tomate de árbol en rodajas de 3 mm de espesor aplicando tres modelos empíricos, de los cuales el modelo de Monod y el modelo propuesto por Moyano & Pedreschi (2006), describieron adecuadamente la cinética de absorción de aceite durante el proceso de fritura en condiciones de vacío.

Bermúdez *et al.* (2010), encontraron modelos de mecanismos de transferencia de masa durante el freído por inmersión de trozos de dos variedades de ñame, calculando la pérdida de humedad a varias temperaturas y tiempos de freído, y estudiaron el efecto de la temperatura de freído en la absorción de aceite y evaporación de agua en función del tiempo de freído. En los resultados

obtenidos, observaron que a 180 seg y temperatura de 140 °C hay mayor absorción de aceite, teniendo en cuenta simultáneamente la pérdida de humedad a 180 °C durante 540 s. Los datos experimentales se ajustaron a un modelo exponencial de primer orden para la transferencia de humedad ($r > 0,9$) en ambos cultivares.

Osorio *et al.* (2010) realizaron la cinética de absorción de aceite y pérdida de humedad en chips de arveja (*Pisum sativum* L.) en diferentes condiciones de fritura a presión atmosférica y de vacío. Se determinó dependencia de la difusividad con la temperatura y la presión; al evaluarla con la ecuación de Arrhenius se obtuvieron E_a de 5.5868, 4.7169 y 3.82427 kJ/mol y E_a de 18.672, 13.829 y 13.753 kJ/mol a presiones de 78, 43 y 9 kPa para absorción de aceite y pérdida de humedad, respectivamente. El modelo de Monod utilizado para simular el proceso de absorción de aceite durante la fritura de arveja, mostró una buena calidad de ajuste sobre las curvas experimentales, validando su utilización.

Ramos, (2018) hizo empleo de los modelos empíricos de Newton, Herderson y Pabis y Page y de los modelos de Primer orden, Monod y Moyano-Pedreschi para la descripción del comportamiento cinético de pérdida de agua y absorción de aceite respectivamente. El proceso de fritura se llevó a cabo bajo tres presiones y tres temperaturas de fritura: 20 KPa, 50 KPa y 81 KPa; 140 °C, 160 °C y 180 °C con una variación de ± 5 KPa y ± 2 °C respectivamente, por tiempos de hasta 300 segundos. La relación producto/aceite se mantuvo constante 1:300 (p/v).

4.2.4.1 Modelado de la pérdida de agua y ganancia de aceite.

El modelado de la pérdida de agua es el más trabajado, pues varios estudios realizados enfocan este proceso (Garayo & Moreira, 2002; Yamsaengsung & Moreira, 2002).

Por otra parte para la mayoría de los autores el modelado de la cinética de absorción de aceite se realiza juntamente con el modelado de la pérdida de agua, utilizando métodos similares.

Generalmente, se realiza con métodos empíricos, debido a la falta de conocimiento del

mecanismo de transferencia que ocurre, principalmente en la etapa de enfriamiento (Garayo & Moreira, 2002).

Los modelos empíricos no pretenden describir cómo tiene lugar el proceso y sólo interpretan de forma empírica los datos.

Existen varios tipos de modelos que se pueden utilizar y se indican a continuación:

A. Modelos empíricos: Estos son modelos basados en la observación y no pretenden describir cómo tiene lugar el proceso y sólo interpretan de forma empírica los datos e identifican las variables más relevantes del proceso. Estos modelos son útiles con fines de diseño, especialmente cuando los problemas a resolver son excesivamente complicados (Ramos, 2018; Jibaja, 2010; Mulet, 1994).

B. Modelos difusionales: Estos son modelos fácilmente formulados y normalmente proporcionan resultados razonables. Su principal inconveniente incurre en que frecuentemente requieren suposiciones que se tienen en cuenta para poder resolverlo. Generalmente, se asume una difusividad efectiva que incluye los efectos relacionados con la cinética, tanto los fenómenos conocidos como los desconocidos (Ramos, 2018; Jibaja, 2010; Mulet, 1994).

C. Modelos de frente de recesión o frontera móvil: En este tipo de modelos se considera la existencia de una interfase móvil agua-vapor de agua. En este tipo de modelos, la fritura debe ser estudiada de manera similar a otros procesos tales como la congelación de agua, fusión del hielo, fusión de metales, debido a la formación de la corteza en el alimento frito, en los que se observa la existencia de una interfase móvil durante el proceso (Jibaja, 2010).

5. Metodología

5.1. Localización del estudio

La investigación se realizó en los Laboratorios de Calidad y Conservación de Alimentos (Imagen 3) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño sede Torobajo, Pasto (Nariño). La ciudad se encuentra ubicada a 2527 m.s.n.m., su temperatura promedio es de 14 °C y humedad relativa de 70%.



Imagen .3 Laboratorios de Calidad y Conservación de Alimentos – GAIDA

Fuente. Este estudio

5.2. Selección y preparación de la fruta

El estudio se llevó a cabo utilizando uchuva fresca de eco tipo cruce 3 x 6 (Imagen 4) obtenida gracias al proyecto de mejoramiento genético de uchuva de la Universidad de Nariño. Las muestras se recolectaron en una finca ubicada en Gualmatán, Nariño (Suroeste de Colombia), con un grado de madurez de 4 a 5 y un calibre de diámetro C a D de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 4580. La fruta fue recibida, lavada, seleccionada por tamaño y calidad, enteras, sanas (libres de enfermedades, podredumbre o deterioro, sustancias u objetos extraños), de consistencia dura y exenta de cualquier malformación extraña, golpe o laceración.



Imagen 4. Uchuvas seleccionadas eco tipo cruce 3 x 6

Fuente. Este estudio

5.3. Proceso de obtención de snack de uchuva

A continuación, en la Figura 7, se presenta el diagrama de flujo que detalla el proceso de elaboración de los snacks de uchuva.

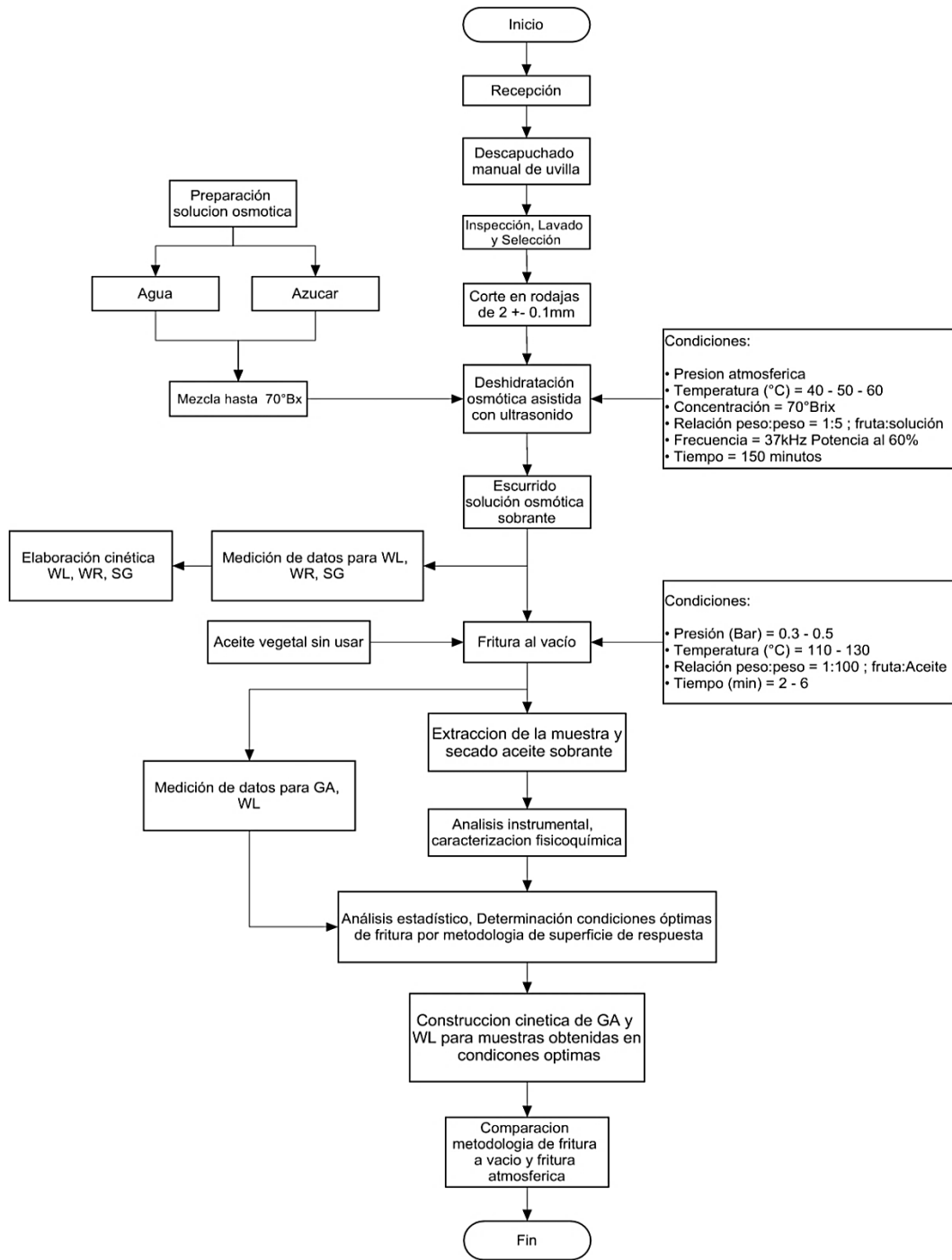


Figura 7. Flujo grama de la metodología empleada en el desarrollo del trabajo para la obtención de snacks de uchuva

Fuente. Este estudio

5.4. Caracterización de la fruta

Se realizó la determinación de los parámetros físicos y químicos de la uchuva con base en la norma NTC 4580, como se describe a continuación:

a) Peso del fruto: se determinó mediante el uso de una balanza digital (Ohaus PA 214), con precisión de 0,001 g, calculándose el promedio en base a 5 muestras con base a la Tabla 2.

b) Diámetro ecuatorial del fruto: se determinó y clasifico el tamaño (Imagen 5) mediante un calibrador, tomándose el promedio de 5 muestras por proceso como lo menciona la Tabla 2, y teniendo en cuenta la Tabla 3 de clasificación por calibres presentada en la NTC 4580.



Imagen .5 Clasificación por tamaño de uchuva

Fuente. Este estudio

Tabla 2.**Tamaño de muestra representativa según el tamaño del lote**

Tamaño del lote (Plantas, empaque, frutos)	Tamaño de la muestra (Plantas, empaque, frutos)
Hasta 150	5
151 – 1200	20
1201 – 10000	32
10001 – 35000	50
35001 – 500000	80
500001 y mas	125

*Fuente: NTC 4580***Tabla 3.****Calibres de la uchuva**

Diámetro (mm)	Calibre
≤15	A
15,1 – 18,0	B
18,1 – 20,0	C
20,1 – 22,0	D
≥22,1	E

Fuente: NTC 4580

c) Contenido de sólidos solubles: se extrajo el jugo de 20 g de fruta por compresión, se pasó a través de un tamiz y se midió el contenido de sólidos solubles con un refractómetro de mesa

(Brixco, modelo 3030, Labexco, Bogotá), con resolución de 0,25 °Brix. La prueba se repitió 5 veces. Este resultado se contrastó con el estado de madurez de las frutas por medio de una comparación visual y con los valores de la Tabla 4.

Tabla 4.

Contenido mínimo de sólidos solubles totales expresado como grados °Brix (°Brix), de acuerdo con la tabla de color. (Tabla tomada de la NTC 4580)

Color	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
°Bx mínimo	<i>9,4</i>	<i>11,4</i>	<i>13,2</i>	<i>14,1</i>	<i>14,5</i>	<i>14,8</i>	<i>15,1</i>

Fuente: NTC 4580

El resultado se corrigió mediante la ecuación presente en la NTC 4580:

$$SST_R = 0.194 * A + SST \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

A = % de Ácido cítrico

SST = Sólidos solubles totales en °Brix

La prueba se realizó con el zumo de la fruta a una temperatura de 20°C para que no exista la necesidad de hacer correcciones por temperatura como se explica en la NTC 4580.

d) Color: La diferencia de color total (ΔE^*) se calculó de acuerdo a la fórmula presentada por (Luchese *et al.* 2015), la distancia euclidiana (ΔE^*) existente entre dos puntos en un espacio tridimensional a partir de las determinaciones de los valores estado fresco (0) y freídas a vacío (f), descrito por la ecuación 2. El espacio de color CIELAB incluye un índice de luminosidad (L^*) y dos coordenadas de color (a^* y b^*). El parámetro de color L^* está relacionado con la luminosidad. El parámetro de color a^* tiene valores negativos para los verdosos y positivos para los rojizos, mientras que el parámetro de color b^* tiene valores positivos para los amarillentos y

negativos para los azulados (Figura 7).

$$\Delta E = \sqrt{(L_f^* - L_0^*)^2 + (a_f^* - a_0^*)^2 + (b_f^* - b_0^*)^2} \quad (\text{Ec.2})$$

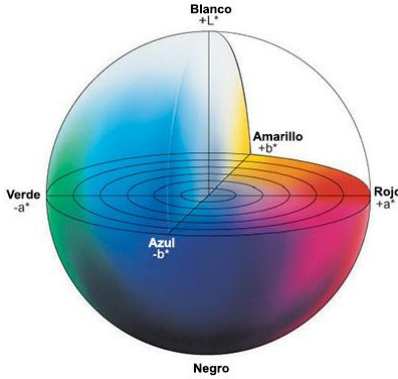


Figura 7. Espacio de color CIE L* a* b*.

Fuente. Este estudio

En el presente trabajo, las mediciones de color se realizaron por triplicado para muestras frescas, deshidratadas y fritas, usando un espectrofotómetro CM-5 (Konica Minolta Sensing Americas Inc., NJ, USA) (Imagen 6) dotado de un software que permite una fácil identificación de las características de color de las muestras. Las mediciones se llevaron a cabo por triplicado y se analizaron según el estudio de Dueik y Bouchon, (2011).



Imagen 6. Espectrofotómetro Konica Minolta CM-5

Fuente. Este estudio

e) pH: El valor del pH se determinó a 20 ± 5 °C, con un medidor digital de pH (Orion 3-Star, Thermo Scientific, Bogotá), calibrado con soluciones tampón a pH 4 y 7.

f) Contenido de humedad: El contenido (%) de humedad se determinó gravimétricamente por secado en estufa (Imagen 7) marca Dynamica a 105 °C durante 24 horas hasta peso constante (AOAC, 950.01, 1990). Los datos correspondientes a la materia seca se utilizaron para calcular los resultados de posteriores análisis.



Imagen 7. Determinación de humedad de muestras por medio de calentamiento en horno

Fuente. Este estudio

g) Acidez titulable: La acidez titulable (AT) se cuantificó por titulación con solución de NaOH 0,1 M y expresada como g ácido cítrico/100 g. Para ello se hizo un total de 5 ensayos los cuales serán contrastados con los valores consignados en la Tabla 5 con respecto a la cantidad máxima de ácido cítrico presente por estado de madurez según la NTC 4580.

Tabla 5.

Contenido máximo de acidez expresado como % de ácido cítrico, de acuerdo con la tabla de color. (Tabla tomada de la NTC 4580)

Color	0	1	2	3	4	5	6
%Ácido Cítrico (máximo)	2,60	2,70	2,56	2,34	2,03	1,83	1,68

h) Actividad de agua: se midió usando un higrómetro de punto de rocío (HygroLab C1, Rotronic AG, Bassersdorf, Alemania).

i) Determinación de contenido de vitamina C: Se determinó el contenido de ácido ascórbico tanto para la fruta fresca como para los snacks, mediante el uso del equipo Reflectoquant RQflex plus 10 (Imagen 8), por medio de un test para ácido ascórbico con el uso de tirillas especiales que permiten su medición en el equipo.



Imagen 8. Reflectoquant RQflex plus 10

Fuente. Este estudio

5.5. Preparación de la muestra

La fruta seleccionada y lavada se dispuso en forma de rodajas de aproximadamente $2\text{mm} \pm 0.1$ (Imagen 9) con ayuda de un bisturí con la intención de exponer la pulpa del fruto y mejorar la

transferencia de masa al no estar la piel del fruto como impedimento, pues autores como Luchese *et al.* (2015) han reportado conflictos por la calidad cerosa de la piel del fruto.



Imagen 9. Uchuva fresca en rodajas de $2\text{mm} \pm 0.1$

Fuente. Este estudio

Por otra parte se preparó solución osmótica a 70°Brix (Imagen 13), preparada a partir de sacarosa según el procedimiento descrito por Sharma *et al.* (2003), Fabiano *et al.* (2008) y Gómez (2012).



Imagen 10. Solución osmótica o hipertónica a 70°Bx Utilizada vs Nueva

Fuente. Este estudio

5.6. Aplicación de la deshidratación osmótica asistida con ultrasonido (DOU)

Por medio de ensayos preliminares a varios niveles de los factores (concentración de la solución, temperatura, frecuencia, tiempo, y relación fruta: solución) y revisión bibliográfica, se logró establecer condiciones fijas de procesamiento que permiten obtener resultados que

favorezcan la deshidratación del pre tratamiento y mejoren las características de calidad después de la fritura al vacío.

El proceso de deshidratación osmótica se realizó en un equipo de ultrasonido (Elma S10H®) (Imagen 11), el cual permite controlar la temperatura de la solución, la frecuencia y su respectiva potencia. Las rodajas se sumergieron en el equipo de ultrasonido, con ayuda de una rejilla para poder mantenerlas sumergidas, tal y como se aprecia en la Figura 8. Se trabajó con condiciones pre establecidas de, concentración de la solución osmótica 70°Bx, usando una relacion muestra: solución de 1: 5, la frecuencia de ultrasonido se ajustó a 37 kHz al 60% de potencia (588W), tiempo de 150 minutos y se empleó agitación manual cada 15 minutos, para evitar la formación de costras de azúcar en la superficie de las muestras y acelerar el proceso de deshidratación (Ayala *et al.* 2010).



Imagen 11. Equipo de ultrasonido Elma S10H®

Fuente. Este estudio

Se evaluaron tres temperaturas: 40, 50 y 60°C, del mismo modo que (Vega *et al.* 2007), con una variación de ± 2 ° C, esto debido al calentamiento generado por el ultrasonido, que se controló de forma similar a (Hui *et al.* 2012) retirando la solución caliente y agregando solución hipertónica a una temperatura de 10 ° C.

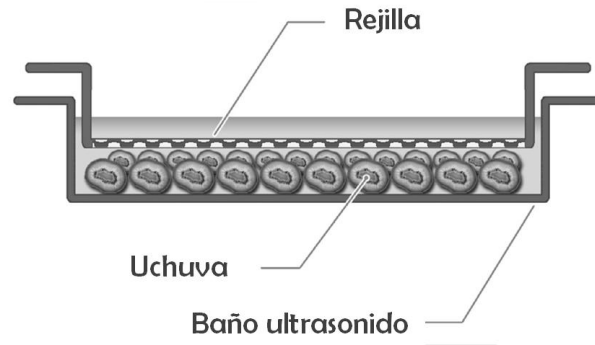


Figura 8. Esquema general del equipo de baño ultrasonido, empleado en la deshidratación osmótica de la muestra.

Fuente: Imagen modificada a partir de la empleada por (Nowacka, M. et al. 2013)

Una vez obtenidas las muestras, se empacaron en bolsas de polietileno resellables y se almacenaron en refrigeración (10°C) hasta su posterior uso (Imagen 12).



Imagen 12. Comparación uchuvas enteras frescas vs uchuvas en rodajas osmodeshidratadas

Fuente. Este estudio

5.7. Modelamiento de Pérdida de agua (PA) y Ganancia de Sólidos (GS) como evaluación del efecto de las condiciones del pre tratamiento.

Las muestras se tomaron en períodos de tiempo preestablecidos de 5 min durante 150 min se dejan escurrir por acción de la gravedad para que se les retire la solución osmótica en su superficie, e inmediatamente se secaron con papel absorbente para eliminar el exceso de solución

en la superficie. Las muestras para la determinación de ganancia de sólidos (*GS*) se lavaron rápidamente con agua destilada para eliminar la solución hipertónica en exceso que pueda alterar la medición y luego se secaron.

El tiempo de proceso fue menor al empleado por autores como Gómez (s.f.) y Gómez (2012) debido al uso del ultrasonido. El pre tratamiento se evaluó analizando parámetros cinéticos como la reducción del peso (*PP*), la pérdida de agua (*PA*), y la azúcar ganada (*GS*).

La pérdida de agua (*PA*) se determinó por medio de calentamiento en horno a 105°C durante 24 horas según el método utilizado por (Luchese *et al.* 2015) y la (AOAC, 2000).

La ganancia de azúcar (*GS*) se calculó de acuerdo con el método utilizado por (Gómez, 2014), midiendo los °Brix, utilizando un equipo Brixco (modelo 3030, Labexco, Bogotá) con una precisión de 0.25 °Bx; se tuvo en cuenta para las muestras a partir del minuto 80, debido a la gran pérdida de agua, se maceraron con 0.3 ml de agua, se realizó la medición de °Bx y posteriormente se realizó una corrección para encontrar la concentración de grados °Brix real. Todas las determinaciones se hicieron en quintuplicado.

La pérdida de agua en el producto *PA* (%) y la evolución del contenido de sólidos *GS* (%) se calcularon con base a las ecuaciones (Ec. 3 y 4) utilizadas por Vega *et al.* (2007); Fernandes *et al.* (2007); Hui *et al.* (2012) y Nowacka *et al.* (2014)

$$WL(\%) = \frac{(w_i * X_{hi} - w_t * X_{ht})}{w_i} * 100 \quad \text{(Ec. 3)}$$

$$SG(\%) = \frac{(w_i * X_{si} - w_t * X_{st})}{w_i} * 100 \quad \text{(Ec. 4)}$$

Dónde:

X_{hi} : Humedad inicial de la fruta sobre base húmeda, X_{ht} : humedad de la fruta a la vez sobre base húmeda, w_i : masa de fruta inicial, w_t : masa de fruta final de fruta en un momento t del tratamiento, X_{si} : concentración o fracción inicial de sólidos solubles de fruta fresca, X_{st} : fracción

de sólidos de la fruta en un momento t sobre la base húmeda.

La pérdida de peso se determinó mediante la medición del peso de muestras frescas y posteriores al tratamiento. Para ello fue necesario introducir hilos etiquetados en rodajas de uchuva para poder diferenciar la rodaja bajo estudio del resto (Imagen 13 e Imagen 14), y extraerse de la solución hipertónica sin lugar a confusiones, de manera tal que pueda definirse objetiva e individualmente cuál es la pérdida de peso de una misma muestra. Se realizó bajo este método debido a la variabilidad del tamaño de la rodaja en cuento a su diámetro.

$$WR(\%) = \frac{w_i - w_t}{w_i} * 100 \quad (\text{Ec.5})$$

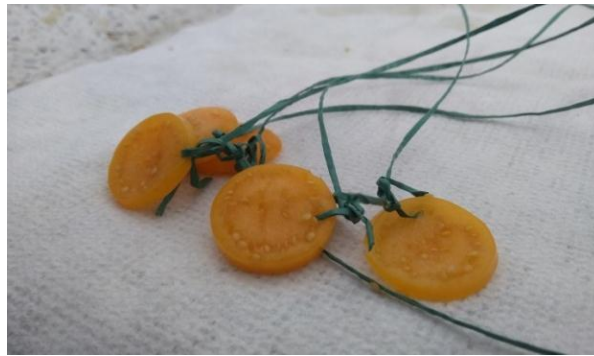


Imagen 13. Rodajas de uchuva fresca atada por cuerdas, para la determinación de pérdida de peso (PP)

Fuente. Este estudio



Imagen 14. Equipo de ultrasonido en proceso de osmodeshidratación para muestras de pérdida de peso.

La cinética de transferencia de masa se evaluó en términos de *PA* y *GS*; se modelaron de acuerdo con los modelos de Peleg (Ec.6), Azuara (Ec.7), Weibull (Ec.8), Page (Ec.9) y Magee (Ec.10).

$$M(t) = M_i \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (\text{Ec.6})$$

Dónde:

$M(t)$: *PA* o *GS* al tiempo t ; M_i : *PA* o *GS* a $t = 0$; t : tiempo de toma de muestra, k_1 y k_2 : constantes del modelo.

$$\frac{t}{W} = \frac{1}{S_1 * W_\infty} + \frac{t}{W_\infty} \quad (\text{Ec.7})$$

Dónde:

t : tiempo de toma de muestra; W : *PA* o *GS* a tiempo t ; S_1 : Constante del modelo, W_∞ : *PA* o *GS* en un tiempo infinito, en equilibrio.

$$MR = \frac{M_t - M_\infty}{M_i - M_\infty} = \exp\left(\frac{-t}{b}\right) \quad (\text{Ec.8})$$

Dónde:

M_t : *PA* o *GS* a un tiempo; M_i : *PA* o *GS* a $t=0$; M_∞ : *PA* o *GS* en tiempo de equilibrio; t : tiempo de toma de muestra; b : constante del modelo

$$MR = \frac{M_t - M_\infty}{M_i - M_\infty} = \exp(-K t^n) \quad (\text{Ec.9})$$

Dónde:

M_t : *PA* o *GS* a un tiempo; M_i : *PA* o *GS* a $t=0$; M_∞ : *PA* o *GS* en tiempo de equilibrio; t : tiempo de toma de muestra

$$M = k * t^{0.5} + a \quad (\text{Ec.10})$$

Dónde: M : *PA* o *GS* a tiempo t ; k : constante del modelo; a : constante del modelo; t : tiempo de

toma de muestra.

Para el modelado matemático de los datos experimentales se utilizó el software "Statgraphics Centurion XVI", donde los coeficientes del modelo se calcularon mediante análisis de regresión no lineal.

La calidad del ajuste entre los datos experimentales y los valores predichos por las ecuaciones se analizaron mediante el coeficiente de correlación ajustado (R^2_{adj}) (Ec.13) y el error estándar de predicción (SEP) (Ec.14).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Dat_{pre,i} - Dat_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Dat_{pre} - Dat_{exp,i})^2} \quad (\text{Ec.12})$$

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - R^2) * \frac{N-1}{N-m-1}$$

(Ec.13)

$$SEP = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (Dato_{Exp} - Dato_{Predicho})^2}$$

(Ec.14)

Donde R^2_{adj} corresponde al coeficiente de determinación ajustado, R^2 corresponde al coeficiente de determinación, m es el número de parámetros de regresión y N es el número de observaciones. El parámetro R^2_{adj} corresponde a un indicador apropiado de modelado puesto que considera la variación de los datos experimentales por medio del coeficiente de determinación, y el número de parámetros por cada modelo matemático.

SEP es el error estándar promedio (%), donde, N es el número de observaciones, $Dato_{exp}$ es el valor i-ésimo de la razón de humedad experimental y $Dato_{pre}$ es el valor i-ésimo de la razón de humedad predicha

Las ecuaciones 6 a 10 se usaron bajo unidades de PA y GS, mientras que el cálculo de la difusividad se llevó a cabo con datos de % humedad y concentración de sólidos (°Bx).

5.7.1 Determinación de la difusividad efectiva de agua y solidos

Para determinar la difusión efectiva ($Deff$) del agua y el soluto fue aplicado un modelo fenomenológico basado en la segunda ley de Fick para la difusión en estado no estacionario (Arias *et al.* 2017). Se utilizó la metodología descrita por Marzullo, C. (2010) y Puente *et al.* (2013) a partir de la segunda Ley de Fick, ecuación de difusión, la cual se expresa en la ecuación 15:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = Deff * \frac{\partial^2 x}{\partial x^2} \quad (\text{Ec.15})$$

Para el cálculo del coeficiente de difusividad efectiva, se utilizó la solución analítica de la segunda ecuación de Fick (Ec.16), la cual resulta adecuada para fenómenos difusivos durante la transferencia de masa en el alimento durante el secado hasta alcanzar el equilibrio.

$$Y = MR = \frac{M_t - M_\infty}{M_i - M_\infty} = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp \left\{ -D_e (2n + 1)^2 \frac{\pi^2 t}{4L^2} \right\} \quad (\text{Ec.16})$$

Para resolver esta ecuación se consideró que: (i) el contenido de humedad inicial es uniforme; (ii) la geometría se mantiene continua durante el proceso y se asume, para las rodajas de uchuva, como placas infinitas; (iii) la superficie consigue la humedad de saturación en un instante determinado. La condición inicial es el contenido de humedad de la muestra al principio del proceso. Asumiendo estas hipótesis, la solución de la ecuación 16 se obtiene analíticamente por el método de separación de variables que empleando sólo el primer término de la serie solución, resulta en la ecuación 17:

$$Y = MR = \frac{8}{\pi^2} \exp \frac{D_e \pi^2}{4L^2} \quad (\text{Ec.17})$$

Dónde: MR se describe en la ecuación 8; $Deff$: coeficiente de difusión del agua en la rodaja (m^2/s); t : tiempo (s) y L : mitad del espesor de la rodaja (m). La ecuación 17 se puede simplificar en forma logarítmica mediante linealización como se muestra en la ecuación 18.

$$\ln Y = \ln \frac{8}{\pi^2} - \left\{ \frac{D_e \pi^2}{4L^2} \right\} * t \quad (\text{Ec.18})$$

De esta forma, De_{eff} es determinado a través de la graficación de la Ec.18, de los datos experimentales de $\ln Y$ versus tiempo, mediante el despeje de De de la pendiente $\frac{D_e \pi^2}{4L^2}$ de la Ec. 18 (Puente *et al.* 2013; Saberian *et al.* 2014).

5.7.2 Energía de activación para la cinética de pérdida de agua y ganancia de sólidos.

En general, la influencia de la temperatura de secado sobre el coeficiente de difusividad efectiva del agua en los alimentos sigue una tendencia tipo Arrhenius debido a su dependencia con la temperatura, la relación descrita por la (Ec.18) y al representar el $\ln De_{eff}$ vs $1/T$ se obtiene una línea recta de cuya pendiente se obtiene la E_a y de la ordenada al origen se obtiene el factor de Arrhenius (D_o) (Ec.19) (Puente *et al.* 2013).

Bajo la misma metodología se puede llevar a cabo el cálculo de la energía de activación necesaria en la matriz de la uchuva para que se presente la ganancia de sólidos.

$$D_e = D_o * \exp\left(\frac{-E_a}{R*T}\right) \quad (\text{Ec. 19})$$

Dónde: D_o : factor pre-exponencial (m^2/s); E_a : energía de activación (kJ/mol); T : temperatura absoluta (K) y R : constante de los gases (8.314 J/mol K).

Al linealizar la Ec.19 aplicando logaritmos en ambos lados, se obtuvo la ecuación (20), de la cual se despejó E_a a partir de la pendiente de la gráfica de $\ln De_{eff}$ vs $1/T$.

$$\ln De_{eff} = \ln D_o - \frac{E_a}{RT} \quad (\text{Ec.20})$$

5.8. Fritura al vacío

Una vez definido y caracterizado el pre tratamiento de DO , se realizó el tratamiento de fritura a vacío de las muestras parcialmente deshidratadas

5.8.1 Aceite.

Para las corridas experimentales se utilizó como medio de fritura aceite 100 % vegetal (aceite de soya), el cual fué renovado después de cada 6 ensayos o lotes. Se utilizó aceite con punto de humo de 230 °C de acuerdo a los requisitos de la NTC 3272 (Icontec, 1997).

5.8.2 Descripción del proceso de fritura al vacío.

El proceso de fritura se llevó a cabo en batch, utilizando un prototipo a escala diseñado por la empresa CENTRICOL LTDA (Figura 9) (Imagen 15), provisto de una cámara de vacío (1) de acero inoxidable con capacidad 6 L, en el interior de este se encuentra una resistencia eléctrica (2) regulada por un control automático, un porta muestras (3) desmontable de acero inoxidable, una termocupla de termómetro digital (4), una válvula para vaciado del equipo (5) y la tapa del sistema de fritura (6). En la parte externa del equipo se encuentra el tablero de control (7), compuesto por el controlador y medidor digital de temperatura, presión y tiempo; el interruptor de encendido y apagado de la placa calefactora o resistencia, y de la bomba de vacío, junto con el interruptor general de funcionamiento (8). Se encuentra la bomba (9), la trampa de grasas (10), el vaso recolector de residuos (11), el vacuómetro (12), la válvula para romper el vacío (12) y el sistema de poleas (14) para levantar y cerrar la tapa de la cámara de vacío y por último un condensador (15).

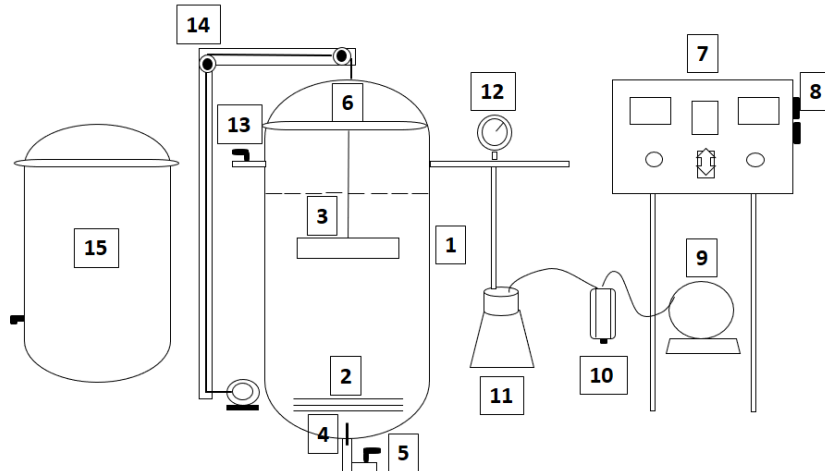


Figura 9. Esquema de equipo de fritura a vacío.

Fuente: (Ramos, 2018)



Imagen 15. Equipo de fritura al vacío

Fuente. Este estudio

El proceso de fritura se elaboró con base al efectuado por Dueik *et al.* (2010) y (Esan *et al.* 2015), se inició colocando una cantidad de aceite que permita una fritura uniforme de la muestra (5 Litros) (Imagen 16), seguidamente se enciende el equipo y se programó los parámetros de presión, temperatura y tiempo según el ensayo a realizar; a continuación se cargó la muestra en las canastillas (Imagen 17) y se pone en marcha el sistema para iniciar el calentamiento del

aceite, debido a la cantidad de aceite que puede almacenar la cámara de freído, y al limitado tamaño de la rejilla para lo colocación de la muestra, la relación se ve dada a 1:100

Peso/Volumen, muestra: aceite, lo cual permite que en los diversos experimentos en distintas condiciones, no se altere los resultados de los mecanismos de transferencia de calor y masa.



Imagen 16. Llenado del tanque de fritura

Fuente. Este estudio



Imagen 17. Muestra de uchuva osmodeshidratada en canastilla previa a proceso de fritura al vacío.

Fuente. Este estudio

Una vez se alcanzaron las condiciones fijadas de temperatura del aceite y presión de vacío, se bajó las canastillas con la muestra para que se sumerjan en el aceite (Imagen 18), dando inicio a la fritura y al conteo del tiempo de la misma.

Finalizado el tiempo del ensayo, se eleva el sistema de canastillas con la muestra, se elimina el

vacío a través de una válvula, y se abre el recipiente para retirar el producto, que se deposita y recubre con papel absorbente para retirar el aceite remanente en superficie (Bermudez *et al.* 2016).



Imagen 18. Compartimentos o canastillas para muestra del equipo de fritura al vacío.

Fuente. Este estudio

5.8.3 Optimización de los factores tiempo, temperatura y presión para el proceso de fritura al vacío.

5.8.3.1 Diseño experimental del proceso de fritura al vacío.

La presión de vacío se calculó con base en la disminución de la presión de la ciudad de San Juan de Pasto. Para conocer la presión de trabajo, se restó de la presión atmosférica, la presión leída en el vacuómetro (Ec.21).

$$P_{ABS} = P_{ATM} - P_{VACIO} \quad (\text{Ec.21})$$

Se trabajó una metodología de superficie de respuesta con un diseño compuesto central rotatorio, similar al empleado por Lea Wexler *et al.* (2016), que optimice en mayor medida la calidad deseada en las variables de respuesta (actividad de agua (Aw), contenido de humedad, contenido de aceite, color y dureza) mediante la optimización de los factores de estudio

trabajados, cuyos niveles inferior y superior fueron: presión de vacío (medición del vacuo metro) de (0.5 y 0.3 Bar) → (presiones reales (P_{ABS}) de [0.2443 Bar = 7.21 inHg = 24.41 kPa] y de [0.4443 Bar = 13.12 inHg = 44.43 kPa] respectivamente), temperatura (110 y 130°C) y tiempo (2 y 6 min), cada factor tendrá además un punto central y dos puntos axiales. El diseño completo estará constituido entonces por 8 puntos factoriales, 6 puntos axiales y 6 repeticiones en el punto central para un total de 20 ensayos; la matriz de experimentos se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.

Matriz de experimentos para superficie de respuesta.

Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Presión (Bar)
110	6	0,5
120	4	0,4
110	6	0,3
110	2	0,5
130	6	0,5
110	2	0,3
120	4	0,4
120	0,636414	0,4
120	4	0,4
120	4	0,4
120	4	0,231821
120	4	0,4
120	4	0,4
130	2	0,3

136,818	4	0,4
120	7,36359	0,4
130	6	0,3
130	2	0,5
120	4	0,568179
103,182	4	0,4
110	6	0,5

Fuente. Este estudio

5.9. Modelamiento de los fenómenos de pérdida de humedad y absorción de aceite de los snacks obtenidos bajo las condiciones óptimas de proceso.

La mayoría de estudios sobre modelamiento en fritura a vacío relacionan la absorción de aceite y pérdida de humedad en función del tiempo o temperatura (Budzaki y Seruga, 2005; Garayo y Moreira, 2002; Dueik *et al.* 2010).

Una vez se definieron los niveles más apropiados de los factores del proceso de fritura que optimicen los atributos de calidad de los snacks, se realizaron ensayos bajo tales condiciones óptimas en los cuales se tomó muestras a intervalos de 30 segundos para obtener las curvas de evolución del contenido de humedad, y de aceite. Posteriormente se aplicaron modelos matemáticos que describan las cinéticas de absorción de aceite y de pérdida de humedad.

5.9.1. Modelado matemático de la cinética de pérdida de humedad.

Para modelar matemáticamente la cinética de pérdida de humedad, se aplicaron tres modelos empíricos expuestos por Da Rocha *et al.* (2012) y (Saberian *et al.* 2014).

I. Modelo de Newton

$$MR = e^{(-k_1*t)} \quad (\text{Ec.22})$$

II. Modelo de Henderson – Pabis

$$MR = a e^{(-k_2*t)} \quad (\text{Ec.23})$$

III. Modelo de Page

$$MR = e^{(-k_3*t^n)} \quad (\text{Ec.24})$$

Dónde: MR : relación de humedad adimensional; k_1 , k_2 , k_3 : constantes de velocidad de pérdida de agua (s^{-1}); t : tiempo de pérdida de agua en la fritura (s); a y n : constantes de los modelos.

$$MR = \frac{M_t - M_\infty}{M_i - M_\infty}$$

Dónde:

M_t : contenido de agua al tiempo t ; M_i : contenido de agua inicial $t=0$; M_∞ : contenido de agua en el equilibrio; t : tiempo de toma de muestra;

Para la determinación del contenido de agua en el equilibrio, se llevó a cabo múltiples pruebas con varias muestras, excediendo hasta un triple del tiempo obtenido en la optimización, para determinar un valor real aproximado.

El ajuste de los datos experimentales de MR a los modelos matemáticos se realizó aplicando regresiones no lineales con una variable independiente (tiempo de fritura) mediante el programa Statgraphics Centurion XVII, y se evaluó la calidad del ajuste entre los datos experimentales y los valores predichos mediante el coeficiente de correlación ajustado (R^2_{adj}) (Ec.13) y el error estándar de predicción (SEP) (Ec.14).

5.9.2 Determinación del contenido de aceite.

Se empleó un equipo de extracción Soxhlet (Imagen 19), utilizando como solvente éter etílico

al 99.8%, según la metodología descrita por Dueik *et al.* (2010), con un reflujo de 8 h. Los balones con aceite extraído, fueron sometidos durante dos horas en un horno a 100°C (Imagen 20) de modo que todo contaminante y solvente remanente se evapore y no altere la medición. Posteriormente, el balón se enfrió a temperatura ambiente dentro del horno (Imagen 23), y se pesó. El contenido de aceite se pesó en una balanza analítica (OHAUS, modelo PA214).

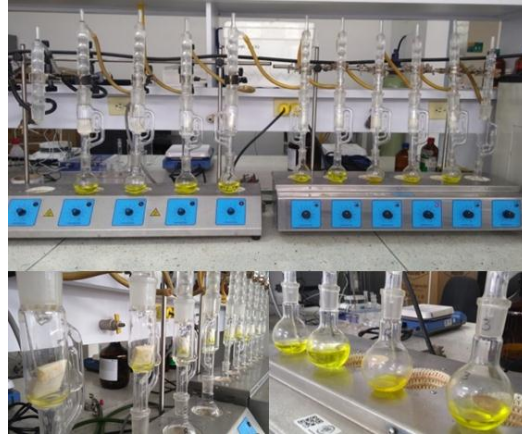


Imagen 19. Equipo Soxhlet para extracción.



Imagen 20. Horno grado alimentario usado en el secado de balones con aceite extraído.

Fuente. Este estudio

La recuperación del solvente se hizo empleando el mismo equipo, retirando la muestra del porta –muestras y teniendo la precaución de retirar el solvente que se almacenara en ese espacio antes de que se realizara el reflujo (Imagen 21).



Imagen 21 Recuperación de solvente con el equipo Soxhlet.

Fuente. Este estudio

5.9.2.1 Modelado matemático de la cinética de absorción de aceite.

Se determinó mediante la aplicación de tres modelos empíricos expuestos por Moyano & Pedreschi (2006), Krokida *et al.* (2000).

I. Modelo de Monod

$$A = \frac{Y \cdot t}{b + t} \quad (\text{Ec.25})$$

II. Modelo de Moyano – Pedreschi

$$A = \frac{Y \cdot k_1 \cdot t}{1 + (k_1 \cdot t)} \quad (\text{Ec.26})$$

III. Modelo de primer orden

$$A = Y \cdot (1 - e^{-k_2 \cdot t}) \quad (\text{Ec.27})$$

Dónde: A: contenido de aceite al tiempo t ; Y: contenido de aceite en el equilibrio o máximo contenido de aceite, a tiempo infinito; k_1 , k_2 : constantes de velocidad de absorción de aceite (s⁻¹); t : tiempo de absorción de aceite en la fritura (s); b : tiempo de fritura durante el cual se ha adquirido la mitad del contenido máximo de aceite (s).

El ajuste de los datos experimentales de los modelos matemáticos se realizó aplicando regresiones no lineales con una variable independiente (tiempo de fritura) mediante el programa

Statgraphics Centurion XVII

Los modelos utilizados para predecir las cinéticas de pérdida de humedad y absorción de aceite, fueron evaluados de acuerdo a la bondad del ajuste entre los valores medidos y los predichos por el modelo, eligiendo aquel que presente los mayores valores de coeficiente de determinación (R^2) (Ec.13) y el menor error estándar de predicción (SEP) (Ec.14).

Además, se consideró que la validez del ajuste del modelo sea satisfactoria y que describa adecuadamente el comportamiento de las cinéticas de pérdida de agua y absorción de aceite.

5.10. Comparación Fritura en vacío vs Fritura tradicional para snacks de uchuva

Se llevó a cabo una comparación entre las muestras fritas bajo condiciones óptimas obtenidas a $t=1.5$ min y muestras fritas en condiciones atmosféricas de $T=170^{\circ}\text{C}$, $t=1.5$ min, de la forma en como Mariscal y Bouchon, (2008) y Esan *et al.* (2015) plantean. Se realizaron ensayos de fritura en vacío y fritura tradicional en términos de ganancia de aceite y pérdida de humedad con el objetivo de demostrar mediante una comparación de variables de respuesta el mejoramiento del proceso con respecto a la obtención de un snack más saludable, haciendo uso de la fritura al vacío.

5.11. Métodos para la evaluación de las variables de respuesta en fritura

a) Determinación contenido de aceite. El contenido de aceite de los snacks fue determinado por medio de extracción con solvente (método Soxhlet, AOAC, 1995) como el descrito en el punto 5.8.2.



Imagen 22. Preparación y montaje para extracción de aceite de snack de uchuva.

Fuente. Este estudio

b) Determinación del contenido de humedad. En cuanto al contenido de humedad se determinará por método gravimétrico, de acuerdo al método explicado en el apartado F del punto 5.3

c) Color. Este parámetro se evaluó con ayuda de un colorímetro CM5 Konica Minolta, teniendo como parámetros un iluminante D65 y un observador de 10°. Se calculó la distancia Euclideana (ΔE) (Ec.2) en base a estudios realizados por Dueik *et al.* (2010) y Mariscal y Bouchon, (2008) sobre la pérdida de color después de la fritura.

d) Crocancia. Para la evaluación en la textura la crocancia de los snacks se determinó adaptando el trabajo de Da Silva y Moreira, (2008) a las condiciones que se consideren óptimas para continuar con la toma de datos. Se utilizó un texturómetro Lloyd LS1 ® (Test and Calibration Instruments Ametek, Lloyd Materials testing, USA); la muestra se ubicó en 2 soportes y la carga se aplicó centralmente (Imagen 23). Cada muestra se montó en el instrumento de medición utilizando una longitud de soporte de 16 mm con vástago de punta circular, precarga de 0.1 N y una velocidad de 20 mm/min.

El parámetro utilizado para comparar la crocancia de los chips de uchuva fue la dureza del

producto (N) – (Hardness), donde una baja fuerza de ruptura fue considerada como un producto con alta crocancia (Shyu & Hwang. 2011; Esan *et al.* 2015; Liu-Ping *et al.* 2005b). Se realizaron diez repeticiones de cada muestra, para disminuir la gran dispersión que se produce naturalmente por la heterogeneidad de las muestras a nivel celular (Miranda y Aguilera, 2006).

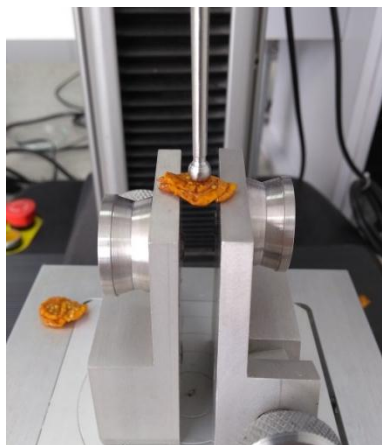


Imagen 23. Determinación de dureza del snack de uchuva.

Fuente. Este estudio

5.12. Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó con la ayuda de 15 panelistas semi-entrenados, quienes evaluaron mediante una escala continua los atributos de sabor, color, sensación de aceite en el producto, presencia de sabores extraños y crocancia, con el fin de determinar el nivel de aceptabilidad del producto. Para la recolección de datos se hizo uso de formatos modificados en base a los simples formatos contemplados en la NTC 3930, seguido a esto la selección y seguimiento de los evaluadores se realizó según lo expuesto en la NTC 4129; todo el seguimiento e implementación del análisis sensorial fue basado en la GTC 165.

6. Resultados y Discusión

6.1. Evaluar y describir el efecto y comportamiento de la deshidratación osmótica asistida con ultrasonido sobre algunos atributos de calidad como pre tratamiento para la fritura al vacío de snacks de uchuva.

6.1.1. Caracterización fisicoquímica de la materia prima.

La fruta trabajada se encontraba con grado de madurez en escala de color de 4 a 5, según la Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Ver Imagen 1.

A pesar de la agilización del proceso al no modificar la geometría del fruto, autores como Luchese *et al.* (2015) en uchuva o Moreira, *et al.* (2003) en tomate Cherry, obtuvieron una menor pérdida de humedad del producto, lo cual intensificaría la absorción de aceite en la fritura, provocaría una alteración posterior del alimento y una baja aceptación sensorial, además, autores como Restrepo *et al.* (2009); Puente *et al.* (2010) y Luchese *et al.* (2015) reportaron dificultades con el manejo de la uchuva en cuanto a su deshidratación, debido a la naturaleza cerosa de la piel. El corte realizado muestra una mayor área efectiva para mejorar la transferencia de masa y la velocidad del proceso al cual fué sometida. Para ello se eliminó en la menor medida posible los extremos del fruto para obtener rodajas con sus dos lados expuestos a la solución osmótica y los cálculos realizados apliquen para cualquier rodaja en general, además no se haría necesario la aplicación de algún reactivo u operación extra para aumentar la permeabilidad de la piel del fruto.

Los valores promedio en la caracterización de la uchuva se observan en la Tabla 7. La totalidad de los valores obtenidos para la caracterización de la uchuva, en la muestra representativa, se encuentran en el Anexo 1.

Tabla 7.

Caracterización fisicoquímica de la uchuva fresca

CARACTERIZACIÓN DE LA UCHUVA	
Peso promedio (g):	7,12 ± 1,04
Peso en rodaja promedio (g):	0,86 ± 0,22
Diámetro ecuatorial (cm):	2,33 ± 0,11 – Calibre E
Color (*L, *a, *b):	42,56 ± 3,41 // 14,99 ± 1,69 // 38,80 ± 4,21
Actividad de agua Aw:	0,95 ± 0,007
pH:	3,76 ± 0,02
Vitamina C (mg/L : mg /100g):	345,8 : 33,08
Acidez titulable:	1,45 ± 0,05
Contenido de Humedad (%)	81,39 ± 0,99
SST (Sólidos solubles)	15,41 ± 0,58

Fuente. Este estudio

Los siguientes supuestos propuestos por (Luchese, C., *et al.* 2015) fueron usados en el desarrollo del proceso de osmodeshidratación:

- Las muestras de uchuva mantuvieron un grosor constante
- Las concentraciones de agua y azúcar iniciales fueron uniformes
- El proceso fue isotérmico
- Los flujos a contracorriente ocurridos fueron simultáneos, solo fue considerada la difusión de azúcar y la osmosis del agua dentro de la uchuva (ninguna otra transferencia de masa ocurrió)

6.1.2. Deshidratación Osmótica.

La operación de deshidratación osmótica fue evaluada por medio de ensayos preliminares y revisión bibliográfica, con la intención de comprender su comportamiento frente a la variación de los diversos factores y poder determinar condiciones fijas que sirvan de pre tratamiento para la obtención de snacks de uchuva, por lo que no se llevó a cabo un diseño de experimentos con la misma, sin embargo se realizó un modelamiento de los fenómenos de Pérdida de agua (*PA*) y ganancia de sólidos (*GS*). Por medio de experimentación en pruebas preliminares y revisión bibliográfica se encontró:

6.1.2.1 Concentración.

Diversas experiencias muestran que a altas concentraciones de disolución osmótica se produce una mayor pérdida de agua en el fruto. Estas altas concentraciones producen grandes fuerzas impulsoras, con ello los tiempos de proceso son más cortos y las células superficiales de la muestra quedan muy deshidratadas, mientras que el centro permanece prácticamente inalterado. Por el contrario, en condiciones más suaves, una parte mayor del tejido queda afectada pero en menor intensidad (Ceballos. G, 2005). Esta disolución osmótica en cuestión debe ser rica en solutos que depriman la actividad de agua de la fruta y que creen una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la disolución.

En ensayos preliminares, se trabajó con soluciones hipertónicas de 60, 70 y 80°Bx. Con niveles de 80°Bx existió un gran descenso en la pérdida de humedad, sin embargo, debido a la elevada concentración la preparación de la solución se dificultaba y la misma tendía con el tiempo a empezar a cristalizarse lo cual entorpecía y enlentecía el desarrollo de los experimento, por lo que autores como (Ayala A. *et al.* 2010; Moreira and Murr, 2003) advierten del efecto de encostramiento del azúcar en la superficie de las muestras para lo cual recomienda hacer uso de algún medio de agitación que evite dicho problema y además permita acelerar el proceso de

deshidratación. Por otra parte explica Ayala A. *et al.* (2010) que se requiere de temperaturas muy elevadas para disminuir la viscosidad de la misma y facilite de esta forma la transferencia de materia.

Con respecto a la difusividad (D_{eff}) del alimento, Arias *et al.* (2017) reporta que la D_{eff} obtenidos a una concentración de solutos más baja es superior, a pesar de que mayores concentraciones presentan un gradiente de concentración de soluto mayor. Esto es debido a que estimula el movimiento molecular y aumenta la permeabilidad celular, de manera que se produce un aumento de la velocidad de transferencia de materia, con lo que la entrada de solutos es mayor. Este comportamiento se debe a que la solución más diluida puede penetrar mejor al interior de los tejidos, en contraste con las soluciones concentradas que son más viscosas y pueden llegar a formar una capa de sacarosa superficial, obstaculizando la entrada de los solutos y la salida de agua.

Mientras que (Vega *et al.* 2007) encontró que la difusividad tanto para agua como para sólidos, presentan una clara dependencia positiva con la concentración de la solución osmótica, sin embargo (Della Rocca, 2010), expone que la humedad de equilibrio disminuye ya que egresa mayor cantidad de agua del producto.

Por tales razones se optó por utilizar una concentración a 70 °Bx preparada a partir de agua destilada y azúcar común o comercial, la cual presento excelentes resultados de deshidratación, respaldándose en autores como (Vega *et al.* 2007; Ayala A., *et al.* 2010; Shafiq *et al.* 2017), quienes demuestran y concuerdan que el uso de una concentración más elevada acelera la pérdida de agua, sin embargo, para no presentar inconvenientes relacionados a lo expuesto por Arias *et al.* (2017), se experimentó con tres temperaturas propuestas en la metodología del presente trabajo, de manera tal que se demostrase el efecto de este factor en condiciones de deshidratación osmótica, y se lograra la mayor deshidratación.

6.1.2.2 Agitación.

La agitación fue un factor que se tuvo en cuenta durante la aplicación del pre tratamiento debido a que autores como Hui *et al.* (2012) y Ayala A. *et al.* (2010) sostienen que la agitación puede acelerar el movimiento de solutos cercanos al material, pues esto evita que la solución hipertónica cercana a la superficie del alimento se encuentre más diluida que el resto del medio, reduciendo la velocidad de deshidratación, además conforme aumenta el tiempo, esta misma agitación previene la formación de una capa de solutos en la superficie del alimentos.

La agitación asegura el contacto continuo de las partículas del producto con la solución osmótica lo que resulta en mayor pérdida de agua y baja ganancia de soluto durante la primera fase de la deshidratación osmótica. Sin embargo, parece ser de poca importancia durante las etapas avanzadas de equilibrio. Los informes señalan que más de 50% de la pérdida de agua se efectúa durante la primer parte del proceso. Por consiguiente es una buena práctica finalizar el proceso osmótico en una etapa temprana para limitar la absorción de soluto (Sharma *et al.* 2003).

Si el sistema es agitado, el agua que ha salido es retirada del contacto de la pared de la fruta y será reemplazada por jarabe concentrado que permitirá el nuevo establecimiento de una alta diferencia de concentración, además del aumento de la velocidad de deshidratación. De igual forma se ha detectado un menor ingreso de soluto del jarabe al interior de la fruta si se mantiene la agitación. Esto se podría explicar por la dificultad que produce el flujo de agua que sale de la fruta a las moléculas de soluto que traten de ingresar, es decir el soluto iría en contra de la corriente del agua de la fruta (Ceballos, 2005).

6.1.2.3 Ultrasonido.

Usualmente, la deshidratación osmótica no es aconsejable para obtener unas reducciones del contenido en agua superiores al 50% a causa de la pequeña velocidad de los fenómenos de transferencia, a estos niveles de concentración. Normalmente, las velocidades de flujo de agua

son altas durante las primeras 2 horas y la mayor cantidad de sólidos ganados ocurre dentro de los primeros 30 minutos de tratamiento. A partir de ese punto los flujos se hacen muy lentos (Ceballos. G, 2005; Gómez, 2012).

Por ello, en orden de incrementar la velocidad de deshidratación el tratamiento de ultrasonido resultó efectivo gracias a que la acción mecánica de las ondas ultrasónicas acelera la difusión de agua. Esto se demostró por (Fabiano *et al.* 2008) quien reporta que el ultrasonido se debe aplicar durante al menos 10 minutos, porque el efecto del ultrasonido mostró ser insignificante en tiempos más bajos mientras que después de 30-45 minutos los cambios fueron insignificantes.

En cuanto a la potencia empleada (Hui *et al.* 2012) reporta que la deshidratación no indica diferencias significativas cuando el poder ultrasonido supera los 125 W, el cual reporta un incremento en 25.72% de *PA* comparado con el tratamiento sin ultrasonido. (Fabiano *et al.* 2008) indica que cuando se aplica ultrasonido de potencia de baja frecuencia, las ondas ultrasónicas viajan a través del medio sólido, lo que provoca una serie rápida de compresiones y expansiones alternativas, de forma similar a una esponja cuando se exprime y se libera repetidamente (efecto de esponja)

En la aplicación realizada, puede observarse en primera instancia un gran desprendimiento de semillas (Imagen 24), resultado de la geometría empleada y el movimiento estructural causado por el ultrasonido, y si bien no influencia en los parámetros de calidad fisicoquímicos del snack, puede significar el incumplimiento a requisitos impuestos por posibles consumidores. Además, la misma ya no puede reutilizarse con finalidades de cultivo, pues debido al tratamiento térmico al cual es sometido pierde características para el cultivo.



Imagen 24. Semillas liberadas del fruto durante la operación de osmodeshidratación.

Fuente. Este estudio

6.1.2.4 Tiempo.

Con base en la experimentación llevada a cabo por (Shafiq *et al.* 2017), se concluyó que el tiempo de inmersión junto con la temperatura resultan en los factores con mayor significancia en el efecto de la pérdida de agua, ganancia de sólidos y pérdida de peso durante la deshidratación osmótica.

Apoyando la idea, la experimentación realizada demostró que durante los primeros minutos del proceso es en donde se observa la mayor acción del mecanismo osmótico, sin embargo el uso de tiempos prolongados en el proceso, no implica que se obtengan mejores resultados en variables como la *PA* o *GS*, siendo más fácil alcanzar el equilibrio del sistema en variables como *PA* o *PP*, pero conlleva más tiempo en *GS*.

6.1.2.5 Relación muestra – solución osmótica.

Una mayor relación masa: solución favorece una mayor deshidratación y ganancia de sólidos. La relación másica fruta/solución empleada es generalmente baja a escala industrial, entre 1:3 y 1:4, debido principalmente a los altos volúmenes procesados y los elevados costos de producción (Cazar, 2015).

Ahora bien, por medio de experimentación se comprobó que relaciones más grandes (1:1, 1:2)

no permiten que la totalidad de la uchuva empleada en la deshidratación pueda sumergirse desde un principio (Imagen 25), debido al volumen que ocupa en el baño, además provocan que la excesiva pérdida de agua proveniente de la uchuva generen que el medio se disuelva mucho más rápido y que la concentración empleada no se mantenga a lo largo del proceso, afectando las mediciones y resultados esperados para el producto.



Imagen 25. Baño ultrasónico en operación de deshidratación osmótica con exceso de muestra de uchuva.

Fuente. Este estudio

Por otra parte a mayor cantidad de muestra en el baño ultrasónico se disminuye el espacio entre muestras (rodajas), de tal forma que al quedar tan juntas no pueden recibir la misma carga ultrasónica que si estuviesen más distanciadas.

6.1.2.6 Temperatura.

Bajo experimentación se demostró que la *PA* y *GS* fue más notable a altas temperaturas (60°C), este efecto ocurre debido a que el aumento en la temperatura promueve una reducción en la viscosidad de la solución osmótica y por ende un incremento en la difusividad efectiva (Luchese *et al.* 2015). Por lo que Park *et al.* (2002) menciona que, para altas temperaturas, la variación de la concentración no afecta las variables de respuesta como *PA* o *GS*.

En general, al elevar la temperatura se estimula el movimiento molecular y aumenta la

permeabilidad celular, de manera que se produce un aumento de la velocidad de transferencia de materia, con lo que la pérdida de agua y la ganancia de solutos son mayores. Sin embargo, la influencia de la temperatura no es uniforme en cualquier intervalo, a valores de temperatura comprendidos entre 40-50°C se produce un descenso de viscosidad en la disolución de sacarosa y la transferencia de masa es más acusada. Además, cuando la temperatura de la solución alcanza los 60 °C, se destruyen las paredes celulares.

No obstante, por encima de estas temperaturas la desnaturalización de las membranas celulares y la pérdida de la actividad biológica celular hacen el transporte mucho más rápido, lo que tiene un efecto negativo sobre la estructura del tejido de la fruta y por tanto sobre su textura, así como sobre el sabor y aroma el pardeamiento enzimático (Ceballos. G, 2005; Cazar, 2015), del mismo modo la pérdida de compuestos de interés como los carotenoides, los cuales según (Luchese, C., *et al.* 2015) presentan una pérdida de más del 50%. Pérdida que, de una manera cualitativa, puede observarse en la Imagen 10 donde se aprecia que la coloración de la solución osmótica se torna de color anaranjado o caramelo, debido a la caramelización del azúcar y la ganancia de compuesto carotenos.

Ahora bien, en experimentación se observó que la temperatura fue un parámetro difícil de permanecer constante y a bajos niveles, pues el mismo incrementaba con el tiempo, pues lo reportado por (Luchese *et al.* 2014) indica que es debido a que el ultrasonido provoca la agitación de las partículas internas, cuya energía cinética se ve transformada en energía térmica, calentando de esta forma la muestra y el medio. Este motivo provocó que el pre tratamiento de deshidratación osmótica se llevara a cabo a temperaturas superiores a temperatura ambiente.

6.1.2.7 Modelamiento del fenómeno de deshidratación osmótica.

El modelamiento de sistemas proporciona el entendimiento del comportamiento de determinado material bajo condiciones establecidas, con la finalidad de facilitar estudios o

reproducciones del mismo con diversos fines.

El proceso de *DO* se puede evaluar en términos de parámetros cinéticos mediante el empleo de distintos modelos empíricos. A continuación se expondrá el uso de algunos de dichos modelos sobre los parámetros de pérdida de agua (*PA*) y ganancia de sólidos (*GS*).

6.1.2.7.1. Modelamiento de la pérdida de agua.

La obtención de una buena *PA* no solamente garantiza una mayor vida útil de la fruta al prolongar su conservación, sino que además la incorporación de azúcares le brinda cualidades sensoriales mejoradas al producto.

En la Figuras 10 se aprecia la clásica conducta de deshidratación de un alimento a las temperaturas trabajadas, que sin llegar a ser tan pronunciadas como las vistas en deshidratación por secado convectivo con aire, muestran una disminución pronunciada al inicio del proceso, la cual se va ralentizando hasta alcanzar un estado semiestacionario. Se puede observar que a mayor temperatura, la pérdida inicial de humedad es más acelerada. Los datos completos se presentan en el Anexo 2.

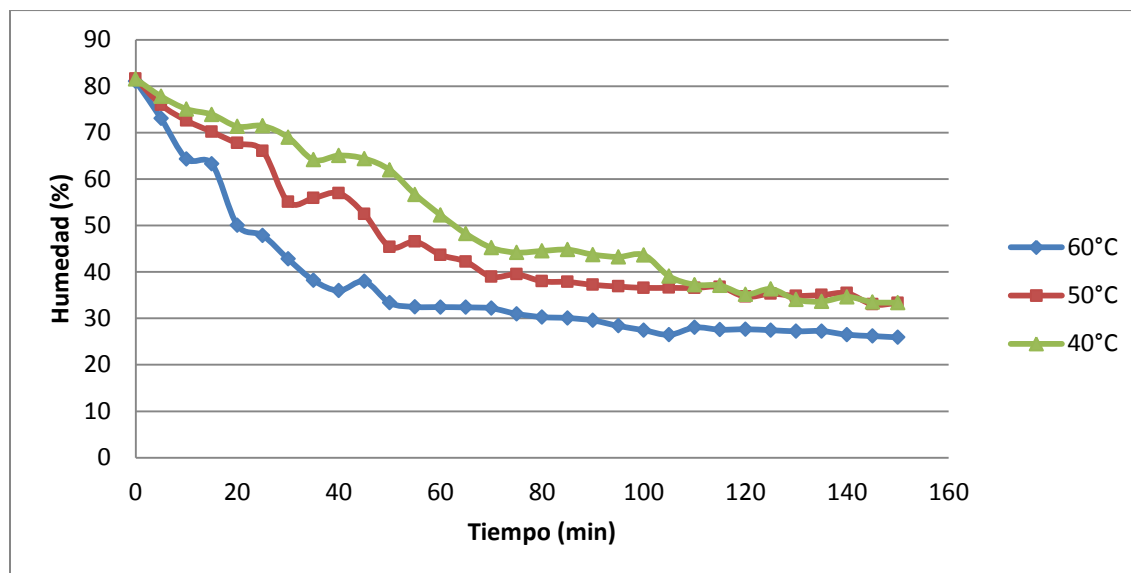


Figura 10. Evolución de la humedad de la uchuva en tratamiento de osmodeshidratación asistida por ultrasonido a 60 - 50 - 40°C

Fuente. Este estudio

El empleo de una geometría de rodajas de uchuva, con una gran área efectiva para mejorar la transferencia de masa, además del uso del ultrasonidos, permitió lograr humedades finales de $33,37\% \pm 0,75$ a 40°C, $33,31\% \pm 0,88$ a 50°C y $25,91\% \pm 1,05$ a 60°C. Solo se observó diferencia significativa con temperatura de 60°C (Anexo 5). Los tiempos de proceso fueron suficientes para alcanzar humedad final cercana al equilibrio.

Estudios realizados por Cazar, (2015) y Park *et al.* (2002) demuestran que altas temperaturas facilitan una deshidratación más efectiva y rápida, además, Ayala A. *et al.* (2010) mencionan que a una mayor concentración se requiere mayor temperatura para disminuir la viscosidad del medio y mejorar la transferencia de agua.

Usando la ecuación 3 y con los datos de humedad, se elaboraron graficas en las cuales se muestra la evolución de la pérdida de agua (PA), en porcentaje, cuyo comportamiento a las diferentes temperaturas puede apreciarse en la Figura 11 (los datos se presentan en el Anexo 3).

En dichas gráficas, de manera coherente al comportamiento presentado por los datos de contenido de humedad, se puede apreciar que entre mayor sea la temperatura de proceso, se obtiene un comportamiento de carácter exponencial durante los primeros 60 min, para luego presentar un estado de pseudo equilibrio prolongado, el cual es un comportamiento típico en la *DO*. Mientras que si la temperatura es baja, el comportamiento exponencial no es tan pronunciado ni tampoco se observa un estado de *PA* que tienda al equilibrio.

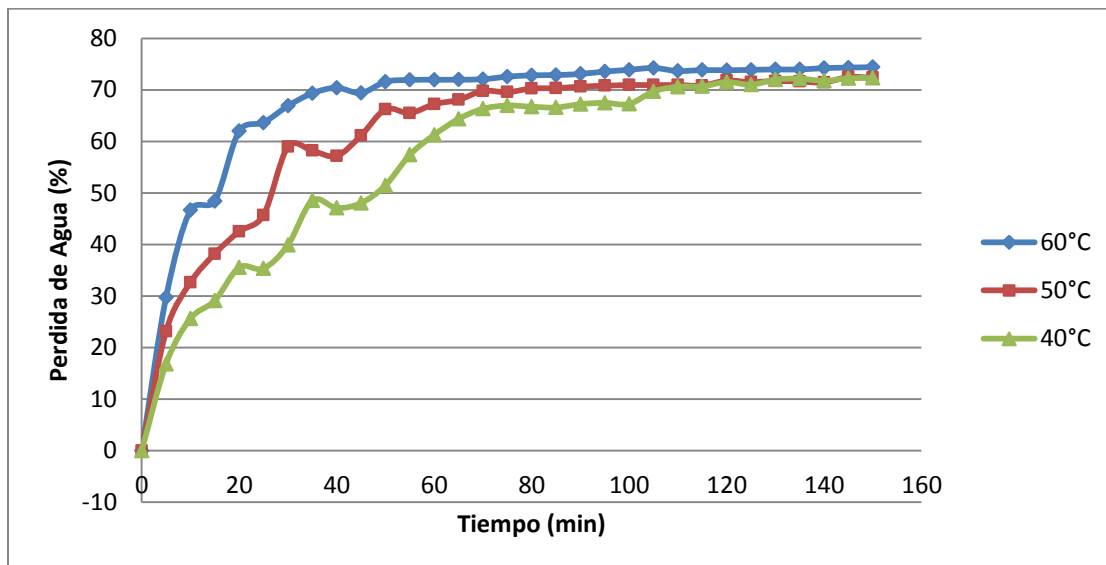


Figura 11. Evolución de pérdida de agua (PA) de uchuva en tratamiento de osmodeshidratación asistida por ultrasonido a 60 - 50 - 40°C

Fuente. Este estudio

Al usar una geometría de rodaja, la pérdida de humedad empieza a reflejarse desde el mismo momento del corte, por pérdida espontánea de agua y secado con el aire del ambiente. Se logró establecer que estas pérdidas de humedad alcanzaban 17% en el lapso de 1 hora, tiempo que tomaba preparar la muestra para llevar a cabo la osmodeshidratación. Este efecto fue considerado para corrección de los cálculos realizados con la Ecuación 3.

Si se analizan los primeros 20 a 30 minutos de las tres gráficas de *PA* se puede apreciar una pérdida de agua de 35% - 50%, según la temperatura. El interior de la fruta posee un mayor

potencial químico del agua y menor potencial químico de solutos, que la solución en el exterior. Estas diferencias impulsan el movimiento de solutos hacia adentro y de agua hacia afuera de la fruta. A medida que transcurre el tiempo del proceso, la entrada y salida de sustancias hace que las diferencias en potenciales químicos se reduzcan, haciendo que el sistema se aproxime cada vez más al equilibrio, con lo que la entrada y salida de materia disminuye paulatinamente hasta acercarse a cero, puesto que se reduce la fuerza motriz que impulsa la transferencia de masa (Arias *et al.* 2017).

El alimento inicialmente tiene una alta humedad y la superficie permanece húmeda (película continua de agua), pues la velocidad de desplazamiento del agua dentro del alimento es suficiente para mantener la superficie mojada. Sin embargo, mientras continúa el secado, llega un momento en que el movimiento del agua no es capaz de mantener una película continua de agua en la superficie y la velocidad de secado disminuye (período decreciente) (Marzullo, C. 2010).

Al comparar los resultados a las 3 condiciones de temperatura evaluadas, se puede observar que la *PA* final es similar a 40 y 50 °C y significativamente mayor a 60 °C (Tabla 8). Esto indicaría que si el tiempo es un factor crítico, se puede optar por un proceso a mayor temperatura, teniendo en cuenta que al extender el periodo de tiempo se requiere de mayor energía y, por ende, mayores costos mientras que si se desea maximizar la pérdida de agua, ahorrando tiempo, la mejor alternativa la presenta aquel proceso con temperatura más alta trabajada (60 °C). Trabajar con temperaturas aún más altas no sería recomendable, debido a que iniciarían altas tasas de evaporación del medio y degradación de la solución hipertónica causada por la caramelización de la sacarosa presente.

Los valores finales de *PA* obtenidos (Tabla 8) fueron similares a los reportados por Maldonado *et al.* (2008) en yacón (*Smallanthus sonchifolius*), y más grandes a los encontrados por Luchese *et al.* (2015) en *Physalis*, pues este autor trabajó con frutos enteros.

Tabla 8.

Valores finales ($t = 150$ min) de pérdida de agua (PA) en *P. peruviana* deshidratada por UDO a diferentes temperaturas.

Parámetro	Temperatura		
	40°C	50°C	60°C
PA (%)	72.29 ± 1,86 ^a	72.35 ± 1,23 ^a	74.40 ± 1,76 ^b

Valores con diferente letra denotan diferencias significativas ($P < 0.05$). (Anexo 6)

La cinética del proceso de *DO* está determinada por la aproximación al equilibrio, por la presión osmótica diferencial inicial entre el alimento y el agente osmótico y por las velocidades de difusión del agua y del soluto y éstas velocidades de difusión están controladas usualmente por el transporte de humedad en el producto y por la estructura de la fruta (porosidad) (Azuara *et al.* 2002). Por tal razón para simplificar el tratamiento del fenómeno se suele interpretar la información experimental mediante modelos empíricos y semi empíricos los cuáles son válidos solamente para reproducir condiciones semejantes a las experiencias de las que se obtuvieron los datos.

La metodología que se utiliza generalmente es la correlación directa de parámetros cinéticos, que en este caso son *PA* y *GS*, con algunas variables del proceso o el planteamiento de un ajuste polinómico o empírico (Della Rocca, 2010; Arias *et al.* 2017).

Las figuras 12 a 16 presentan el ajuste de distintos modelos a los datos experimentales obtenidos (Figuras individuales en Anexo 4). Todos los modelos, con excepción del modelo de Magge, presentan una buena aproximación al comportamiento de los datos experimentales. Se debe tener en cuenta que el modelo de Magge suele emplearse en la descripción y ajuste de comportamiento de deshidratación en tiempos cortos (Ochoa and Ayala, 2005) y quizás por ello no mostró un buen ajuste.

Para determinar la bondad de ajuste de los modelos se calcularon los valores de R^2 ajustado y el error estándar de predicción (SEP), los cuales se presentan en la Tabla 9.

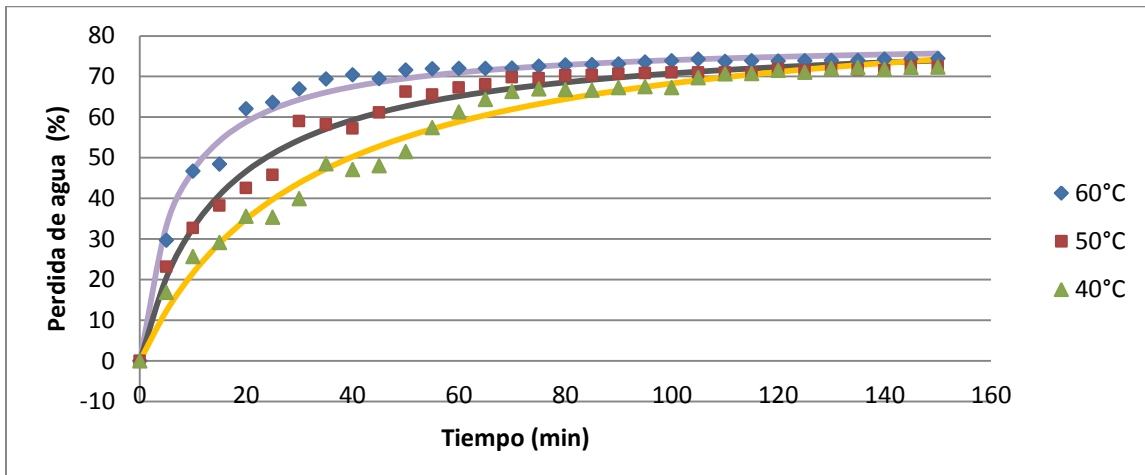


Figura 12. Ajuste del modelo de Peleg a las cinéticas de Pérdida de agua (PA) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas

Fuente. Este estudio

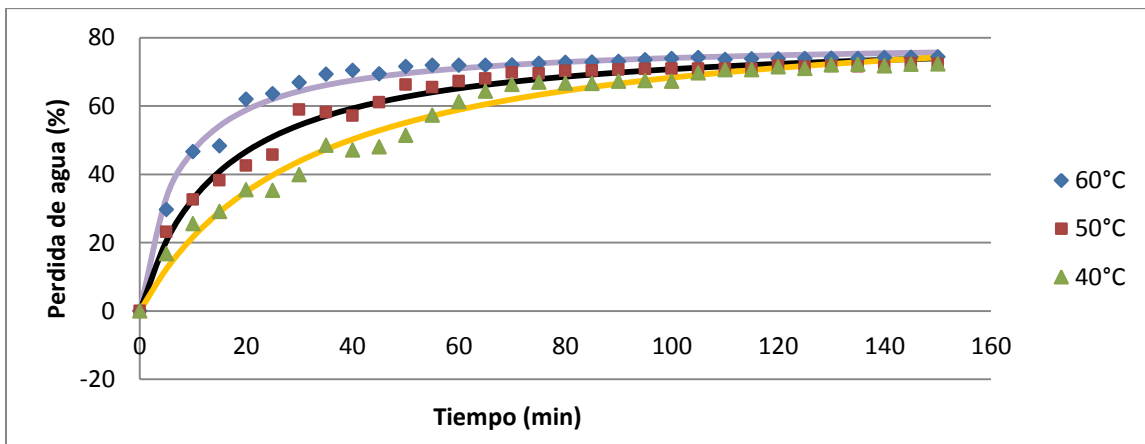


Figura 13. Ajuste del modelo de Azuara a las cinéticas de Pérdida de agua (PA) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas

Fuente. Este estudio

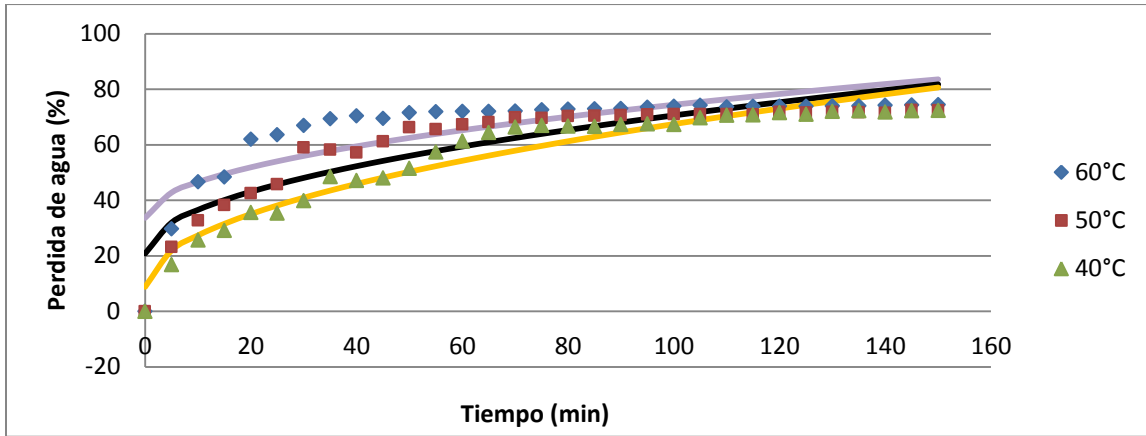


Figura 14. Ajuste del modelo de Magge a las cinéticas de PA para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas

Fuente. Este estudio

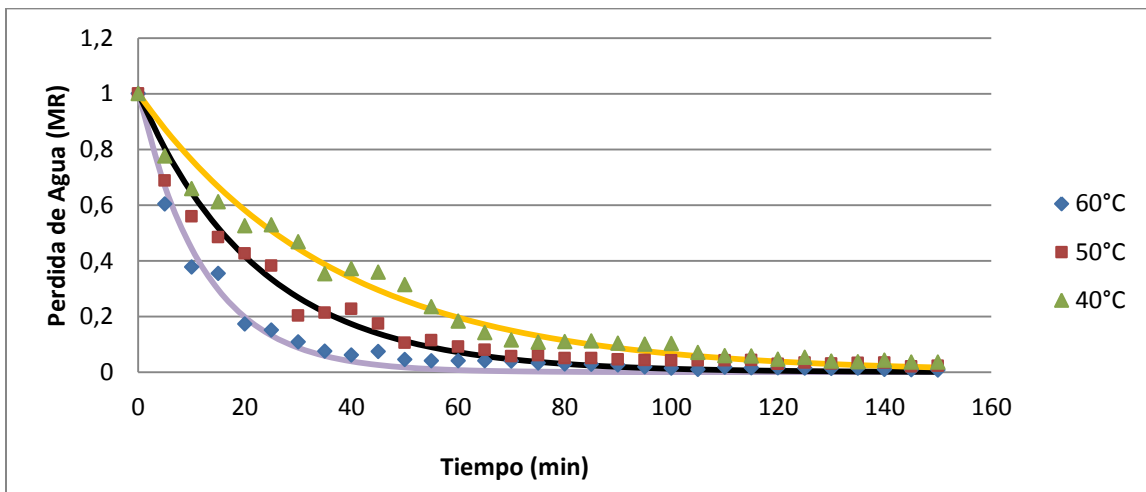


Figura 15. Ajuste del modelo de Weibull a las cinéticas de Pérdida de agua (PA) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas

Fuente. Este estudio

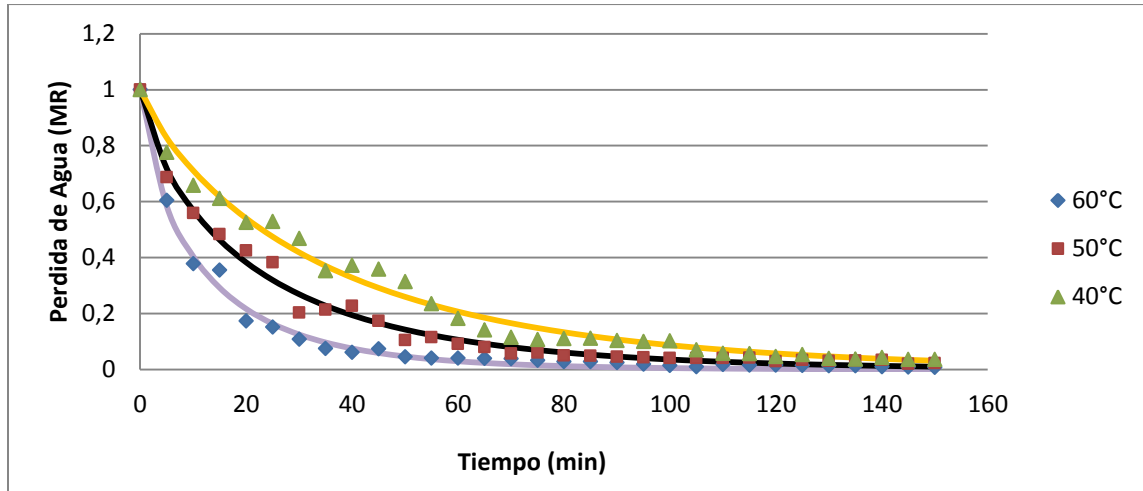


Figura 16. Ajuste del modelo de Page a las cinéticas de Pérdida de agua (PA) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas

Fuente. Este estudio

Como puede observarse la Figura 18 y 19 correspondiente al modelo de Weibull y Page respectivamente, presentan una escala y representación gráfica distinta a los otros modelos, esto debido a que en su cálculo se hace empleo del término MR, mediante el cual se vuelve al parámetro cinético en cuestión (PA en este caso) en términos adimensionales, pues para la aplicación del modelo se requiere su cambio (ver Ec.8).

$$MR = \frac{M_t - M_\infty}{M_i - M_\infty}$$

Para determinar la bondad de ajuste de los modelos se calcularon los valores de R^2 ajustado y el error estándar de predicción (SEP), los cuales se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9.

Bondad de Ajuste de los modelos cinéticos empleados para predecir PA a las condiciones evaluadas.

Parámetro (%)	Modelos									
	Peleg		Azuara		Magge		Weibull		Page	
	R^2_{adj}	SEP(%)	R^2_{adj}	SEP(%)	R^2_{adj}	SEP(%)	R^2_{adj}	SEP(%)	R^2_{adj}	SEP(%)
$PA_{40^\circ C}$	0,98	2,52	0,98	2,52	0,93	4,78	0,97	0,03	0,98	0,03
$PA_{50^\circ C}$	0,98	2,15	0,98	2,15	0,81	7,19	0,97	0,03	0,98	0,02
$PA_{60^\circ C}$	0,98	1,86	0,98	1,86	0,63	9,27	0,97	0,02	0,99	0,01

Fuente. Este estudio

A pesar de que el modelo de Page presentó un mejor R^2 por pocas décimas, Moreira y Murr, (2003), recomienda el uso de Peleg para la descripción de datos de PA, debido a su versatilidad, facilidad y uso directo de los datos en sus unidades para el cálculo de SEP, sin la necesidad de emplear el MR como con el modelo de Page, lo cual implicaría un cálculo del SEP de manera adimensional y como puede observarse en la Figura19, al usar valores cuyo nivel máximo es 1, su SEP aparente mente estará más cercano a cero.

Por otra parte, al comparar los valores de los R^2 y de SEP se obtiene que los modelos de Peleg y Azuara mostraron el mismo ajuste. Esto implica que cualquiera de los dos modelos puede emplearse para predecir valores de PA en condiciones similares a las experimentales utilizadas.

Se debe tener en consideración que el modelo de Peleg, por ser un modelo empírico no permite profundizar en el entendimiento fenomenológico del proceso, mientras que el modelo de Azuara si lo hace, lo cual es de gran utilidad cuando se quieren extrapolar resultados y escalar procesos. De todas formas el excelente ajuste obtenido con el modelo de Peleg, permite apreciar la aplicación de este modelo en este tipo de procesos y ofrece información valiosa para quien

pretenda utilizar las condiciones establecidas en este trabajo, para desarrollos futuros.

En cuanto a los modelos de Page y Weibull cabe aclarar que al comparar sus valores de R^2 y SEP con los de los demás modelos, no puede hacerse de manera directa, pues estos modelos hacen uso de variables adimensionales (Ochoa and Ayala, 2005), lo que provoca que las gráficas que representan al modelo se construyan y analicen de forma distinta, y pesar de que los valores de R^2 no se afectan, la variación de SEP se da de manera adimensional, por este motivo es necesario tener precaución al comparar diversos modelos.

La aplicación de ultrasonidos induce la formación de canales microscópicos en la estructura de la fruta, pero no produce un rompimiento del tejido. Fernandes *et al.* (2007) explican que los canales microscópicos se forman por el alargamiento y el aplanamiento de las células en algunas regiones de la muestra, incrementando la difusividad del agua. Autores como Nowacka *et al.* (2014) afirman que la alteración de la estructura celular causada por la deshidratación osmótica es más grande que cuando se aplica un largo periodo con tratamiento de ultrasonido.

Luchese *et al.* (2015) observó un cambio en la microestructura de *Physalis* y consecuentemente un incremento en la permeabilidad de la piel, que facilitó el transporte de agua desde la fruta hacia la solución osmótica, como puede observarse en la Imagen 26.

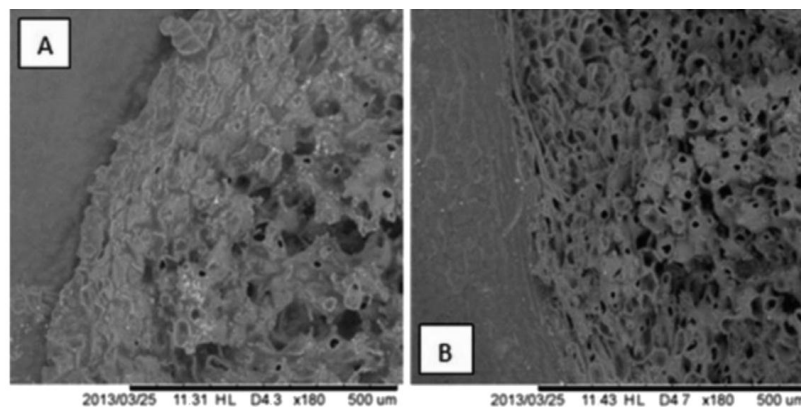


Imagen 26 Micrografía SEM de una región de pedúnculo de sección transversal de *Physalis* fresco (A) y después de 10 h de deshidratación osmótica a temperatura de 70 ° C y 70°Bx

A continuación se muestran los valores de los coeficientes obtenidos y propios de cada modelo para cada condición experimental.

Tabla 10. Valores de las constantes de los distintos modelos para PA en las condiciones trabajadas.

Modelos		Temperatura		
Modelo	Constante	40°C	50°C	60°C
Peleg	k_1	0,350507	0,182443	0,0873859
	k_2	0,0111363	0,0123054	0,0126328
Azulara	W_∞	89,7955	81,2672	79,1646
	s_1	0,0317737	0,0674369	0,144468
Page	n	1,16833	0,907895	0,762664
	k	0,0051237	0,0239574	0,0675026
Weibull	b	92,9017	61,3621	36
Magge	a	8,83766	20,8424	33,6827
	k	5,86161	4,97335	4,07309

Fuente. Este estudio

Para el cálculo del coeficiente de difusión efectivo (D_{eff}) se aplicó la Ley de Fick en una placa plana para tiempos largos, utilizando la Ec.18, se tuvo en cuenta la geometría de las muestras de uchuva (rodajas con configuración de disco, donde Largo>>>espesor).

Este supone que la concentración de la solución permanece constante y que la resistencia externa es despreciable frente a la resistencia interna. Debido a estas restricciones, los coeficientes de transferencia de masa obtenidos son coeficientes de difusión aparente o coeficientes de pseudo-difusión, que a menudo dependen de las condiciones de la materia prima y del tipo de tratamiento (Maldonado, 2008).

La $Deff$ del agua obtuvo un comportamiento de orden 1, su determinación grafica para cada temperatura tratada se encuentran en el Anexo 7.

Como puede observarse en la Tabla 11 los valores de $Deff$ aumentaron significativamente con la temperatura ($p > 0.05$), de manera similar a lo encontrado por Park *et al.* (2002). Este efecto se asoció con la formación de canales microscópicos debido a la pérdida de adhesión celular que producía grandes espacios entre células y un aumento de la agitación molecular, lo que aumentaba las velocidades de difusión al aumentar la temperatura.

Tabla 11.

Difusividad efectiva ($Deff$) de agua en *Physalis peruviana* a las condiciones evaluadas.

Parámetro	Temperatura					
	40°C		50°C		60°C	
	$Deff$ ($\times 10^{-8}$)	R^2	$Deff$ ($\times 10^{-8}$)	R^2	$Deff$ ($\times 10^{-8}$)	R^2
Agua	1,8844 ^a	0,977	2,0902 ^b	0,9275	2,4556 ^c	0,8915

Los valores en filas con letra diferente denotan diferencias significativas ($P < 0.05$).

Los valores encontrados para la difusividad del agua resultaron mayores a los reportados por Marzullo, C. (2010) en zanahoria con secado convectivo (aire caliente), que fueron desde $4,66E^{-11}$ hasta $1,95E^{-09}$ m^2/s^2 . Sin embargo, se debe tener en cuenta que la comparación de las difusividades informadas en la literatura es difícil debido a los diferentes métodos de estimación y modelos empleados, junto con la variación en la composición de los alimentos y su estructura física. Estos valores de $Deff$ pertenecen al rango de 10^{-12} y 10^{-8} m^2/s correspondientes a alimentos o sistemas alimentarios (Puente *et al.* 2013).

Por último, a partir de los datos obtenidos de difusividad en los tres tratamientos evaluados, por medio de una relación tipo Arrhenius, los datos se graficaron y por medio del cálculo de su pendiente y uso en la Ec 20, (Anexo 7) se logró obtener la energía de activación del sistema.

Ea	11453,452 kJ /kmol
----	--------------------

Puede considerarse que esta es la cantidad de energía necesaria para que la difusión del agua en el sistema de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido evaluado pueda darse.

6.1.2.7.2. Modelamiento de la ganancia de sólidos.

La superficie de la fruta está cubierta por una película cerosa compuesta principalmente de terpenos de resina, los cuales representan una barrera contra la difusión (Puente *et al.* 2010; Restrepo *et al.* 2009), sin embargo gracias a los beneficios expuestos del ultrasonido, y la superficie de la pulpa expuesta, la ganancia de sólidos se pudo presentar en un buen porcentaje. En el presente trabajo se determinó en ensayos preliminares que una buena ganancia de azúcar permite obtener un producto final tras la fritura con un mejor balance entre dulce y acidez, razón por la cual se buscó maximizar la ganancia de sólidos en el proceso. El fundamento teórico de la transferencia de solutos sugiere que sigue un comportamiento similar al presentado por el agua, por dicha razón, lo explicado anteriormente presenta validez del mismo modo para los siguientes resultados.

Las Figura 17 representan el comportamiento de la ganancia de azúcares (medido como °Bx) a las 3 temperaturas evaluadas. El repentino aumento en °Bx puede ser explicado debido a dos fenómenos: el primero al aumento en la concentración de los sólidos naturales del fruto debido a la severa deshidratación del mismo; el segundo, por la ganancia de sólidos debido a la presión osmótica y la exposición de la pulpa al medio hipertónico.

El incremento en °Bx con el aumento de temperatura, es debido al efecto de ésta sobre la transferencia de masa, tanto la salida de agua, como la ganancia de azúcar.

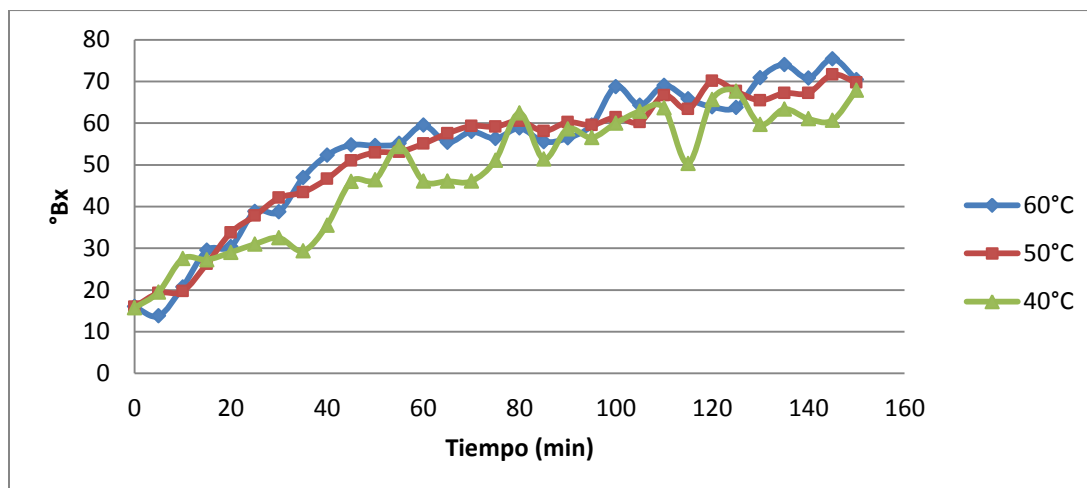


Figura 17. Evolución del contenido de sólidos solubles de la uchuva en tratamiento de osmodeshidratación asistida por ultrasonido a 60 - 50 - 40°C

Fuente. Este estudio

Se lograron concentración de sólidos solubles finales de 67,88% a 40°C, 69,72% a 50°C y 70,4% a 60°C. La temperatura aumentó la concentración de SST con diferencias significativa de 60 °C y 50 °C con respecto a la de 40°C.

La medición de los °Bx del fruto no proporcionan un parámetro de análisis debido a su variabilidad conforme la deshidratación de la uchuva provoca la concentración de los sólidos, por ellos, estos datos se analizaron con ayuda de la Ec.4 para de esta forma conocer la ganancia real de sólidos en la uchuva en el tiempo.

La ganancia de sólidos (*GS*) se determinó con ayuda de la ecuación 4, los resultados se presentan en la Figura21 y en la Tabla 12.

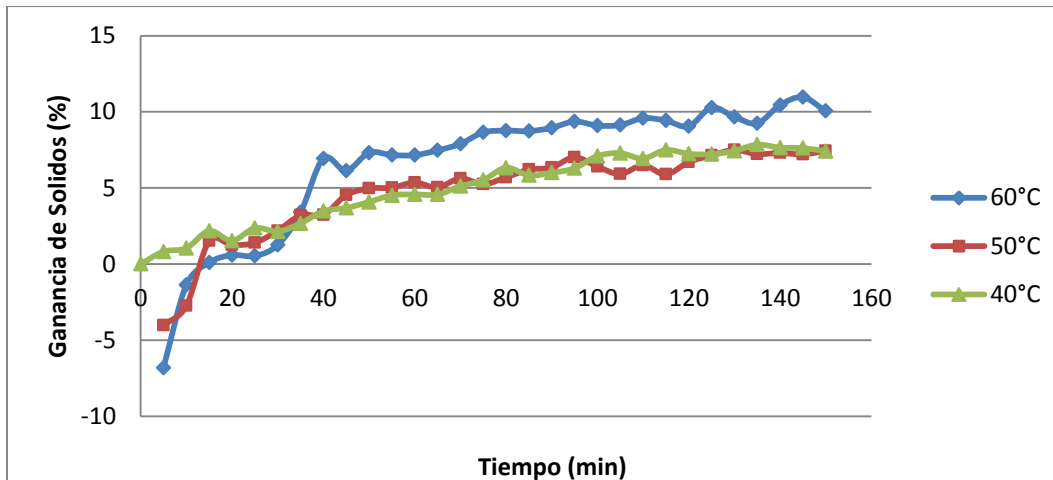


Figura 18. Evolución de la ganancia de sólidos (GS) de uchuva en tratamiento de osmodeshidratación asistida por ultrasonido a 60°C

Fuente. Este estudio

Los tratamientos efectuados a 50 y 60°C, durante los primeros 25 minutos, mostraron ganancia negativa, similar a lo observado por Vega *et al.* (2007). Si se relacionan el comportamiento de la temperaturas de 60°C y 50°C de la Figura14 con la Figura21 de GS, se puede deducir que las diferencias de presión osmótica, la geometría empleada, la temperatura y la creación de canales microscópicos por el uso del ultrasonido, ocasionan una deshidratación rápida, haciendo que las corrientes microscópicas de agua generadas eviten el ingreso de sólidos. Esto provoca un aumento de la concentración de los sólidos solubles propios del fruto, es decir el soluto iría en contra de la corriente del agua de la fruta así como lo indica Ceballos. G, (2005), datos que al ser procesados con la fórmula de GS, presenta ganancias negativas, cuando lo que realmente sucede es que existe una concentración de los sólidos más no una real ganancia.

El fin de esta etapa para estos dos tratamientos (60 y 50°C) se caracteriza por un periodo corto de equilibrio observado del minuto 15 al 25. Posteriormente para los tres tratamientos, desde el minuto 25 al 60, se observa un comportamiento exponencial para luego iniciar periodos tendientes al equilibrio, del mismo modo que con PA. Se observó una mayor ganancia a 60°C,

probablemente debido a la rápida acción de los mecanismos hidrodinámicos que provoca la ganancia inicial de la solución osmótica por capilaridad o por los cambios de presión.

Al final del proceso, así como lo reportan Arias *et al.* (2017) y Nowacka *et al.* (2014), tanto la entrada como la salida de material, virtualmente se detiene porque el sistema se aproxima al equilibrio y por ende los parámetros cinéticos se mantienen en torno a un cierto valor. Al finalizar el proceso se lograron las ganancias de sólidos reportadas en la Tabla 12.

Tabla 12.

Valores finales ($t = 150$ min) de ganancia de sólidos (GS) en *P. peruviana* deshidratada por DOU a diferentes temperaturas.

Parametro	Temperatura		
	40°C	50°C	60°C
GS (%)	7,41 ± 1,34 ^a	7,43 ± 0,83 ^a	10,04 ± 2,8 ^b

Los valores en filas con letra diferente denotan diferencias significativas ($P < 0.05$).

Las magnitudes de GS son menores que las de PA debido a la diferencia de tamaño molecular entre agua y el sólido y la selectividad de la membrana. Los valores de GS obtenidos fueron similares a los informados por Maldonado *et al.* (2008) en yacón, superiores a los obtenidos por Nowacka *et al.* (2014) en Kiwi y menores a la GS reportada por Shafiq *et al.* (2017) en híbrido de mandarina Kinnow.

A continuación se presenta la representación gráfica del ajuste de los diversos modelos a los datos experimentales de GS (Figura 19 a 23), para ello se empleó los mismos modelos empíricos observados en el apartado 6.2.7.1 y utilizados para describir la PA de la uchuva, que para el caso de GS, tan solo requieren del cambio de unidades a aquellas que representen el comportamiento en la ganancia de sólidos.

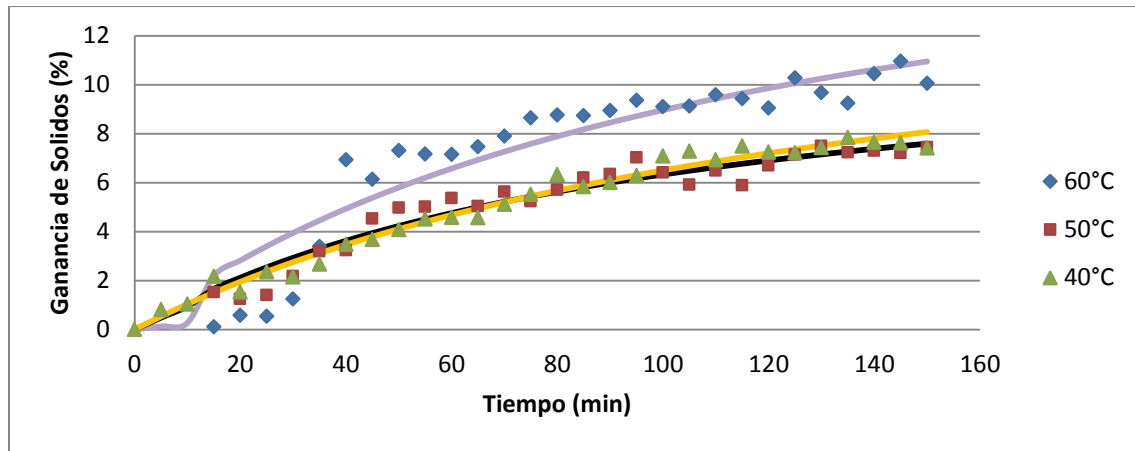


Figura 19. Modelamiento de Peleg para las cinéticas de Ganancia de sólidos (GS) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas

Fuente. Este estudio

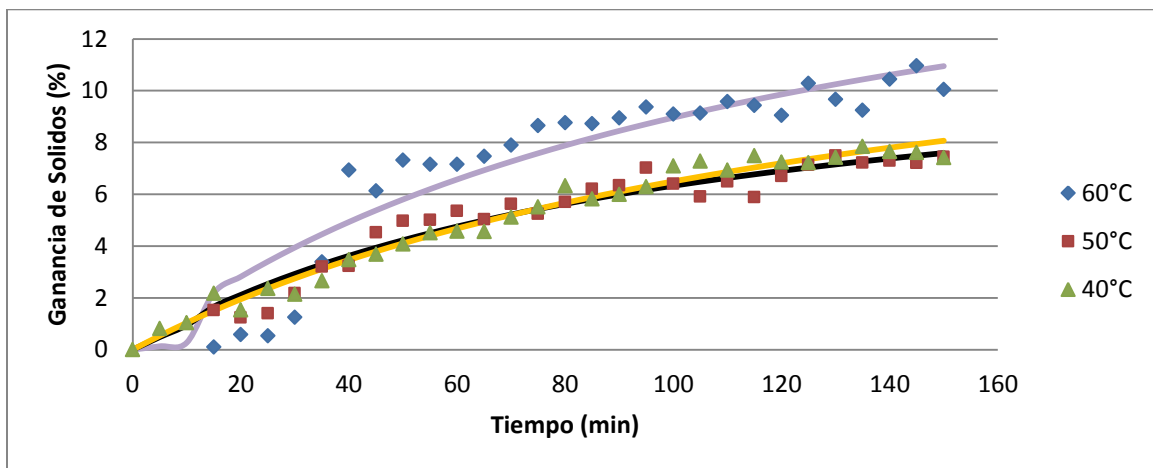


Figura 20. Modelamiento de Azuara para las cinéticas de Ganancia de sólidos (GS) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas

Fuente. Este estudio

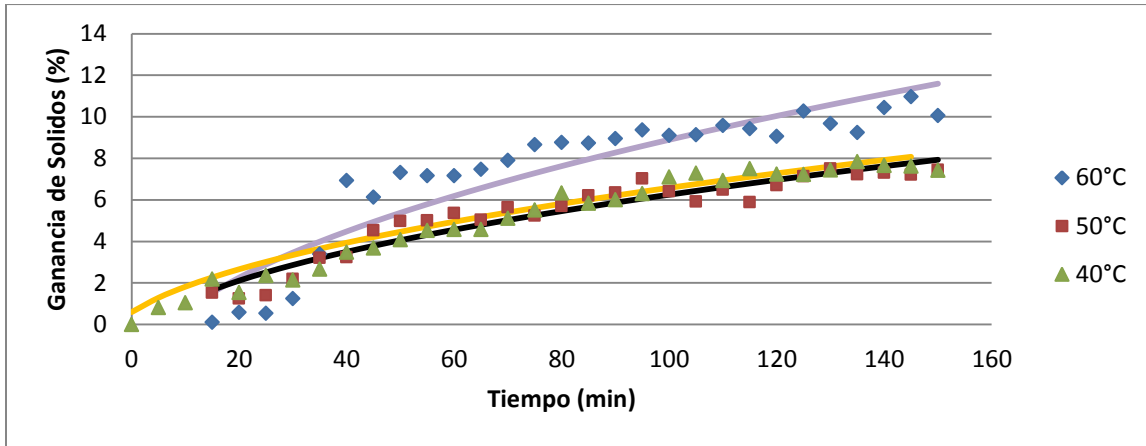


Figura 21. Modelamiento de Magge para las cinéticas de Ganancia de solidos (GS) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas.

Fuente. Este estudio

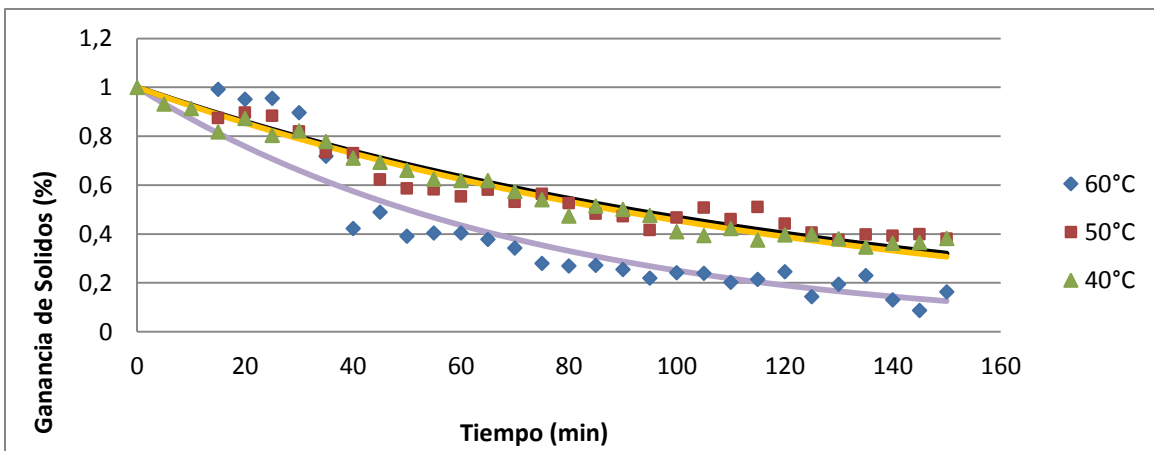


Figura 22. Modelamiento de Weibull para las cinéticas de Ganancia de solidos (GS) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas.

Fuente. Este estudio

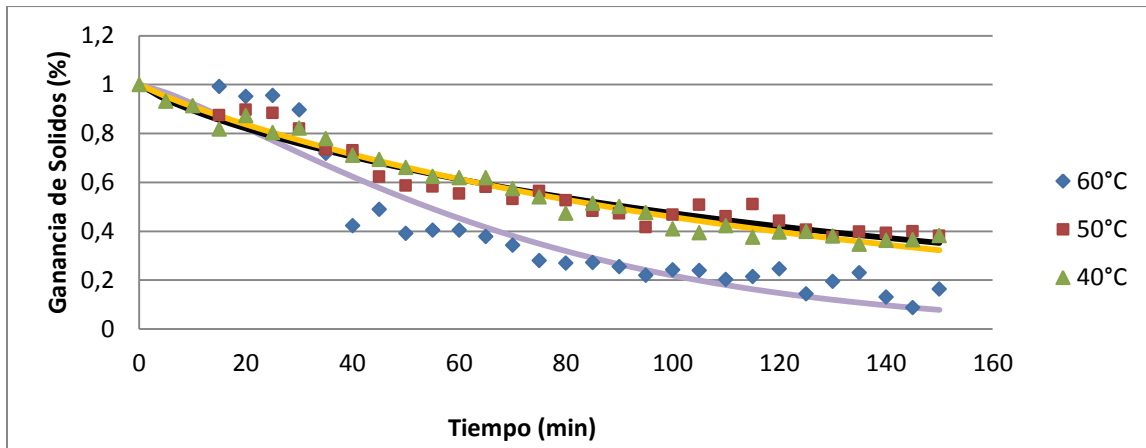


Figura 23. Modelamiento de Page para las cinéticas de GS para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas.

Fuente. Este estudio

El tratamiento llevado a 60°C muestra un periodo exponencial que evidencia un comportamiento brusco, por esta razón los modelos empleados obtiene un menor R^2 para este tratamiento mientras que a temperaturas de 40°C y 50°C presento una tendencia casi lineal mientras que a tienden a comportarse de un modo muy similar a los datos proporcionados para su cálculo, esto provoca que no pueda seleccionarse el mejor modelo a partir de la observación de las gráficas obtenidas, por lo que se hace necesario analizar los valores obtenidos para R^2 y SEP, consignados en la Tabla 13.

Tabla 13.

Bondad de ajuste de los modelos cinéticos usados para predecir la GS en las condiciones evaluadas

Parámetro (%)	Modelos									
	Peleg		Azulara		Magge		Weibull		Page	
	R^2_{adj}	SEP(%)	R^2_{adj}	SEP(%)	R^2_{adj}	SEP(%)	R^2_{adj}	SEP(%)	R^2_{adj}	SEP(%)
$SG_{40^\circ C}$	0,9748	0,3449	0,9785	0,3391	0,9357	0,4474	0,9756	0,0306	0,9784	0,0283
$SG_{50^\circ C}$	0,925	0,5062	0,925	0,5062	0,8223	0,5736	0,8885	0,0524	0,9133	0,0453
$SG_{60^\circ C}$	0,84	1,2344	0,84	1,2344	0,8301	1,2721	0,854	0,1002	0,8704	0,0925

Fuente. Este estudio

Como se puede apreciar en la Tabla 13, modelos como el de Peleg y Azulara presentan un excelente ajuste por lo que estos podrían utilizarse para eventuales futuros procesos en los que haga falta determinar la ganancia de sólidos a un punto de tiempo determinado.

El bajo ajuste obtenido con el modelo Magge en PA, se debió a que este modelo solo se apropió para tiempos cortos, sin embargo, a pesar de que fue aplicado para un tiempo largo, gracias al comportamiento de los datos, el mismo puede emplearse de una forma apropiada para los datos de GS. Con respecto al modelo de Page se tiene que al presentar un R^2 levemente mayor al resto indicaría claramente ser la mejor opción para el modelamiento de ganancia de sólidos. Moreira y Murr (2003) también obtuvieron que este modelo se ajusta de mejor manera a los datos de GS, además de que recomiendan su uso para este tipo de transferencia.

Los coeficientes obtenidos para cada modelo y cada condición se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14.**Valores de las constantes de los modelos para GS en las condiciones trabajadas.**

Modelos		Temperatura		
Modelo	Constante	40°C	50°C	60°C
Peleg	k_1	8,97817	7,86185	6,07574
	k_2	0,0640767	0,0793076	0,0508234
Azuara	W_∞	15,6081	12,6114	19,6762
	s_1	0,00713548	0,0100839	0,00836453
Page	n	0,910195	0,814612	0,833442
	k	0,0161866	0,0315171	0,0305416
Weibull	b	91,6828	70,3494	66,7577
Magge	a	-1,07476	-1,2328	-3,11514
	k	0,747013	0,748152	1,20097

Fuente. Este estudio

El procedimiento efectuado para el cálculo de la difusividad fue el presentado en la metodología en el numeral 5.6.1, de la misma manera que se aplicó para PA donde se tuvo en cuenta la geometría de las muestras de uchuva como placas, donde Largo >>> espesor. Se aplicó la Ley de Fick en una placa plana para tiempos largos (Anexo 10). Así se obtuvo los siguientes valores de difusividad para sólidos.

Tabla 15.***Difusividad efectiva ($Deff$) de sólidos en *Physalis peruviana* a las condiciones evaluadas.***

Parámetro	Temperatura					
	40°C		50°C		60°C	
	$Deff$ ($\times 10^{-8}$)	R^2	$Deff$ ($\times 10^{-8}$)	R^2	$Deff$ ($\times 10^{-8}$)	R^2
Solidos	1,6148 ^a	0,8501	1,9406 ^b	0,9418	2,2579 ^c	0,8851

Valores en las filas con diferente letra denotan diferencias significativas ($P < 0,05$).

La difusividad calculada para solidos obtuvo un comportamiento de orden 1. Debe tenerse en cuenta, que del mismo modo que con el caso de *PA*, la construcción de la gráfica y los cálculos, para el caso de *GS*, se hicieron con base en los datos de °Bx y no con los calculados para *GS* a cada tiempo.

Ochoa y Ayala, (2005) mencionan que el agua puede difundirse más fácilmente que los solutos a través de la membrana celular siendo el coeficiente de difusión del agua de 10 a 100 veces mayor que el de los azúcares (glucosa, sacarosa, fructosa, etc.) en un rango de temperaturas entre 45 y 70 °C. No obstante, esta gran diferencia no se obtuvo para la uchuva, esto se adjudica al corte empleado, el cual no solamente presenta favorece la transferencia de masa, sino que además al ser una rodaja tan delgada la resistencia de salida y entrada de masa a la misma es muy baja, aun mas cuando se presencia un aumento en la temperatura, el cual según Goula, (2017), causa una lisis celular, lo que conduce a una disminución de la limitación y selectividad de la transferencia de masa de la membrana

Fabiano *et al.* (2008) reportan que una baja concentración de fructosa y glucosa en la solución osmótica contribuye a la pérdida rápida de azúcares al comienzo del pre tratamiento. Las moléculas grandes de sacarosa tienen una difusividad menor y se difunden a través de la fruta solo cuando se aplica altas concentraciones (70°Brix), además Rastogi and Raghavarao, (1997)

confirman que el uso de solutos de alto peso molecular favorece la pérdida de agua a expensas de la ganancia de sólidos.

Usando los valores de difusividad calculados antes se determinó la energía de activación necesaria para que la transferencia de sólidos pueda darse en la matriz de la uchuva (Anexo 10), del mismo modo que propuso Puentes *et al.* (2013).

Ea	14548,6642 kJ/kmol
----	--------------------

El modelo difusional Fick fue apropiado para determinar los valores efectivos de difusividad (D_{eff}) de líquidos y sólidos en la matriz de *Physalis peruviana*, Los valores de D_{eff} obtenidos fueron mayores en comparación con los informados por Moreira y Murr (2003), Park *et al.* (2002), Luchese *et al.* (2015) y Vega *et al.* (2007) y Saberian *et al.* (2014) en tomates Cherry, peras, *Physalis peruviana*, papaya y loquat, respectivamente, y son similares a los de Arias *et al.* (2017) y Gómez (2014) en mango y melón, respectivamente.

6.1.2.7.3. Pérdida de peso.

La pérdida de peso (PP) se ve directamente relacionada con la pérdida de agua del producto, normalmente, las velocidades de flujo de agua son altas durante las primeras 2 horas y la mayor cantidad de sólidos ganados ocurre dentro de los primeros 30 minutos de tratamiento. A partir de ese punto los flujos se hacen muy lentos. Sin embargo, gracias al empleo del ultrasonido se logra que la pérdida generada en el producto sea considerable, del modo en cómo se discutió con la PA de la uchuva.

En la Figura 27 se observa una pérdida de carácter exponencial durante los primeros 40 minutos para las tres temperaturas empleadas, para luego alcanzar una etapa de equilibrio, sobre todo para aquellos tratamientos con mayor temperatura.

Se lograron PP finales de $40^{\circ}\text{C} = 69,46\% \pm 2$, $50^{\circ}\text{C} = 71,13\% \pm 1,38$ y $60^{\circ}\text{C} = 71,69\% \pm 1,6$, donde se presencia que la temperatura no influencia en gran medida la pérdida peso bajo ningún

tratamiento.

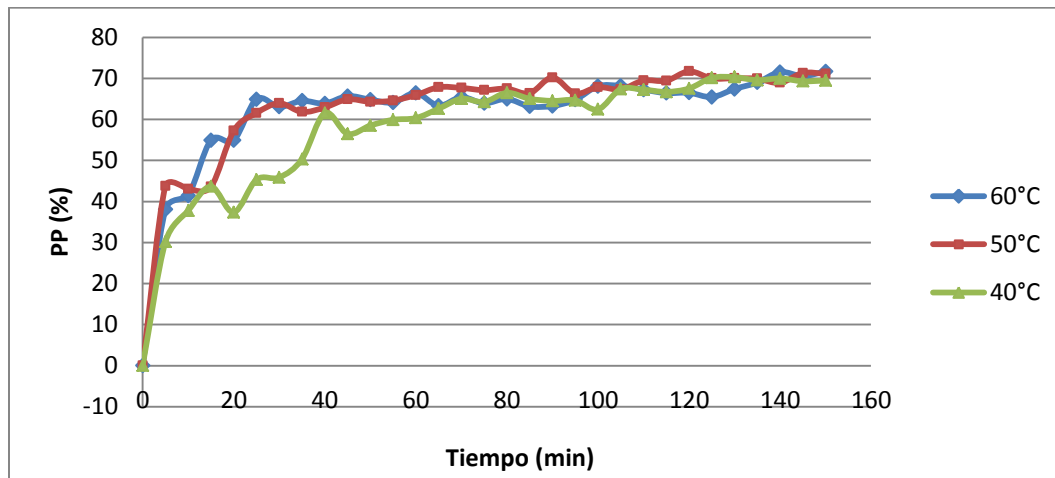


Figura 24 Evolución de la pérdida de peso de rodajas de uchuva en tratamiento de osmodeshidratación asistida por ultrasonido a 60°C

Fuente. Este estudio

La pérdida de peso se ve dada por el siguiente balance:

$$PP = PA + GS \quad (\text{Ec.28})$$

La variación de la masa total que experimenta cada una de las muestras, en las etapas consideradas en el proceso de *DOU*, es la combinación de la *PA*, debida a la deshidratación, y de la *GS* asociado al gradiente de concentración con el medio.

Las figuras No.25, 26 y No.27 representan los balances de materia para los experimentos realizados (puntos azules). Se observa que en general, los puntos se distribuyen a lo largo y sobre la diagonal (recta color rojo), la cual hace referencia a un balance equilibrado. Una buena aproximación de la regresión a la línea, pone de manifiesto los bajos errores experimentales y la fiabilidad de los resultados, al suponer que ambos ejes tengan el mismo valor para cada punto. No obstante, en los tratamientos se observa que existe una pérdida de peso ligeramente mayor que la determinada a partir de la sumatoria de *PA* y *GS* sobretodo en altas temperaturas, donde se ve una mayor desviación de los puntos con la recta al inicio del proceso.

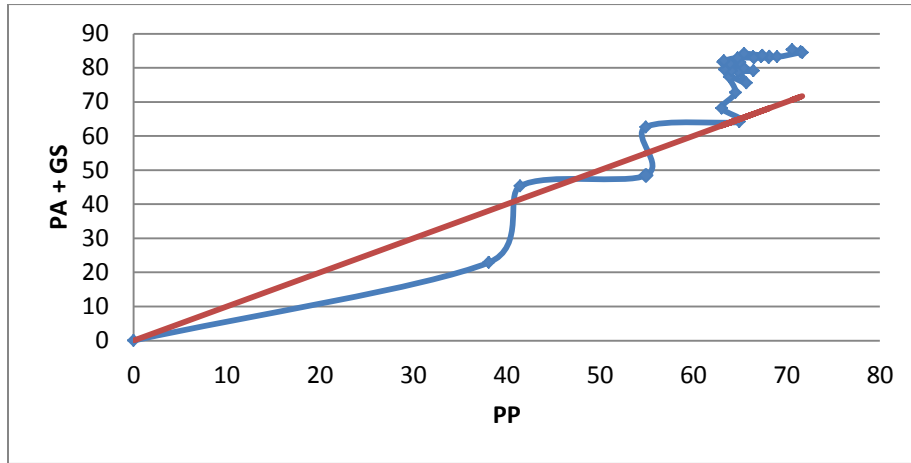


Figura 25 Representación gráfica del balance de materia para DO a 60°C

Fuente. Este estudio

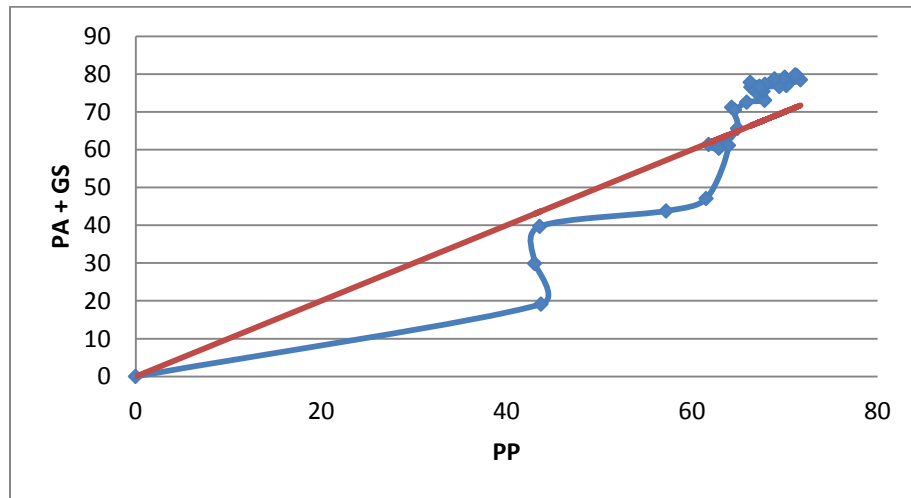


Figura 26. Representación gráfica del balance de materia para DO a 50°C

Fuente. Este estudio

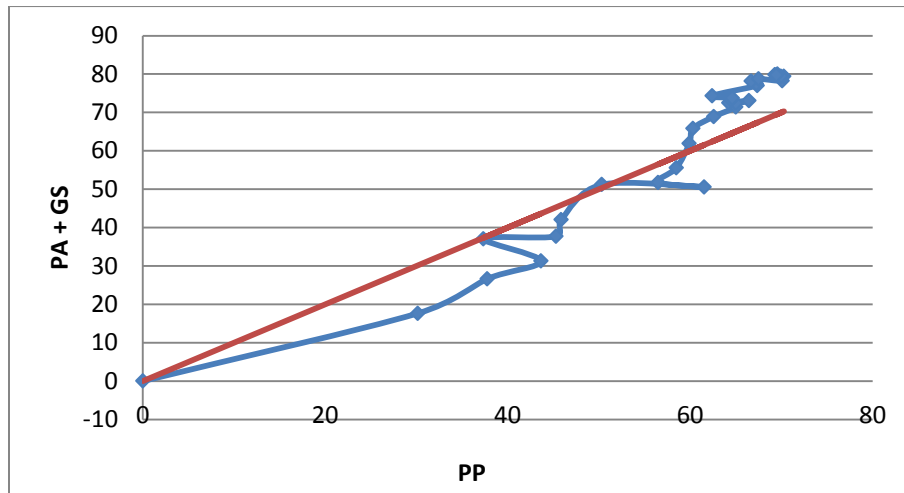


Figura 27 Representación gráfica del balance de materia para DO a 40°C

Fuente. Este estudio

La acumulación de puntos al final de las figuras se debe al periodo de equilibrio del comportamiento de *PP*, siendo menos congestionado a bajas temperaturas, del mismo modo se puede observar que el comportamiento a bajas temperatura tiende a ser más lineal y más aproximado a la diagonal, siendo así que por medio de la Ec. 12 se obtiene que el R^2 para 60°C es de 0,08, para 50°C de 0,55 y para 40°C de 0,68.

La principal razón por la que el balance no arroja un equilibrio en los datos cinéticos medidos, fue la geometría de la uchuva, pues su grosor puede considerarse constante más su diámetro no es estándar, razón por la cual los datos se tomaron por quintuplicado y se realizó el cálculo del balance con el promedio de los datos obtenidos, sin embargo, la forma de medición de *PP*, consignada en metodología, garantiza una medición más exacta en cuanto a la pérdida de peso individual de las rodajas empleadas.

Recapitulando, bajo el estudio de la *DO* se han obtenido algunas relaciones cualitativas, como las reportadas por (Azuara *et al.* 1996; Rastogi y Raghavarao, 1997; Ochoa y Ayala, 2005) por ejemplo, se conoce que la *PA* y *GS* es proporcional a la concentración de la disolución, la

temperatura, el tiempo de inmersión, el espesor y la velocidad de agitación, e inversamente proporcional al área superficial.

Se buscó obtener las más altas tasas de *PA* y *GS* que faciliten el procesamiento posterior de fritura por su baja humedad y mejore la cualidad sensorial por la ganancia de sólidos. Dichos parámetros fueron más pronunciados bajo condiciones de altas temperaturas debido a una reducción en la viscosidad de la solución osmótica (Luchese *et al.* 2015; Shafiq *et al.* 2017) además del efecto de compresión y expansión del ultrasonido aumentan la *Deff* del agua y sólidos (Simal *et al.* 1998; Fernandes *et al.* 2007). Los altos valores obtenidos de los parámetros cinéticos (*PA* y *GS*) son convenientes para la conservación de la fruta, pues según lo expuesto por autores como Arias *et al.* (2017), Fernandes *et al.* (2007) o Maldonado, (2008) están asociados con la reducción del agua disponible para el desarrollo de microorganismos y reacciones enzimáticas que puedan deteriorar el producto.

Las condiciones empleadas para la obtención de uchuva *DO*, se establecieron gracias a las buenas propiedades sensoriales y fisicoquímicas que le brinda al producto, además, autores como Shafiq *et al.* (2017) en mandarina, encontraron que la mejor configuración para la *DO* en cuanto se refiere a la mayor *PA* y baja pero aceptable *GS* fue temperatura de 65°C, concentración de solución 65-75°Bx, proporción de solución a fruta de 5: 1 y tiempo de inmersión de 270 min, lo que apoya las condiciones seleccionadas en el pre tratamiento.

Se debe recordar que la *DO* representa un proceso complejo con muchas más variables de influencia por determinar, y que si bien pudiesen aumentar el rendimiento de los parámetros medidos en este trabajo, no se los llevo a cabo pues la única finalidad en este trabajo fue el de reducir el contenido de agua de la muestra y proporcionar cualidades sensoriales en calidad de pre tratamiento del proceso de fritura.

6.1.3 Caracterización fisicoquímica de la materia prima pre tratada.

La temperatura fue un factor que permitió controlar parámetros que afectan la integridad del alimento con el objetivo de disminuir en la mayor medida posible el contenido de agua del fruto. Así, bajo condiciones de una solución hipertónica a 70°Bx y con una temperatura de 60°C se logró obtener las características necesarias para fritura a vacío de las rodajas de uchuva y cualidades sensoriales apetecibles por el consumidor. Sin embargo, el pre-tratamiento provoca disminución en la calidad nutricional, pues las altas temperaturas generan el deterioro de componentes de interés como el contenido de vitamina C. Las características de la uchuva *DO* se ven resumidas en la Tabla 15.

Tabla 15b.

Caracterización fisicoquímica de la uchuva osmódeshidratada a 70 °Bx, 60 °C por 150 min.

Caracterización de la uchuva deshidratada osmóticamente (70°Bx, 150min, 60°C)	
Peso en rodaja promedio (g):	0,27 ± 0,09
SST:	0,68 ± 0,04
Color (*L, *a, *b) / ΔE	48,05 ± 1,33 // 13,5 ± 2,71 // 38,07 ± 4,36 -- 7,45 ± 1,64
Actividad de agua Aw:	0,75 ± 0,02
pH:	3,69 ± 0,008
Vitamina C (mg/L):	< 25
Contenido de Humedad (%)	25,90 ± 1,05

Fuente. Este estudio

Pudo observarse un cambio en la textura de la uchuva, la cual perdió firmeza. En cuanto a la concentración de sólidos, pudo observarse que se aproximó a la concentración del medio (70

°Bx). La humedad disminuyó a 25.09 %, y la A_w se redujo en un 20,67 %, logrando un valor final de 0,755.

Con respecto a uno de los parámetros de mayor interés en cuanto al apartado organoléptico se refiere, está el color. Su cambio fue calculado con la ecuación euclidiana (Ec.2), para determinar la variación de color. Como se aprecia en la Tabla 18 el valor $\Delta E = 7,488$ indica un cambio apreciable, que a simple vista se percibe como un cambio de amarillo a amarillo/dorado. El parámetro L^* (luminosidad) pasó de 42,56 a 48,08, indicando un aumento en la luminosidad de la uchuva. El parámetro a^* atribuido en su aumento a tonalidades más rojizas y en su disminución a colores más verdes, varió de 14,99 a 13,5, indicando pérdida en sus tonalidades más anaranjadas o rojizas, lo cual junto con el aumento en la luminosidad provocó una coloración amarillo dorada. Por último en cuanto al parámetro b^* , cuyo rango varía entre el color amarillo cuando aumenta su valor, o azul cuando disminuye, se mantuvo casi constante, siendo 38,8 en promedio para uchuva fresca y 38,07 para la uchuva deshidratada, lo cual indica que el proceso no afectó el principal color del fruto, la apariencia de las rodajas de uchuva osmodeshidratadas se observan en la Imagen 27.



Imagen 27 Muestra de uchuva en rodajas deshidratada osmóticamente.

Fuente. Este estudio

Con respecto a la Vitamina C presente en el fruto, en fresco fue 356,6 mg vit C/L, equivalente a 33,08 mg vit C/100 g de muestra. Cuando la muestra fue sometida al proceso de *DO* su medición arrojó que se encuentra por debajo de 25 mg vit C/L. Esto demuestra que el pretratamiento empleado degrada la vitamina C, debido a fenómenos de lixiviación, la alta temperatura implicada y la exposición al aire y la luz.

6.2 Definir los niveles más apropiados para los factores tiempo, temperatura y presión que optimicen los atributos de calidad de snacks de uchuva obtenidos por fritura al vacío.

6.2.1. Determinación de valores óptimos obtenidos por fritura al vacío.

Una vez se obtuvo la uchuva osmodeshidratada, se pasó a realizar la fritura en condiciones de vacío. El proceso se realizó por medio de un diseño experimental de superficie de respuesta RSM con la finalidad de optimizar las variables de respuesta del proceso, con la mejor configuración de los diferentes factores experimentales que se manejaron (tiempo, temperatura y presión de vacío).

Una vez realizados todos los ensayos, para obtener la combinación de factores Tiempo – Temperatura – Presión que proporcionan la menor cantidad de aceite, humedad, actividad acuosa, variación de color y dureza, se introdujo los valores de las mediciones de las variables de respuesta al programa estadístico Statgraphics Centurion XVI. Para obtener la optimización global del sistema hace falta optimizar las condiciones en función de cada una de las variables de respuesta, así se obtiene diferentes combinaciones de los factores que proporcionan una optimización de la variable en cuestión, para que posteriormente el programa determine bajo la consideración de cada optimización individual, cual es la combinación de factores que proporciona las mejores características del producto final.

Bajo la resolución de diseño de experimentos planteado, en la Tabla 20 se consignan los valores de las diferentes variables de respuesta del snack de uchuva obtenido bajo las distintas

combinaciones del diseño. Se obtuvo una A_w entre 0.271 hasta 0.426, humedades entre 4.7101% y 15.839%, la dureza vario entre 8.2685 a 29.9716 N, un cambio de color final (ΔE) en el producto desde 4.3051 hasta 20.8618 y el contenido de aceite de la muestra se encontró tuvo valores de 8.4121% hasta 15.3584%.

Del mismo modo en la Imagen 28 puede observarse la apariencia visual del snack obtenido bajo distintos tratamientos del diseño empleado.





Imagen 28. Diversos snacks de uchuva obtenidos bajo diferentes tratamientos del diseño experimental.

Fuente. Este estudio

Tabla 16.*Valores de las variables de respuesta para los ensayos del modelo de superficie de respuesta empleado.*

Ensayo	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Presión (Bar)	Humedad (%)	Aceite (%)	L*	a*	b*	ΔE	Aw	Dureza (N)
1	110	2	0,3	11,6912	9,5935	43,16	10,95	37,46	4,3051	0,381	19,6366
2	110	2	0,5	8,4828	13,0696	46,25	12,78	40,4	4,5881	0,313	8,6813
3	110	6	0,3	8,6112	13,3012	45,87	14,75	31	8,4800	0,365	16,5254
4	110	6	0,5	7,9712	8,4121	50,1	11,29	35,53	9,0148	0,277	24,8413
5	130	2	0,3	7,8367	9,1652	50,56	15	37,65	8,0801	0,315	17,8204
6	130	2	0,5	7,0908	10,1394	49,53	22,38	48,78	14,2328	0,279	14,441
7	130	6	0,3	6,8080	11,8834	33,07	14,75	22,2	19,1282	0,306	25,2174
8	130	6	0,5	5,8364	12,9895	33,6	16,52	27,9	14,1974	0,271	8,2685
9	120	4	0,4	7,4362	13,5732	48,96	18,52	35,52	8,0082	0,315	13,5984
10	120	4	0,4	7,3176	15,3584	46,98	17,24	31,87	8,5227	0,303	13,2395
11	120	4	0,2	7,6836	12,799	57,86	17,99	52,67	20,8618	0,346	24,8585
12	120	4	0,6	4,7101	13,4488	58,56	18,52	36,57	16,5324	0,289	11,4496
13	120	0,6	0,4	15,839	10,9496	40,25	17,79	31,58	8,08405	0,426	29,9716
14	120	7,36	0,4	6,3069	14,7258	46,59	16,58	32,52	7,6305	0,307	20,023
15	137	4	0,4	5,4459	11,0938	42,07	22,5	28,57	12,7004	0,318	28,8445
16	103	4	0,4	9,3734	8,7283	46,7	20,97	40,58	7,4804	0,404	19,0236
17	120	4	0,4	6,9192	14,3089	46,87	16,56	31,56	8,5722	0,326	14,5628
18	120	4	0,4	6,5635	13,4884	47,23	18,52	32,89	8,3177	0,328	13,9574
19	120	4	0,4	6,4453	13,2489	49,65	18,53	34,99	8,7903	0,332	14,3318
20	120	4	0,4	6,4873	13,5869	45,87	17,25	31,89	7,9894	0,321	14,0389

Fuente. Este estudio

A continuación se obtuvieron las condiciones que optimicen de manera individual cada uno de las variables de respuesta medidas.

6.2.1.1 Absorción de Aceite.

El contenido de aceite es un atributo de calidad altamente significativo en los productos fritos, particularmente cuando, el proceso ha sido desarrollado para producir snacks saludables (Pérez Tinoco *et al.* 2008).

De manera global, los factores más importantes en la absorción de aceite son: las propiedades del producto como el tamaño, la forma, la relación superficie/volumen, la porosidad y la composición; las propiedades del aceite de fritura como la viscosidad, la tensión superficial y la calidad; los factores del proceso como los pre tratamientos, la presión, el tiempo y la temperatura de fritura; y las condiciones de post-fritura; puesto que la absorción de aceite es considerada como un balance entre las fuerzas de adhesión como la capilaridad y el drenaje o escurrido (Ramos, 2018).

En la tabla 17 se muestra el ANOVA para la absorción de aceite en función de los factores evaluados. El tiempo de fritura, el cuadrado de la temperatura y la interacción tiempo presión de vacío tuvieron efecto significativo con un nivel de confianza del 95% (Figura 28).

Tabla 17.

Análisis de Varianza ANOVA para absorción de aceite

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	1,04582	1	1,04582	0,62	0,4482
B:Tiempo	8,8105	1	8,8105	5,25	0,0449
C:Presion de Vacío	0,226627	1	0,226627	0,14	0,7209
AA	36,0795	1	36,0795	21,50	0,0009
AB	5,31069	1	5,31069	3,16	0,1056
AC	1,52534	1	1,52534	0,91	0,3629
BB	4,32053	1	4,32053	2,57	0,1397
BC	8,47336	1	8,47336	5,05	0,0484
CC	2,87013	1	2,87013	1,71	0,2202
Error total	16,7833	10	1,67833		
Total (corr.)	81,4197	19			

Fuente. Este estudio

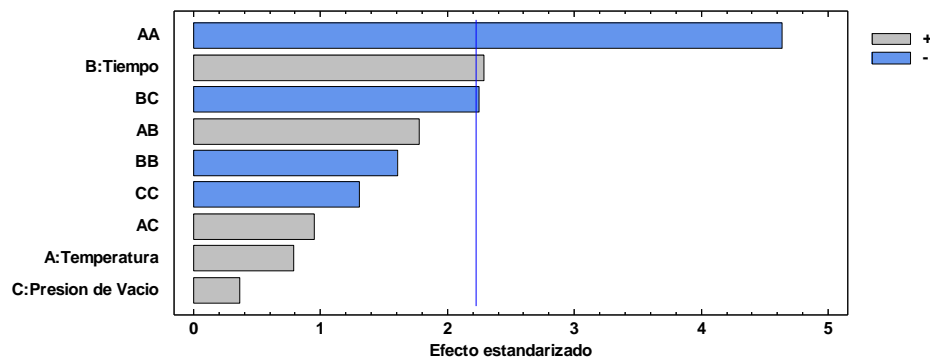


Figura 28. Diagrama de Pareto Estandarizada para Absorción de aceite.

Fuente. Este estudio

Un aumento en el tiempo de fritura provocaría una mayor absorción de aceite, sin embargo si junto con el tiempo se incrementa la presión de vacío generada, se favorece el sistema para una menor absorción de aceite como puede observarse en la Figura 29. De la misma se puede asegurar que se requiere altas temperaturas y tiempos cortos para disminuir la absorción de aceite.

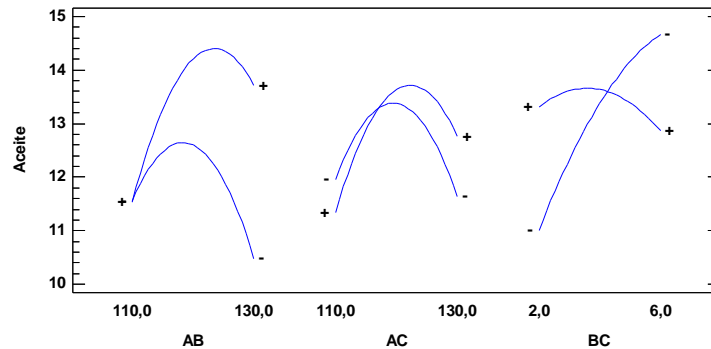


Figura 29. Grafica de Interacciones para el aceite.

Fuente. Este estudio

Conclusiones similares se extraen de la Figura 30. La gráfica A, determina que valores medios de temperatura y elevados de tiempo, propicia una mayor absorción del aceite, caso contrario cuando aumenta la temperatura y se emplea menores tiempos de procesamiento. La gráfica B indica que la mayor ganancia se obtiene con valores medios de temperatura y medios de Presión de vacío, mientras que autores como Esan *et al.* (2015) obtuvieron alto contenido de aceite a bajas temperaturas y bajas presiones de vacío (tendiente a presión atmosférica). Por último, la gráfica C sugiere que bajas presiones de vacío con tiempos prolongados obtendrá la mayor ganancia, coincidiendo con Esan *et al.* (2015) en papa dulce, siendo necesario altas presiones de vacío y bajos tiempos para optimizar el sistema.

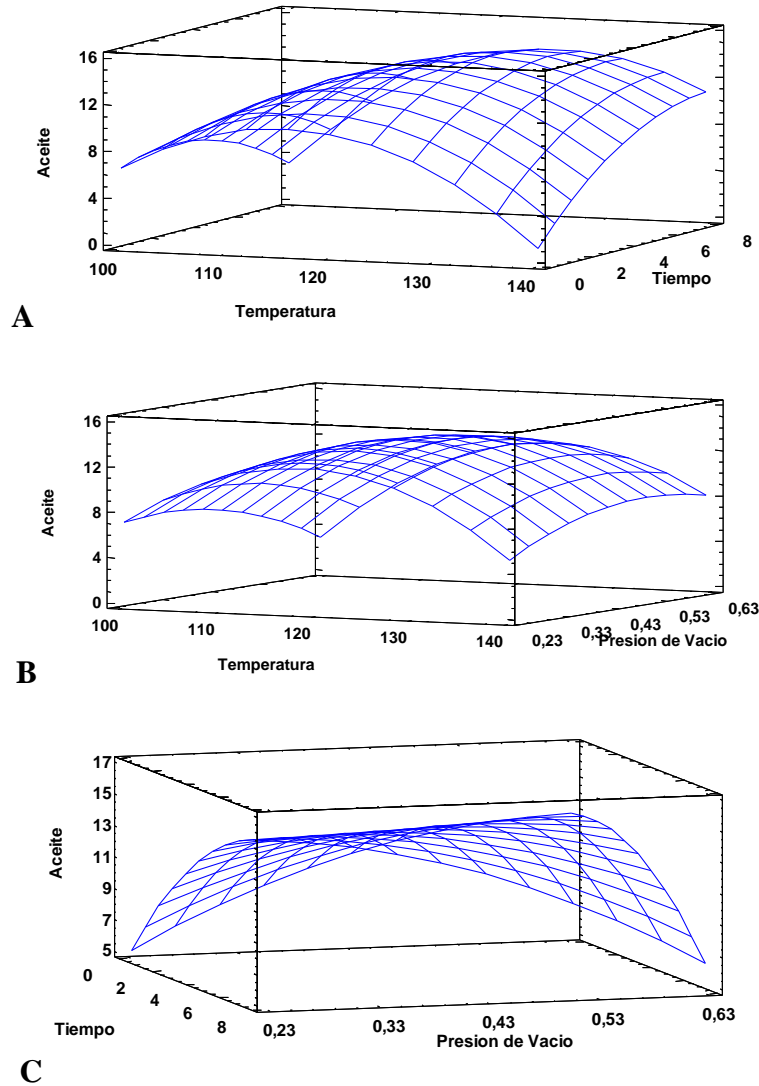


Figura 30. Superficie de respuesta estimada para la absorción de aceite dependiente de la interacción de factores. A: Interacción Temperatura - Tiempo; B: Interacción Temperatura – Presión de Vacío; C: Interacción Tiempo – Presión de Vacío.

Fuente. Este estudio

El efecto de cada factor sobre la absorción de aceite se presenta en la Figura 31.

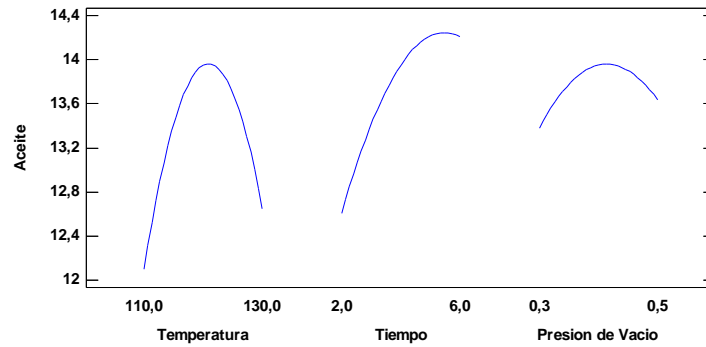


Figura 31. Grafica de efectos principales para absorción de aceite en *Physalis peruviana*.

Fuente. Este estudio

Todos los factores demuestran un comportamiento cuadrático con respecto a la absorción.

La curvatura en la temperatura es reportada en múltiples investigaciones, y justamente una de las razones por las cuales no se ha establecido un comportamiento claro de dicho factor.

Autores como Charoen *et al.* (2015) y Moyano & Pedreschi (2006) reportan que a mayor temperatura menor es la absorción de aceite. Por otra parte algunos autores como (Liu-Ping, *et al.* 2005) en chips de zanahoria, Shyu y Hwang, (2011) en chips de manzana y Shyu *et al.* (2005) en *chips* zanahoria y Garayo & Moreira, (2002) en chips de papa, han reportado aumento del contenido de aceite conforme se incrementa la temperatura pues si bien sugieren que el contenido final de aceite del producto en el caso de fritura a vacío no es función de la temperatura también señalan que el contenido en aceite parece estar relacionado con el contenido de humedad final, pues cuando se fríe a mayor temperatura, la velocidad de evaporación del agua se incrementa; lo cual resulta en una mayor pérdida de agua, generando mayor cantidad de espacios capilares vacíos en la estructura del alimento, destinados para la entrada del aceite.

Con base en los resultados obtenidos, se puede apreciar un menor contenido a temperaturas más bajas, lo cual es benéfico al no tener que elevar la temperatura demasiado y poder conservar algunos componentes de interés. Al analizar su comportamiento se observa como la absorción

aumenta progresivamente desde el punto inferior del diseño de experimentos para llegar a su punto máximo con el punto central, es decir con una temperatura de 120°C. Sin embargo a partir de este punto, se obtiene una disminución en la absorción al incrementar la temperatura al punto máximo del diseño de 130°C.

En concordancia con Garayo & Moreira (2002), la influencia del tiempo en la absorción de aceite es razonable, pues al aumentar el tiempo de contacto de fritura habrá oportunidad de una mayor transferencia de masa provocando que aumente la cantidad de aceite que ingresa al alimento hasta alcanzar la etapa de equilibrio o saturación.

Respecto a la presión de vacío, según estudios realizados por Da Silva y Moreira, (2008), Dueik *et al.* (2010), Crosa, *et al.* (2014), y Lea Wexler *et al.* (2016) entre otros, propicia un sistema en el cual un alimento expuesto a fritura absorbe una menor cantidad de aceite además de preservar y garantizar buenas características en el producto final., esto es claro cuando se lleva a cabo una comparación de fritura al vacío vs atmosférica como lo observado en el punto 6.3.5.

Sin embargo, según lo encontrado en el presente trabajo, se observa que conforme se genera una mayor presión de vacío, existe una tendencia al aumento de absorción aunque no con cambios notorios y luego inicia un descenso en la absorción, al menos hasta la presión de vacío alcanzada en este trabajo (24.41 kPa), no obstante, este factor no mostro ser significativo en cuanto a la ganancia de aceite. Garayo y Moreira (2002) y Romero (2015) quienes reportan que la absorción de aceite se incrementa cuando la presión de vacío aumenta, es decir, cuando la presión absoluta disminuye, pues cuando aumenta el nivel de vacío aumenta la velocidad de pérdida de agua (por la disminución en la temperatura de saturación del agua) y también la absorción de aceite, sin embargo, reportan que al final del proceso, para una misma humedad final, no encontraron diferencias significativas en el contenido de aceite. Indicando que el contenido de aceite es función del contenido final de humedad en el producto y de la cantidad de aceite que

está adherida a la superficie, pues el agua que no se evapora rápidamente y queda retenida en el alimento, impide el paso de aceite hacia el *chip* ocasionando una disminución del contenido de grasa.

Aguilera, (1997) y Shyu & Hwang, (2011) menciona que alimentos con un contenido menor de agua, principalmente agua superficial, resulta una menor evaporación y por tanto, menor porosidad interna donde se pueda ubicar el aceite absorbido.

Garayo y Moreira, (2002) y Romero, (2015) reportan también, que a mayor vacío, se conduce al desarrollo más rápido de una corteza y así a una tasa más rápida de la absorción del aceite, debido a la pérdida de la hidrofiliidad del producto durante el proceso, ocupando así el aceite el espacio que deja el agua libre del alimento

En el diseño de experimentos planteado se encontró que la peor condición en cuanto a absorción de aceite se refiere, fue la del punto central evaluado cuyos valores son, $T = 120^{\circ}\text{C}$, $t = 4$ min, $P = 0.4$ Bar, cuyas muestras obtuvieron hasta un 15.35% de aceite; mientras que la mejor condición se obtuvo con $T = 110^{\circ}\text{C}$, $t = 6$ min, $P = 0.5$ Bar, obtenido un contenido de 8.41%.

Dentro del proceso de optimización, con la meta de minimizar el contenido de aceite, obviando el resto de propiedades o variables de respuestas medidas se obtuvieron las condiciones que se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Valores de los factores evaluados que optimizan una disminución en la absorción de aceite.

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Temperatura	103,182	136,818	134,281
Tiempo	0,636414	7,36359	0,636414
Presión de Vacío	0,231821	0,568179	0,231821

Fuente. Este estudio

6.2.1.2 Pérdida de Humedad.

La humedad de un producto se relaciona con la dureza del mismo y su susceptibilidad al deterioro en almacenamiento. Además influye en la ganancia de aceite, pues como se ha mencionado anteriormente, la pérdida de agua del producto durante el proceso de fritura, propicia una mayor ganancia de aceite entre mayor sea la cantidad de agua que se retira.

En la Tabla 19 y la Figura 32 se puede apreciar como 3 efectos, temperatura, tiempo y el cuadrado del tiempo, tuvieron efecto significativo sobre el contenido de humedad.

Tabla 19.

Análisis de varianza para perdida de humedad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	18,2557	1	18,2557	10,82	0,0082
B:Tiempo	35,1405	1	35,1405	20,82	0,0010
C:Presion de Vacío	8,1757	1	8,1757	4,84	0,0524
AA	0,271195	1	0,271195	0,16	0,6970
AB	0,21403	1	0,21403	0,13	0,7292
AC	0,567528	1	0,567528	0,34	0,5748
BB	29,5701	1	29,5701	17,52	0,0019
BC	0,686008	1	0,686008	0,41	0,5381
CC	1,2256	1	1,2256	0,73	0,4141
Error total	16,8779	10	1,68779		
Total (corr.)	112,244	19			

Fuente. Este estudio

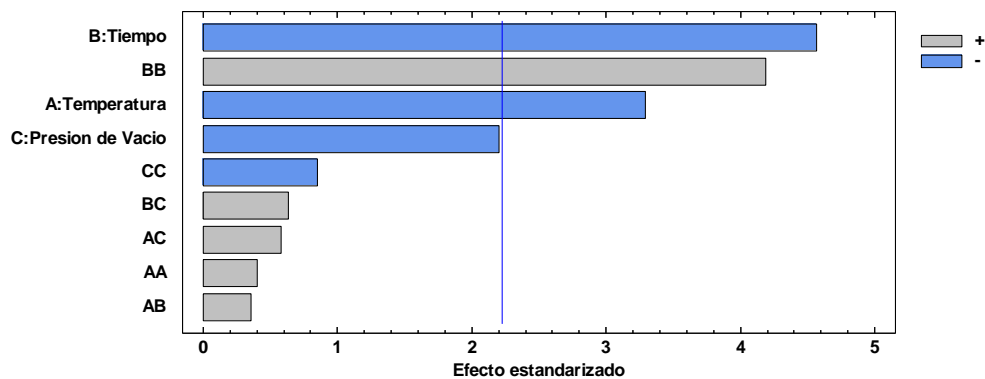


Figura 32. Diagrama de Pareto estandarizado para humedad.

Fuente. Este estudio

En la Figura 32 se aprecia que a mayor tiempo y mayor temperatura menor es el contenido final de humedad del producto, mientras que el cuadrado del tiempo hace que aumente la humedad.

Ahora bien, en la Figura 33 cabe destacar, que la prolongación del tiempo sugiere que una mayor cantidad de agua será expulsada, pues se permite que la transferencia de masa se de por un mayor lapso, sin embargo, valores elevados de este factor provoca un efecto contrario al deseado, pues se presenta un aumento en la humedad del producto, motivo por el cual el tiempo presenta el efecto cuadrático significativo,

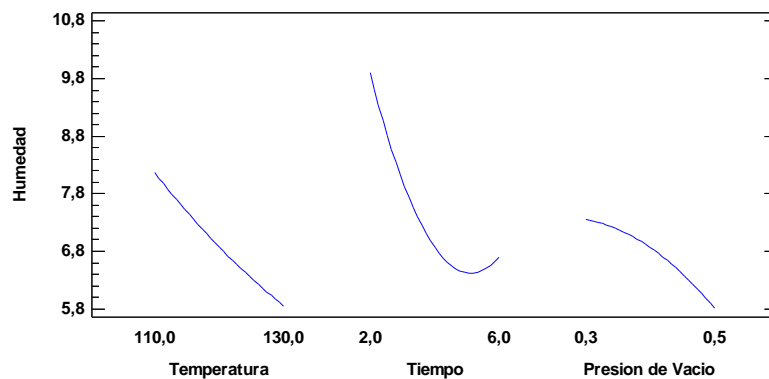


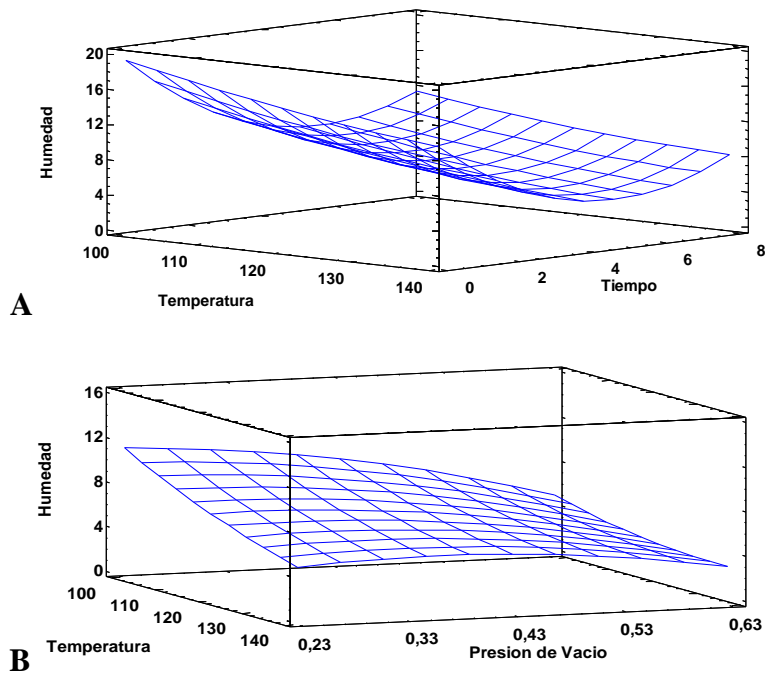
Figura 33. Grafica de efectos principales para pérdida de humedad.

Fuente. Este estudio

En la Figura 34 A y B se confirma lo presentado por la Figura 33, sobre como el aumento en la temperatura genera una mayor pérdida de humedad. Pedreschi *et al.* (2006) exponen que, al aumentar la temperatura de fritura, la velocidad de pérdida de agua se incrementa, con la consecuente disminución del tiempo de fritura, en afinidad a lo reportado por Garayo y Moreira, (2002), Villamizar *et al.* (2016) y Ramos (2018), además, gracias al medio generado por el vacío en el que el agua ebulle a temperaturas más bajas, provoca que al emplear altas temperaturas se facilite la obtención de productos con baja humedad. no obstante, cabe aclarar que esta es la

tendencia de la humedad bajo el efecto de la presión de vacío, mas este factor no resulto ser significativo

Por dicha razón puede observarse que la menor humedad se adquiere con tiempos medios y altas temperaturas. Autores como Budzaki & Segura (2005) y Diamante *et al.* (2012) en chips de kiwi llegaron a las mismas conclusiones, sugiriendo que el contenido de humedad se reduce generalmente con el aumento de temperatura y tiempo de fritura. Una temperatura más alta y un tiempo más largo resultarían en un producto con un contenido de humedad más bajo debido a más evaporación que ocurría de la muestra.



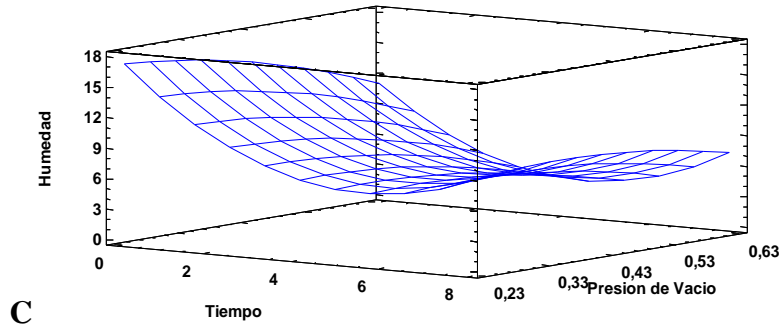


Figura 34. Superficie de respuesta estimada para pérdida de humedad dependiente de la interacción de factores. A: Interacción temperatura - tiempo; B: Interacción temperatura – presión de vacío; C: Interacción tiempo – presión de vacío.

Fuente. Este estudio

Se halló que independientemente de la presión, cuando la temperatura aumenta se incrementa la velocidad de secado, que a mayores tiempos de fritura proporcionan menores humedades y que el empleo de temperaturas superiores provoca una deshidratación más severa sin importar el tiempo de fritura.

Romero (2015) y Cazar (2015) obtuvieron el mismo comportamiento en la aplicación de superficie de respuesta para el factor temperatura y presión al tratar al vacío rodajas de mango y trozos de piña respectivamente.

El diseño de experimentos mostró que la peor condición en cuanto a pérdida de humedad, fue aquella combinación que involucra el nivel inferior del factor tiempo, cuyos valores son, $T = 120$ °C, $t = 0,636$ min, $P = 0,4$ Bar, cuyas muestras tuvieron hasta un 15,84% de humedad; mientras que la mejor condición fue aquella cuya combinación de valores involucró el punto superior de la presión, debido al efecto del vacío en la eliminación de agua, con valores de $T = 120$ °C, $t = 4$ min, $P = 0,568$ Bar, obtenido un contenido de 4,71% de humedad.

Dentro del proceso de optimización, con la meta de minimizar el contenido de humedad, obviando el resto de variables de respuesta, se obtuvo como mejor combinación de factores la

presentada en la Tabla 20.

Tabla 20.

Valores de los factores evaluados que optimizan una menor humedad.

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Temperatura	103,182	136,818	136,817
Tiempo	0,636414	7,36359	4,58327
Presión de Vacío	0,231821	0,568179	0,568179

Fuente. Este estudio

En estas condiciones se observa como la presión juega un papel importante al ser la precursora de una rápida pérdida de agua, junto con la temperatura, quien es la responsable de la eliminación del agua por la transformación del estado del agua. Mientras que el tiempo toma valores intermedios, pues como se determinó, el efecto cuadrático de este factor sobre la humedad, se relaciona al hecho de que a mayores tiempos se obtiene una mayor ganancia de aceite, cuya humedad propia puede alterar los resultados.

6.2.1.3 Color.

Las propiedades organolépticas brindan información tanto al productor como al consumidor frente al estado de calidad de un producto, permitiendo determinar si el producto posee las características necesarias para que sea aceptado y posteriormente consumido.

El cambio en el color de este tipo de productos se debe al contenido de azúcares reductores; cuando el contenido de azúcares es bajo, se obtendrán chips dorados de buena calidad. Sin embargo, un excesivo contenido de azúcares reductores en el producto, provocará una coloración marrón oscura en los chips, que los hará inaceptables tanto por su color como por su sabor. Así mismo, estos resultados se pueden atribuir a una caramelización y/o reacción tipo pardeamiento no enzimático entre los grupos aminos libres de aminoácidos, péptidos, proteínas y los grupos

carbonilos de los azúcares u otros aldehídos o cetonas que dan lugar a una coloración oscura (Aguirre *et al.* 2016).

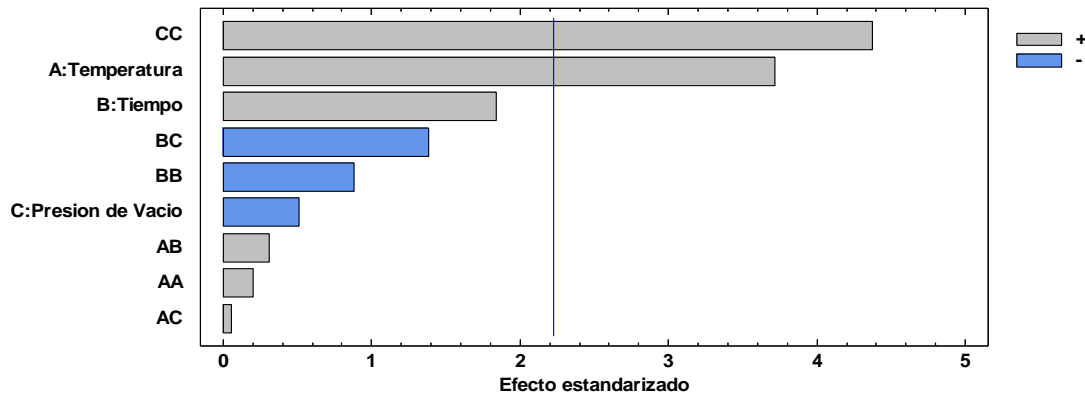
A pesar de que la cualidad del color en un producto hace referencia a una medición subjetiva variable por el gusto del consumidor, se optó por tratar de lograr un color lo más parecido posible al color original de la uchuva.

La tabla ANOVA (Tabla 21) obtenida, así como el diagrama de Pareto (Figura 35), muestran 2 factores con un valor p menor que 0,05, indicando que tuvieron efecto significativo, cuadrado de la presión de vacío y la temperatura. El aumento en los valores de estos factores provocó un efecto positivo, lo que significa que causaron un aumento en ΔE , por ende un mayor cambio en el color, con tendencias a coloraciones más oscuras en el producto.

Tabla 21.**Análisis de varianza para el cambio de color**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	105,898	1	105,898	13,81	0,0040
B:Tiempo	26,0222	1	26,0222	3,39	0,0953
C:Presion de Vacío	2,01164	1	2,01164	0,26	0,6197
AA	0,308058	1	0,308058	0,04	0,8452
AB	0,726713	1	0,726713	0,09	0,7645
AC	0,020419	1	0,020419	0,00	0,9599
BB	5,96488	1	5,96488	0,78	0,3985
BC	14,6657	1	14,6657	1,91	0,1968
CC	146,57	1	146,57	19,11	0,0014
Error total	76,6945	10	7,66945		
Total (corr.)	386,126	19			

Fuente. Este estudio

**Figura 35. Diagrama de Pareto estandarizado para color.**

Fuente. Este estudio

Las temperaturas elevadas provocan desnaturalización de proteínas y formación de una costra en la parte superficial del alimento, brindándole una coloración distinta. Debido a la ganancia de sacarosa es posible que se hayan presentado cambios de color debido a reacciones de pardeamiento.

Marzullo (2010) reporta que la intensidad de las reacciones de deterioro de reacción de Maillard la cual es fuertemente dependiente de la temperatura, caracterizada por una disminución en los parámetros L^* y b^* por la producción de melanoidinas, que son pigmentos pardos (Troncoso, *et al.* 2009a), además de la degradación de *trans* β -caroteno, con reducción del color anaranjado.

En la Figura 54 A y B se observa que la temperatura ocasionó un cambio en el color del producto conforme la misma se eleva. En la gráfica A se observa que si la temperatura aumenta junto con el tiempo se obtendrá una gran diferencia con respecto al color original, mientras que en la gráfica B al aumentar la temperatura con una presión de vacío en niveles medios, se obtiene buenos resultados de conservación de color, pues se observa que existe una disminución en la variación de color, sin embargo, si el vacío disminuye o continua incrementado, comienza de nuevo la variación de color. Esto se considera que es debido a la presión facilita la pérdida de agua en el alimento, permitiendo que el calor afecte directamente al material no líquido, provocando un pardeamiento del azúcar presente, así como una desnaturalización y quemado del material biológico de la uchuva.

En la Figura 36 A y C, se observa que al aumentar el tiempo de proceso, se provoca un mayor cambio en el color original del producto, debido a que hay más tiempo para que reacciones de Maillard, y desnaturalización puedan llevarse a cabo.

No obstante, la presión de vacío puede contribuir a la conservación del color del producto, razón por la cual, este factor no presentó efecto significativo sobre ΔE (Tabla 25). La ausencia de oxígeno en el medio permite que la muestra no altere su coloración por reacciones de oxidación.

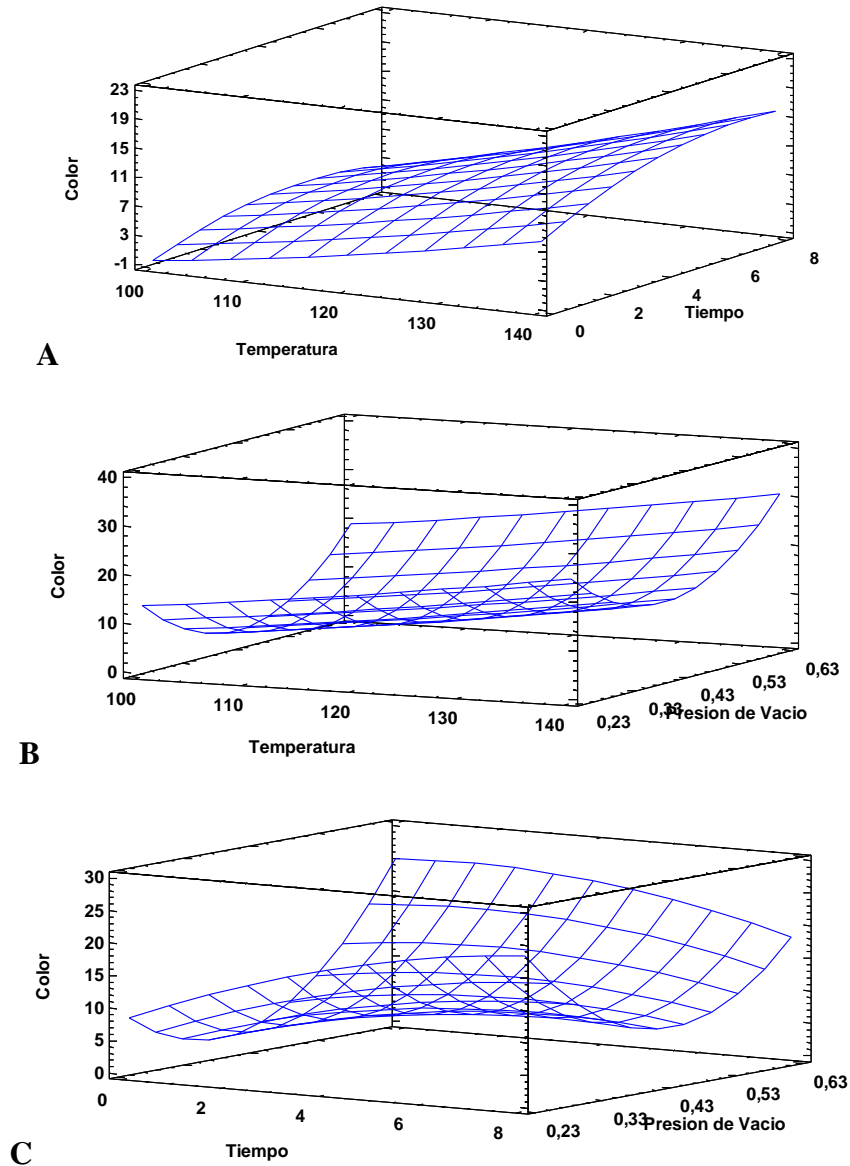


Figura 36. Superficie de respuesta estimada para cambio de color dependiente de la interacción de factores. A: Interacción temperatura - tiempo; B: interacción temperatura – presión de vacío; C: interacción tiempo – presión de vacío.

Fuente. Este estudio

Debido a que la uchuva pasó por los procesos de osmodeshidratación y fritura, los cambios en el color fueron inevitables. En la Imagen 37 se pueden observar las diferentes coloraciones que obtuvo la uchuva en los distintos ensayos de fritura realizados. Mariscal and Bouchon (2008)

explican que bajos valores de ΔE pudieron deberse a una menor actividad hídrica de las muestras al haber pasado por un pre tratamiento de deshidratación, lo cual ralentiza el pardeamiento no enzimático.

En concordancia con lo reportado por Pérez Tinoco *et al.* (2008) y Diamante L, *et al.* (2012), el empleo de bajas temperaturas provoca una leve variación en el color del producto y, como se observa en la Figura 37, el aumento de la temperatura genera un cambio inmediato en la coloración del producto, del mismo modo que lo visto por el factor tiempo, aunque se determinó, que el tiempo tiene una menor significancia en dicho alteración, sobre todo al interactuar con altas presiones de vacío.

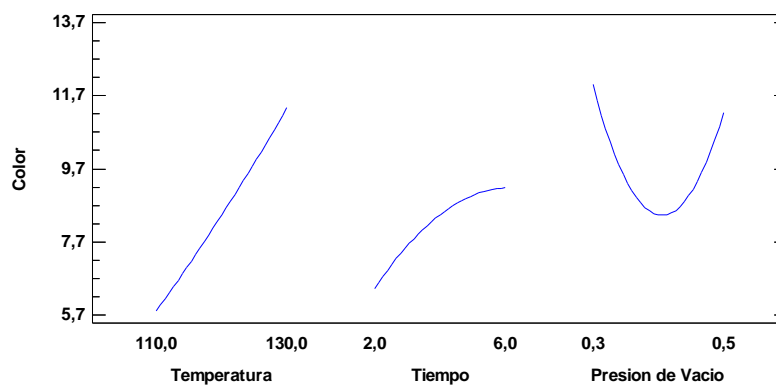


Figura 37. Grafica de efectos principales para color.

Fuente. Este estudio

Diamante L, *et al.* (2012) reporta que los productos procesados a altas temperaturas y tiempos cortos arrojan los cambios de color más grandes que al emplear bajas temperaturas y largos tiempos de procesamiento.

La peor condición en cuanto a variación de color se refiere, fue $T = 120^{\circ}\text{C}$, $t = 4$ min, $P = 0,231$ Bar, cuyas muestras obtuvieron hasta 20,86 unidades de cambio de color; mientras que la mejor condición fue $T = 110^{\circ}\text{C}$, $t = 2$ min, $P = 0.3$ Bar, obtenido un cambio de color de 4,3 unidades.

Las condiciones de proceso que minimizaron el cambio de color, obviando el resto de variables de respuesta, se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22.

Valores de los factores evaluados que optimizan una disminución en el cambio de color

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Temperatura	103,182	136,818	103,189
Tiempo	0,636414	7,36359	0,636414
Presión de Vacío	0,231821	0,568179	0,371365

Fuente. Este estudio

6.2.1.4. Actividad de agua (A_w).

La importancia de la actividad acuosa de un alimento radica en la información que ofrece frente a la susceptibilidad de un alimento a ser contaminado por bacterias. Por dicha razón el análisis de este parámetro busca lograr las condiciones en las que el alimento presenta la más baja actividad acuosa posible.

En la tabla 23 y Figura 38 se observa que los factores temperatura, tiempo y presión de vacío presentaron un efecto negativo significativo sobre el valor de A_w , lo que significa que conforme estos factores aumentaron, la A_w disminuyó.

Tabla 23.

Análisis de varianza para Aw

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	0,00702017	1	0,00702017	9,02	0,0133
B:Tiempo	0,00530377	1	0,00530377	6,82	0,0260
C:Presion de Vacío	0,0076328	1	0,0076328	9,81	0,0107
AA	0,000603655	1	0,000603655	0,78	0,3991
AB	0,000153125	1	0,000153125	0,20	0,6667
AC	0,000903125	1	0,000903125	1,16	0,3066
BB	0,00102087	1	0,00102087	1,31	0,2787
BC	0,000045125	1	0,000045125	0,06	0,8145
CC	0,00114347	1	0,00114347	1,47	0,2532
Error total	0,00777997	10	0,000777997		
Total (corr.)	0,0318638	19			

Fuente. Este estudio

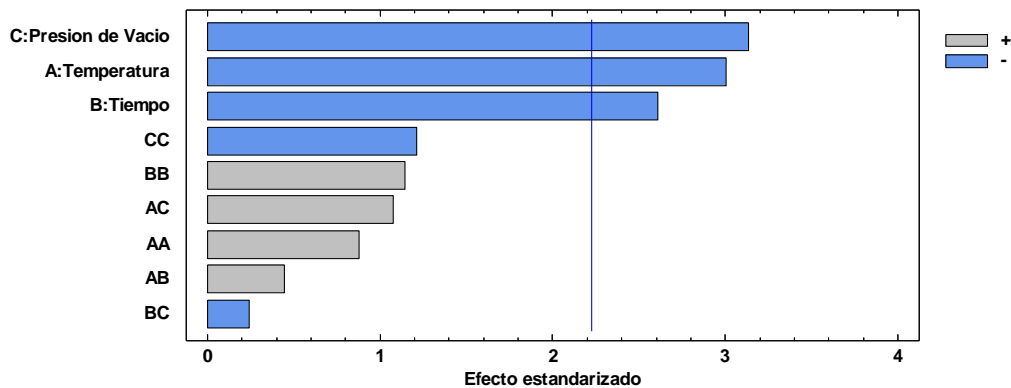


Figura 38. Diagrama de Pareto estandarizada para Aw.

Fuente. Este estudio

Así como lo determina el diagrama de Pareto (Figura 38), ninguna interacción de los factores presento algún efecto significativo sobre la A_w , por lo que su análisis directo se resume en la Figura 39.

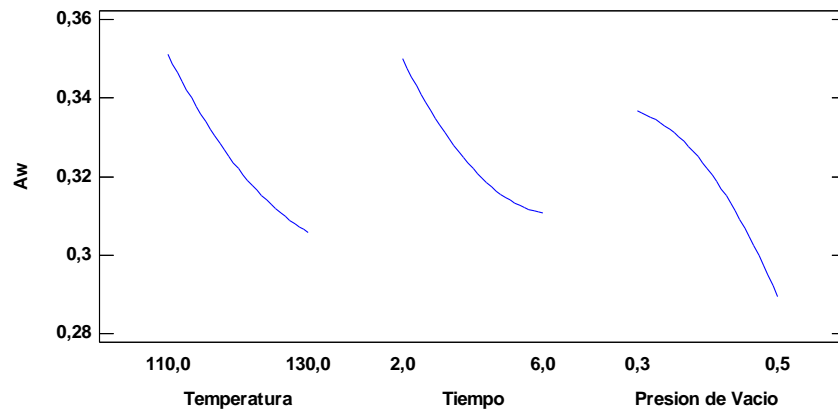


Figura 39. Grafica de efectos principales para A_w .

Fuente. Este estudio

Puede observarse que el aumento de la temperatura se ve traducido en la disminución de la A_w del alimento independientemente del tiempo o la presión de vacío empleada, sucede del mismo modo para el tiempo como para la presión de vacío empleada. La disminución en la A_w sigue por lo general el mismo comportamiento observado en la pérdida de humedad, y sigue una relación inversamente proporcional con los factores evaluados, en donde su incremento simultaneo se ve traducido en la disminución de la A_w .

Las condiciones de proceso que produjeron muestras con mayor A_w fueron $T = 120^\circ\text{C}$, $t = 0,636$ min, $P = 0,4$ Bar, con $A_w = 0,426$, el cual sin embargo, es ya suficientemente bajo, recordando que la uvilla presentaba una A_w inicial de 0,952, con una disminución del 20,69% luego del proceso de osmodeshidratación, quedando en 0,755; mientras que la mejor condición fue aquella cuya combinación bajo valores de $T = 130^\circ\text{C}$, $t = 6$ min, $P = 0,5$ Bar, obtenido un contenido de 0.271. Las condiciones óptimas de proceso obtenidas con el programa estadístico se observan en la Tabla 24.

Tabla 24.**Valores de los factores evaluados que optimizan una disminución en la Aw.**

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Temperatura	103,182	136,818	118,844
Tiempo	0,636414	7,36359	6,87524
Presión de Vacío	0,231821	0,568179	0,568179

Fuente. Este estudio

Como se observa, la presión es un factor que debe permanecer con altos valores, mientras que los valores para temperatura y tiempo pueden ubicarse a partir de niveles medios. De manera tal que al obtener un bajo valor de Aw, favorece la conservación del producto y evita la oxidación y la proliferación de microorganismos perjudiciales, los cuales disminuyen con el aumento de la temperatura y su número tiende a estabilizarse con el tiempo (Villamizar *et al.*, 2012).

6.2.1.5. Dureza.

La dureza de un alimento desde la caracterización fisicoquímica y sensorial, es un factor esencial para que un consumidor lo considere de buen gusto y no represente un esfuerzo en su consumo. En el caso de los snacks, el crujiente es un factor de calidad adicional que se debe tener en cuenta, y se requieren valores bajos de Aw y contenido de humedad, pues de no ser así, los productos se tornan gomosos.

El crujiente es una cualidad compleja de medir instrumentalmente, pero en este caso, donde los snacks son delgados y completamente deshidratados, la dureza puede representar un buen indicador. La dureza se correlaciona con la fuerza máxima de compresión registrada durante la primera mordida (Pérez Tinoco *et al.* 2008). Los resultados fueron interpretados de manera que los valores bajos de fuerza de ruptura indican valores altos del atributo de crocancia (Jijaba, 2010; Shyu & Hwang, 2011; Esan *et al.* 2015). Sin embargo se debe tener en cuenta que al ser un

producto biológico, no presentara características homogéneas en toda su estructura, por lo que la variabilidad en los datos es considerable.

La tabla 25 presenta los resultados del análisis de varianza para la variable dureza.

Tabla 25.

Análisis de varianza para la dureza del snack

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	11,5869	1	11,5869	0,32	0,5860
B:Tiempo	0,442505	1	0,442505	0,01	0,9146
C:Presion de Vacío	151,716	1	151,716	4,15	0,0691
AA	74,5302	1	74,5302	2,04	0,1840
AB	17,4769	1	17,4769	0,48	0,5053
AC	39,1123	1	39,1123	1,07	0,3256
BB	101,206	1	101,206	2,77	0,1273
BC	4,06372	1	4,06372	0,11	0,7458
CC	0,766219	1	0,766219	0,02	0,8878
Error total	365,973	10	36,5973		
Total (corr.)	751,111	19			

Fuente. Este estudio

Ningún factor tuvo efecto significativo sobre la dureza del snack, lo cual podría atribuirse a la alta variabilidad en la determinación instrumental de ésta variable de respuesta, a pesar de que los resultados se obtuvieron como el promedio de 10 muestras por tratamiento

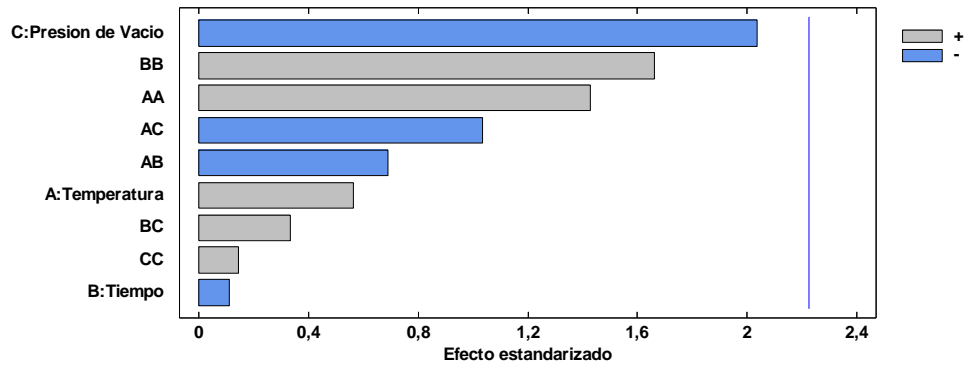


Figura 40. Grafica de Pareto estandarizada para Dureza.

Fuente. Este estudio

En la Figura 41 puede observarse que temperaturas y tiempos elevados no precisan especialmente de un producto más duro, pues no implica un cambio notorio en la dureza del producto final, sin embargo a altas temperaturas se produce cambios más rápidos de la dureza y en la formación de la costra modificando la fuerza de fractura. Además de la posible cristalización de la celulosa, y la degradación de pectina, las cuales, después de un cierto tiempo se endurecen debido a la deshidratación de las células externas.

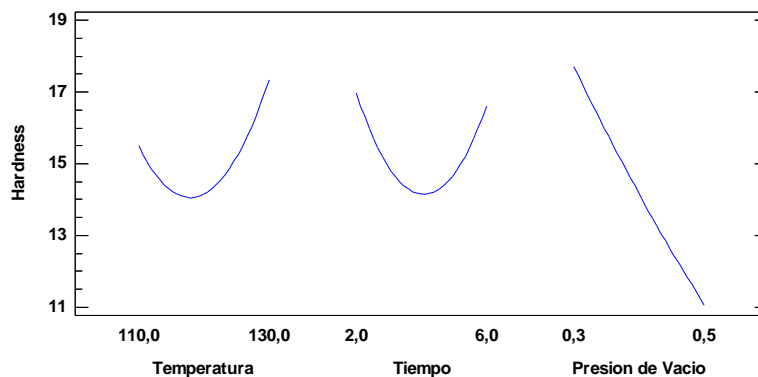


Figura 41. Grafica de efectos principales para Dureza.

Fuente. Este estudio

La Figura 41 muestra como la presión provoca una disminución en la rigidez conforme más alto sea el valor que se emplee, en concordancia con (Romero, 2015) y (Esan *et al.* 2015) puesto que los poros son más pequeños debido a la contracción con presiones reducidas y el agua sale

sin dificultad debido a su rápida evaporación al entrar en contacto con el aceite, aumentando la crocancia del chip. En el caso concreto de la uchuva se encontró que al tener bajos niveles de presión de vacío, el incremento de la temperatura provoca que el alimento se vuelva aún más firme, mientras que a una alta presión de vacío, la dureza es más baja conforme aumenta la temperatura.

La dureza que adquiere el producto como lo postula Marzullo, C. (2010), se puede deber a la temperatura óptima de activación de la enzima pectina metil esterasa, presente en la pared celular de las células vegetales, la cual es de _____ para uchuva. La activación de la enzima hace posible que se liberen grupos carboxilos de la molécula de pectina, favoreciendo a interacciones con iones de calcio que están presentes en el tejido, alterando las propiedades estructurales (Marzullo, C. 2010).

Debido a que ningún factor resulto estadísticamente significativo, no apremia el cálculo de condiciones que “optimicen” este factor, pues si se utilizase los factores en niveles más altos o bajos, el resultado no diferirá en gran medida, sin embargo, el programa arroja las condiciones de Temperatura = 126,07°C, Tiempo = 3,95 minutos y Presión de vacío de 0,5682 Bar.

Esto indica que una condición para una buena reducción en la dureza de la uchuva empleada radica en el uso de altas presiones de vacío con tiempos que aseguren la disminución de la humedad, aprovechando en bajo punto de saturación del agua.

6.2.1.6. Optimización global del sistema.

Una vez obtenidas las condiciones individuales para la optimización de cada una de las variables de respuesta evaluadas, con el uso del mismo programa estadístico Statgraphics, se realizó una optimización global de manera tal que las condiciones obtenidas para el proceso sean aquellas que permitan minimizar el contenido de aceite, de humedad, actividad acuosa, dureza y el cambio de color en el producto.

En la Tabla 26 se presentan los rangos de los niveles trabajados en el diseño experimental para cada factor y los rangos de valores en las variables de respuesta obtenidos se resumen en la Tabla 27.

Tabla 26.

Rango de niveles de los factores del sistema

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>
Temperatura (°C)	103,182	136,818
Tiempo (min)	0,636414	7,36359
Presión de Vacío (Bar)	0,231821	0,568179

Fuente. Este estudio

Tabla 27.

Rango de valores en las variables de respuesta para el diseño experimental

	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Respuesta</i>	<i>Observado</i>	<i>Observado</i>
Aceite	8,41219	15,3584
Color	4,30516	20,8618
Aw	0,271	0,426
Humedad	4,71018	15,8396
Dureza	8,2685	29,9717

Fuente. Este estudio

El programa estadístico Statgraphics permite determinar la combinación de los factores experimentales que optimiza el proceso global (Tabla 33). Lo hace maximizando la función de ‘deseabilidad’. Con base en este método de medición, que se presenta en el Anexo 14, se obtuvo un valor óptimo de deseabilidad de 0,825075 mayor que el reportado por Esan *et al.* (2015) de

0,609, con las siguientes condiciones de proceso: temperatura = 108,24 °C, tiempo = 5,53 min y presión de vacío = 0,543 Bar ($P_{abs} = 24,41\text{kPa} = 0,2443\text{ Bar}$). Las condiciones óptimas reportadas por otros autores y que se asemejan a las obtenidas en el presente trabajo se consignan en la Tabla 27.

Bajo las condiciones óptimas de proceso para la obtención de snack de uchuva, se obtendrían los valores en las variables de respuesta que se describen en la tabla 28.

Tabla 28.

Valores óptimos de las variables de respuesta obtenidos en el proceso de optimización global.

<i>Variable de respuesta</i>	<i>Valor óptimo</i>
Aceite	8,41219
Color	10,1873
Aw	0,271
Humedad	6,05141
Dureza	19,15

Fuente. Este estudio

Se debe recordar que estos son los valores óptimos deseables en el producto final que se obtienen mediante el análisis estadístico, más no son los reales, esto es debido a que los modelos usados por el programa estadístico para su predicción y cálculo poseen error, de manera tal que al obtener un producto bajo las condiciones óptimas de procesamiento, los valores presentarán variación.

Tabla 29.

Combinación de factores optimizados por diversos autores para la optimización de fritura al vacío.

Autor	Fruta o vegetal	Factores		
		Temperatura (°C)	Tiempo	Presión de vacío
Perez-Tinoco <i>et al.</i> (2008)	Piña	112°C	6.9 min	24 kPa
Dueik y Bouchon, (2011)	papa	98 °C	6.5 min	6.48 kPa
	manzana	98 °C	4.5 min	6.48 kPa
	zanahoria	98 °C	5 min	6.48 kPa
Villamizar <i>et al.</i> (2012)		110 °C	90 seg	0.5 bar
Esan <i>et al.</i> (2015)		108°C	9 min	10.12cmHg
Lea Wexler <i>et al.</i> (2016)	Papaya <i>DO</i>	117 °C	6 min	24 kPa
Cazar (2015)	Piña	102°C	7 min	16kPa

Fuente. Este estudio

Con respecto al procesamiento global de la uchuva para la obtención del snack, vale rescatar que en general, el uso de la deshidratación osmótica en la fritura de alimentos ha contribuido en la obtención de las cualidades fisicoquímicas y sensoriales esperadas en el producto. Autores como Shyu & Hwang. (2011), Huang y Zhang, (2012), Gómez, (2012) o Cazar, (2015) asocian el uso de la *DO* como pre tratamiento en procesos de fritura de alimentos de gran influencia que proporciona al alimento de buenas características como una disminución de la fuerza de ruptura, mejor color de las muestras, reduce el contenido de humedad de las mismas y mantiene su carácter crujiente, se reporta igualmente que el uso de la *DO* redujo considerablemente el contenido de materia grasa hasta en un 83 %.

Al comparar los valores óptimos globales de los factores del proceso, con la optimización individual de cada factor observada en la Tabla 29, se observa una gran diferencia en los valores obtenidos, esto debido, que para la optimización del sistema global, hace falta sacrificar, en cierta medida, algunos atributos en específico para lograr el mejor producto.

Tabla 29b.

Optimización de factores individual para cada variable de respuesta.

Respuesta	Temperatura	Tiempo	Presión de Vacío
Aceite	134.281	0.636414	0.231821
Humedad	136.817	4.58327	0.568179
Color	103.189	0.636414	0.371365
Aw	118.844	6.87254	0.568179
Dureza	126.076	3.95428	0.568179

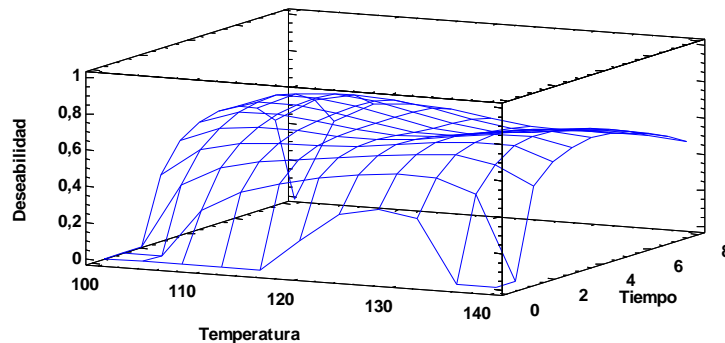
Fuente. Este estudio

En la Figura 42 A, se indica que el aumento del tiempo provee de un acentuación en deseabilidad, sin embargo conforme continua creciendo, este parámetro disminuye, seguramente debido a variables como la absorción de aceite y el color, que son las más afectadas al prolongar el tiempo y provocan una disminución en la deseabilidad general del sistema, resultando en que el tiempo óptimo del proceso se inclinó a periodos medianamente prolongados entre el rango evaluado, obteniendo que el tiempo optimo sea de 5.53 minutos.

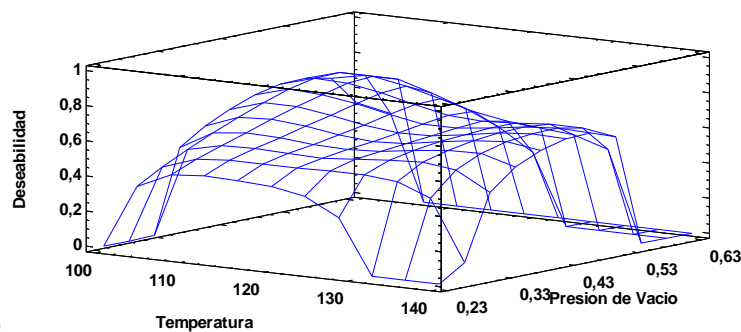
En la Figura 42 B y C, se observa la manera en como el aumento de la presión aumenta la deseabilidad del proceso, de manera tal que, la presión de vacío se presenta como un factor de vital importancia para el sistema de fritura en cuanto a la mejora de las variables de respuesta medidos.

Por último el factor temperatura para las gráficas A y B, presentan un comportamiento específico y contradictorio para ciertos niveles, pues se aprecia como al tener interacción con el tiempo, presenta mejores resultados en un rango de 125 a 135°C con deseabilidad de 0.3 aproximadamente, mientras que la interacción con la presión de vacío muestra mejores resultados entre 110 a 120°C, aproximadamente con 0.4 de deseabilidad; considerando la más alta deseabilidad encontrada en este rango de temperaturas y teniendo en cuenta que la principal ventaja del proceso radica en el empleo de bajas temperaturas que eviten el deterioro y pérdida de componentes en la materia que se está tratando, la temperatura optima global del sistema arrojada por el programa fue de 108.24°C.

Como se observa, el principal factor afectado por el cambio de optimización individual a global, es la temperatura, la cual presenta el punto clave en cuanto a la velocidad de fritura, y guarda relación directa con las cualidades sensoriales de los alimentos.



A



B

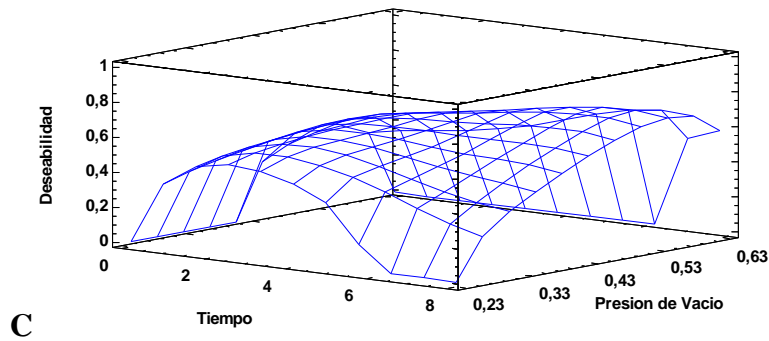


Figura 42. Superficie de respuesta estimada para dureza dependiente de la interacción de factores. A: Interacción Temperatura - Tiempo; B: Interacción Temperatura – Presión de Vacío; C: Interacción Tiempo – Presión de Vacío.

Fuente. Este estudio

6.3. Modelación de los fenómenos de pérdida de humedad y absorción de aceite del snack obtenido bajo las condiciones óptimas de proceso.

6.3.1. Modelamiento del proceso de fritura a vacío bajo condiciones óptimas.

Una vez determinadas las condiciones óptimas de proceso, se llevaron a cabo nuevos ensayos en tales condiciones con el fin de obtener los datos que permitieran realizar la modelación de las cinéticas de pérdida de humedad y absorción de aceite, los cuales se describen a continuación.

6.3.1.1 Cinética de pérdida de humedad.

Puesto que la uchuva se sometió a un proceso de *DOU*, ingresa a la fritura con una humedad bastante baja, por lo que dicha película no estará presente por mucho tiempo.

Los datos del comportamiento de la humedad en el tiempo, bajo las condiciones optimizadas de proceso, se presentan en la Tabla 30, en la cual también puede ser observado el cálculo del parámetro MR.

Tabla 30.***Evolución el contenido de humedad del snack de uchuva bajo condiciones óptimas.***

Tiempo (s)	Humedad (%)	MR
0	25,9	1
30	17,9279	0,5947
60	15,2938	0,4608
90	11,2163	0,2535
120	9,9444	0,1888
150	9,4420	0,1633
180	8,1993	0,1001
210	8,2876	0,1046
240	7,4200	0,0605
270	8,3224	0,1064
300	7,8967	0,0847
330	6,8174	0,0299
360	6,5755	0,0176

Fuente. Este estudio

Al comparar el contenido final de humedad obtenido de 6,5755% con el estimado en la Tabla 33 de 6.0514%, se encuentra que la diferencia fue baja (7,97%).

La baja humedad del producto se obtuvo por la buena transferencia de materia gracias al menor punto de ebullición del agua consecuencia del descenso en la presión. El valor final de humedad del producto resultó ser más alto a los reportados por Garayo y Moreira, (2002), quienes obtuvieron frituras de patata con una humedad final de 1,9 % bh. Shyu *et al.* (2005), reportaron una humedad final de 0,0149 g/g bs, en frituras de zanahoria y Shyu y Hwang, (2001), obtuvieron

frituras de manzana con una humedad final de 1,7 % bh, quienes emplearon un nivel de vacío más bajo de 3,41 kPa. Contenidos de humedad en mango (1,48%), frijol verde (3,42%), papa dulce (3%) y papa azul (0,28%), fueron conseguidos por Da Silva y Moreira (2008), gracias a la utilización de presiones de vacío muy bajas (<1,33 kPa), lo cual permitió una mayor eliminación de agua.

Al graficar los datos de pérdida de humedad de la uchuva en el tiempo se obtuvo la cinética presentada en la Figura 43.

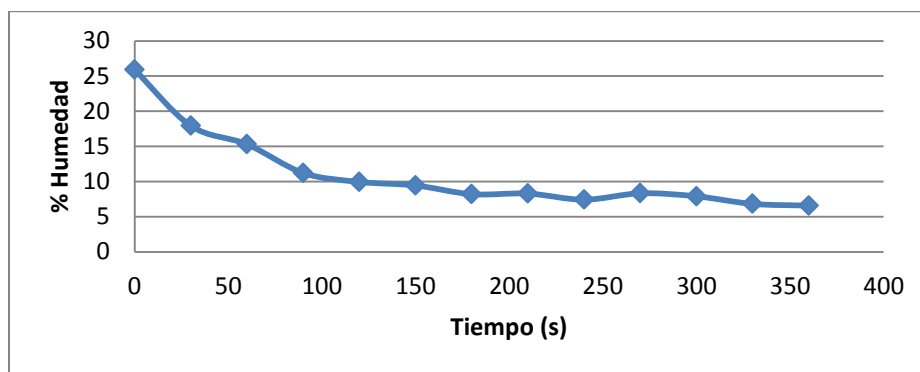


Figura 43. Cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas de proceso

Fuente. Este estudio

Con respecto a la Figura 43 no se presentó el clásico perfil con una acelerada pérdida de humedad en los primeros momentos del proceso, debido a la baja humedad inicial de la uchuva *DO*.

Pasado el tiempo inicial de deshidratación, la velocidad de pérdida de agua decrece y tiende al equilibrio, donde la evaporación es relativamente constante debido a la poca humedad remanente en el producto, este proceso sucedió a partir de los 90 segundos, cuya disminución puede ser explicada por la combinación de dos aspectos ocurridos a medida que transcurre el tiempo de fritura: primero; el encogimiento progresivo que se presenta en las dimensiones del producto debido a las tensiones micro estructurales inducidas por la migración de agua libre de la región porosa a la superficie del material alimenticio (Yamsaengsung *et al.* 2011; Moya, 2011), que hace

que los poros disminuyan su tamaño, dificultando que el agua abandone el alimento desde el interior y, segundo, la formación de la costra en la superficie del producto, la cual aumenta de espesor y, por su baja conductividad térmica, disminuye la transferencia de calor en la interfase costra e interior del alimento, como consecuencia se reduce la salida de agua del interior del alimento (Aguilera, 1997; Jibaja, 2010; Moya, 2011; Alvis-Bermúdez *et al.* 2016).

Para describir el comportamiento de los datos experimentales se escogieron los modelos de Newton, Herderson-Pabis, y Page (ecuaciones No. 22, No.23 y No.24), los cuales hacen uso de MR, por lo que los datos tomaran una forma adimensional, datos que se exponen en la Tabla 30.

6.3.1.1.1 Modelo de Newton.

La constante cinética del modelo se obtuvo mediante regresión no lineal, con ayuda del programa Statgraphics, dando como resultado $k = 0,0134372$. La ecuación de Newton que describe el comportamiento de la cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas queda entonces:

$$MR = e^{(-k_1 * t)} = e^{(-0.0134372 * t)}$$

Al emplear la anterior formula se obtiene el comportamiento observado en la Figura 44 donde los puntos son los datos experimentales y la línea continua es el modelo de Newton ajustado a dichos datos.

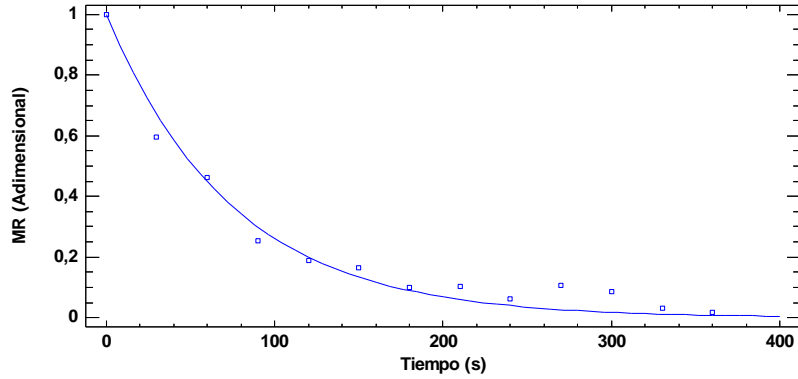


Figura 44. Modelo de Newton ajustado a la cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas de proceso.

Fuente. Este estudio

El modelo de Newton se ajustó bastante bien a los datos y demuestra la misma tendencia y comportamiento de los mismos, por lo que podría predecir en gran medida los datos de humedad del snack en algún punto de su elaboración.

6.3.1.1.2 Modelo de Henderson-Pabis.

Los resultados obtenidos de los parámetros cinéticos mediante regresión no lineal para la resolución del modelo de Henderson-Pabis, con ayuda del programa Statgraphics fueron:

$$a = 0,961049$$

$$k = 0,0128728$$

Con los parámetros cinéticos calculados mediante la regresión no lineal, se puede establecer la ecuación de Henderson-Pabis que describe el comportamiento de la cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas.

$$MR = a e^{(-k*t)} = 0.961049 * e^{(-0.0128728*t)}$$

Al emplear la anterior fórmula se obtuvo el comportamiento observado en la Figura 45, donde los puntos son los datos experimentales y la línea continua es el modelo de Henderson-Pabis ajustado a dichos datos.

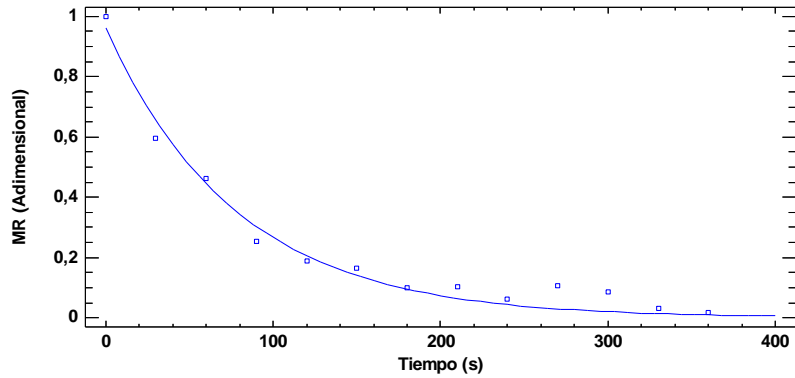


Figura 45. Modelo de Henderson-Pabis ajustado a la cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas de proceso.

Fuente. Este estudio

6.3.1.1.3 Modelo de Page.

Los parámetros cinéticos obtenidos por regresión no lineal para la resolución del modelo de Page, con ayuda del programa Statgraphics fueron:

$$a = 0,78476$$

$$k = 0,0356833$$

La ecuación de Page que describe el comportamiento de la cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas queda:

$$MR = e^{(-k_3 * t^n)} = e^{(-0.0356833 * t^{0.78476})}$$

Al emplear la anterior fórmula se obtuvo el comportamiento observado en la Figura 46, donde los puntos son los datos experimentales y la línea continua es el modelo de Page ajustado a dichos datos.

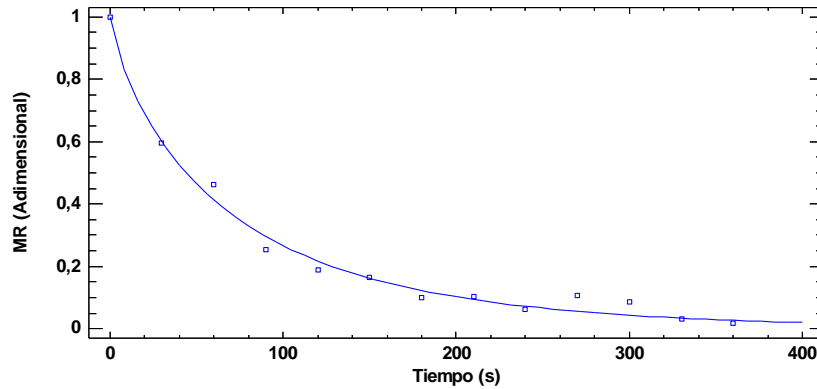


Figura 46. Modelo de Page ajustado a la cinética de pérdida de humedad para las condiciones óptimas de proceso.

Fuente. Este estudio

Los modelos empleados para la cinética de pérdida de humedad, bajo un análisis visual, parecen ser iguales y aparentan la misma bondad de ajuste con respecto a los datos experimentales.

Los modelos presentan un buen comportamiento durante el inicio del proceso, sin embargo a partir del segundo 200 puede observarse que la curva del modelo de Page logra ajustarse de mejor manera a los puntos experimentales finales, de modo tal, que si bajo observación se percibe mejor arreglo, al comparar los parámetros de bondad de ajuste, este modelo obtendría el mayor ajuste.

6.3.1.1.4 Calidad de ajuste de los modelos matemáticos aplicados a la cinética de pérdida de humedad.

En la Tabla 31 se presentan los valores de R^2 y error estándar de predicción (SEP) que permiten determinar la bondad de ajuste de cada modelo.

Tabla 31.

Bondad de Ajuste de los modelos cinéticos empleados para predecir la pérdida de humedad bajo las condiciones óptimas.

Parámetro (%)	Modelos					
	Newton		Henderson-Pabis		Page	
	R_2_{adj}	SEP	R_2_{adj}	SEP	R_2_{adj}	SEP
Perdida de Humedad	0,972	0,04162	0,9743	0,03989	0,9874	0,02784

Fuente. Este estudio

Visualmente los modelos evaluados aparentaban tener la misma disposición y ajuste con los datos, no obstante, y como se concluyó mediante observación de la tendencia de los modelos, el modelo de Page presenta el mejor R^2 un SEP muy cercano a cero. Entre los modelos evaluados, el de Page es aquel que mejor representa la pérdida de humedad en la elaboración de snacks de uchuva.

De esta manera el modelo puede constituir una herramienta básica en sistemas de producción, ya que permite estimar previamente cuál va a ser el desarrollo del proceso y, en consecuencia, la posterior optimización y control integral del mismo (Aguirre *et al.* 2016), teniendo en cuenta que el modelo y sus coeficientes pueden reutilizarse solamente para replicar las mismas condiciones de proceso establecidas, con la misma materia prima.

El ajuste de los modelos puede observarse también de una forma gráfica mediante la comparación de los datos predichos con los datos experimentales, obteniéndose las Figuras 47, 48 y 49. Bajo esta confrontación de datos se puede observar del mismo modo como los puntos en la Figura del modelo de Page, tienen una mayor afinidad con la recta. Confirmando el mejor

ajuste de dicho modelo a los datos experimentales.

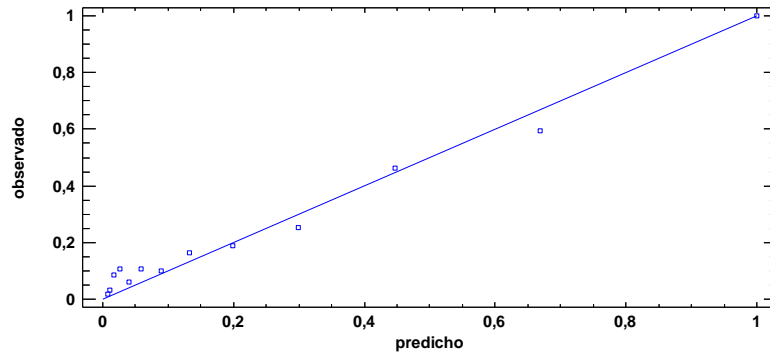


Figura 47. Ajuste de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Newton

Fuente. Este estudio

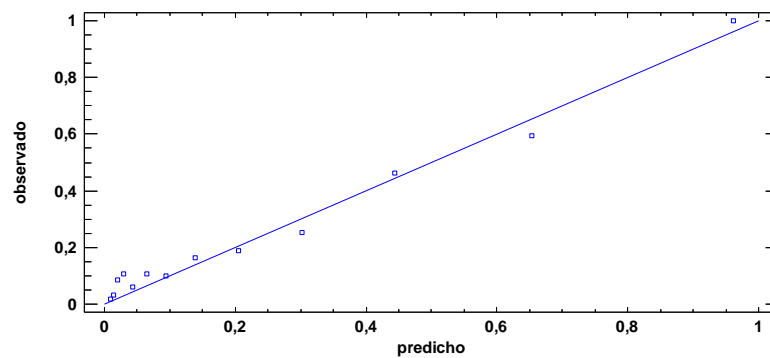


Figura 48. Ajuste de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Henderson-Pabis

Fuente. Este estudio

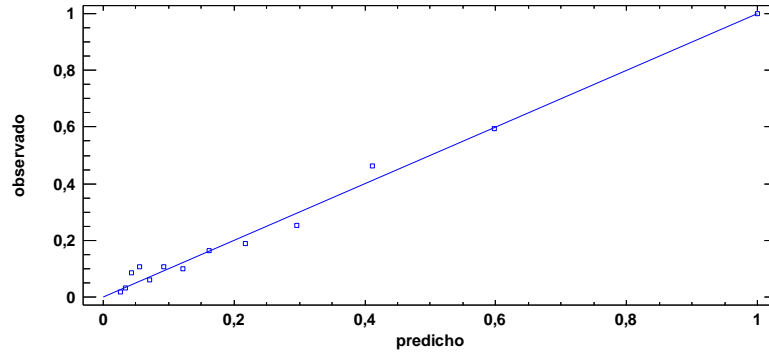


Figura 49. Ajuste de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Page

Fuente. Este estudio

6.3.1.2 Cinética de absorción de aceite.

La variación del contenido de aceite absorbido en los snacks de uchuva en función del tiempo se observa en la Tabla 32.

Tabla 32.

Evolución el contenido de aceite del snacks de uchuva bajo condiciones óptimas.

Tiempo (s)	Contenido de aceite (%)
0	0
30	1,2191
60	3,8055
90	4,8798
120	4,8823
150	5,1067
180	5,5565
210	6,1954
240	7,1936
270	8,0584
300	7,8577
330	8,4785
360	8,6871

Fuente. Este estudio

La diferencia entre el contenido final de aceite obtenido experimentalmente bajo condiciones óptimas respecto al estimado estadísticamente (Tabla 33) fue solo de 3,16%.

El contenido final de aceite en el snack de uchuva resultó significativamente menor al

reportado por Garayo y Moreira, (2002) en papa, de 26,7 % bh, y por Jajiba, (2010) en tomate de árbol del 12,75%, pese a que este autor aplico un pre tratamiento y condiciones de fritura similares.

Al graficar los datos de absorción de aceite en el tiempo se obtuvo la cinética presentada en la Figura 50.

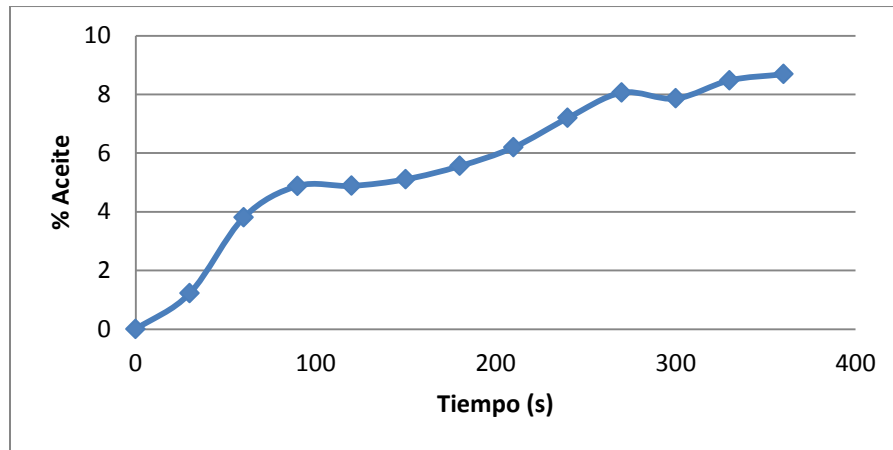


Figura 50. Cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas de proceso

Fuente. Este estudio

Varios autores reportan que durante los primeros segundos del proceso se obtiene un comportamiento exponencial en cuanto a la ganancia de aceite, sin embargo, en el presente caso, la absorción de aceite es pausada, presentó una pequeña etapa de rápida absorción durante los primeros 90 segundos. Aguilera, (1997), Alvis-Bermúdez *et al.* (2016), Jibaja, (2010) y Moya, (2011) reportan que pasados los 30 segundos del proceso, la absorción de aceite tiende a disminuir hasta alcanzar un equilibrio, sin embargo a partir de este tiempo para el caso de la uchuva el crecimiento de la gráfica fue prolongado y con un ligero incremento constante, mas no se logró un periodo de equilibrio definido. La evolución del contenido de aceite a cada tiempo puede observarse en la Imagen 29.



Imagen 29. Aumento en el contenido de aceite en balones con respecto al tiempo de fritura.

Fuente. Este estudio

Este comportamiento es debido a dos posibles factores, por un lado el encogimiento y la formación de la costra superficial, conforme transcurre el tiempo, dificultan la absorción de aceite, además la muestra que ingresa al proceso de fritura tiene una humedad bastante baja, lo cual, según Alvis-Bermúdez *et al.* (2016) y Moya, (2011) favorece que el intercambio de masa sea pequeño por una menor evaporación del agua superficial, limitando de esta forma la cantidad de aceite que puede ser absorbida. Por otra parte la uchuva no contiene componentes en su estructura que faciliten la absorción y retención de aceite, como el almidón en la papa, haciendo que la velocidad de absorción y contenido final sean menores. Sin embargo Lea Wexler *et al.* (2016) comentan al final del proceso, el aceite se adhiere a la superficie de los chips y penetra en la parte interna del producto.

El proceso de presurización juega un papel importante en el mecanismo de absorción de aceite. Puede aumentar o disminuir la absorción de aceite en el producto dependiendo de la cantidad de aceite superficial y del agua libre presentada en el producto. Los investigadores han encontrado que el volumen de aceite absorbido por el producto es inversamente proporcional a la velocidad de despresurización (Mir-Bel *et al.* 2009).

En el presente trabajo, se realizó lo sugerido por Pérez Tinoco *et al.* (2008) y mencionado por (MirBel *et al.* 2009), que consistió en que luego de freír, los snacks fueron retirados del aceite, pero sin liberar la presión, así se dejaron enfriar levemente las muestras y escurrir el aceite superficial bajo la presión de vacío utilizada, siendo expuesto a una diferencia aún más alta entre la presión capilar y la presión atmosférica mientras se enfría. Se esperaba que esta precaución ayudara a prevenir la toma de aceite, asumiendo que el aceite superficial frío y más viscoso penetraría menos en los poros una vez que se rompiera el vacío, reduciendo así la cantidad de aceite final

Buena parte de la absorción de aceite se debe al periodo de enfriamiento (Garayo y Moreira, 2002; Liu-Ping *et al.*, 2005; Moreira *et al.*, 1995). La porosidad juega un papel muy importante en la absorción de aceite; puesto que el aceite se adhiere a la superficie, y su entrada en la estructura del alimento es impedida por las presiones internas mayores, y sólo se absorbe en los poros cuando el producto es retirado del aceite; es decir, en el periodo de enfriamiento. En este momento se desarrolla rápidamente un gradiente de presión positiva que produce un efecto de vacío que genera la fuerza que succiona el aceite dentro de los poros (Yamsaengsung & Moreira, 2002; Pedreschi *et al.*, 2008; Lea Wexler *et al.*, 2016).

Varios investigadores han encontrado que la mayoría de la toma de aceite ocurre en el período de pos fritura. Se reportaron que tres diferentes fracciones de aceite pueden ser identificadas como consecuencia de los diferentes mecanismos de absorción en la fritura; los cuales son: (1) aceite estructural, que representa el aceite absorbido durante la fritura; (2) aceite superficial penetrado, que representa el aceite succionado en el alimento durante el enfriamiento después de retiro de la freidora; y (3) el aceite superficial, que es el aceite que permanece en la superficie (Figura79) (Pedreschi, 2012; Pérez Tinoco *et al.*, 2008).

A continuación se lleva a cabo la aplicación de modelos que se ajusten al comportamiento de los datos experimentales, de manera tal que se pueda predecir el contenido de aceite en el producto a un tiempo dado durante el proceso de elaboración. Para la aplicación de los siguientes modelos se requiere saber el contenido de aceite en equilibrio o máximo contenido, el cual fue de $Y = 9,7065\%$.

6.3.1.2.1 Modelo de Monod.

Para la aplicación del modelo de Monod se requiere además del parámetro b , que indica el tiempo de fritura en el cual se ha adquirido la mitad del contenido máximo de aceite, es decir cuando $Y = 4.8533\%$, $b = 89,26$ segundos.

Con dichos parámetros mediante una regresión no lineal, se puede establecer la ecuación de Monod que describe el comportamiento de la cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas.

$$A = \frac{Y * t}{b + t} = \frac{9.7065 * t}{89.26 + t}$$

Al emplear la anterior formula se obtuvo el comportamiento observado en la Figura 51, donde los puntos son los datos experimentales y la línea continua es el modelo de Monod ajustado a dichos datos.

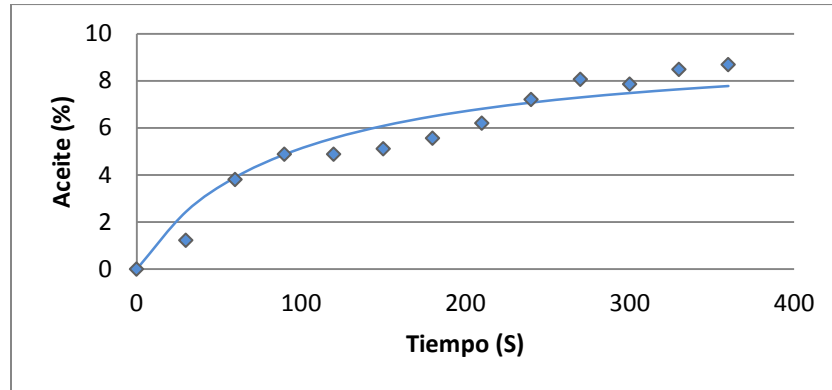


Figura 51. Modelo de Monod ajustado a la cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas de proceso.

Fuente. Este estudio

Se observa un comportamiento similar al experimental, el cual continúa con una curva conforme a la presentada por los datos, sin embargo el modelo no se ajustó a la etapa de pseudo equilibrio comprendida entre los 90 a 180 segundos.

6.3.1.2.2. Modelo de Moyano-Pedreschi.

El resultado obtenido para el parámetro cinético mediante regresión no lineal para la resolución del modelo de Moyano-Pedreschi, con ayuda del programa Statgraphics fue $k = 0,0102794$

Con el parámetro cinético calculado mediante la regresión no lineal, se estableció la ecuación de este modelo que describe el comportamiento de la cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas.

$$A = \frac{Y * k * t}{1 + (k * t)} = \frac{9.7065 * 0.0102794 * t}{1 + (0.0102794 * t)}$$

Al emplear la anterior fórmula se obtiene el comportamiento observado en la Figura 52 donde los puntos son los datos experimentales y la línea continua es el modelo de Moyano-Pedreschi ajustado a dichos datos.

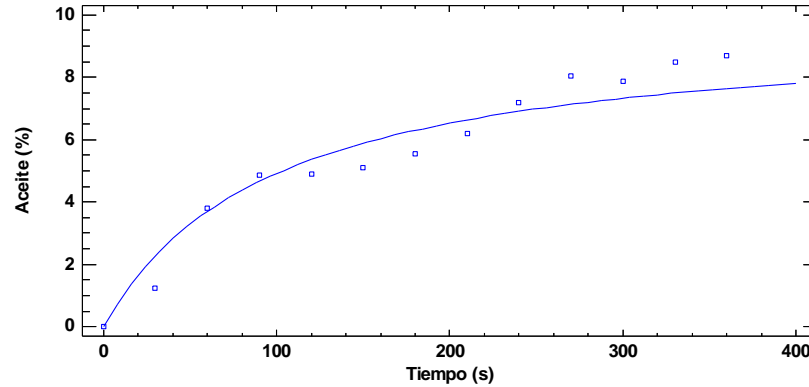


Figura 52. Modelo de Moyano-Pedreschi ajustado a la cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas de proceso.

Fuente. Este estudio

El comportamiento del modelo de Moyano-Pedreschi, obtuvo la misma curva presentada por el modelo de Monod.

6.3.1.2.3. Modelo de Primer orden.

La constante cinética para el modelo, obtenida por regresión no lineal, con ayuda del programa Statgraphics fue $k = 0,00576705$.

La ecuación para este modelo, que describe el comportamiento de la cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas es:

$$A = Y * (1 - e^{-k*t}) = 9.7065 * (1 - e^{-0.00576705*t})$$

Al emplear la anterior fórmula se obtiene el comportamiento observado en la Figura 53.

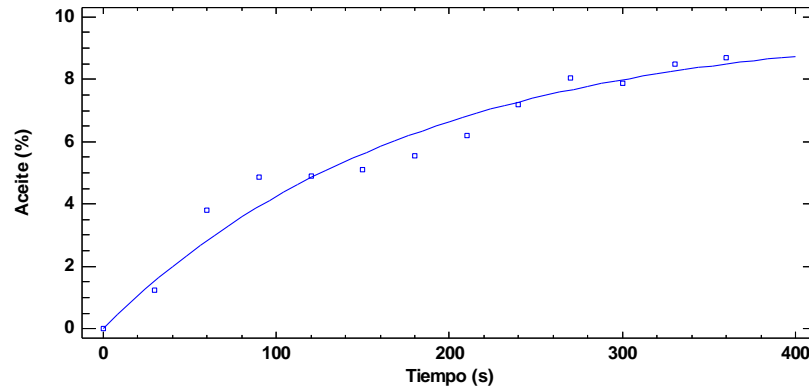


Figura 53. Modelo de primer orden ajustado a la cinética de absorción de aceite para las condiciones óptimas de proceso.

Fuente. Este estudio

El modelo de Primer Orden, presenta la misma curvatura que los otros dos modelos. Los modelos evaluados pueden llegar a ser utilizados para la descripción del comportamiento cinético de absorción de aceite en los snacks de uchuya, además se debe tener en cuenta que la conducta obtenida experimentalmente es sencilla y no involucra cambios bruscos en su comportamiento a lo largo del tiempo, por lo que sin importar la simplicidad del modelo, el mismo puede ajustarse fácilmente.

6.3.1.2.4. Calidad de ajuste de los modelos matemáticos aplicados a la cinética de absorción de aceite.

Los buenos valores de R^2_{adj} presentados por los tres modelos, consignados en la Tabla 33 indican un buen ajuste a los datos experimentales. Los modelos empleados a pesar de ser empíricos mostraron ser adecuados para la representación de los datos.

Tabla 33.

Bondad de ajuste de los modelos cinéticos empleados para predecir la absorción de aceite bajo las condiciones óptimas.

Parámetro (%)	Modelos					
	Monod		Moyano-Pedreschi		Primer orden	
	R^2_{adj}	SEP(%)	R^2_{adj}	SEP(%)	R^2_{adj}	SEP(%)
Absorción de aceite	0,9109	0,7042	0,9163	0,6824	0,9535	0,5087

Fuente. Este estudio

El modelo de primer orden presentó el mayor R^2_{adj} a 1 y menor SEP, en consecuencia, éste describe de mejor manera el comportamiento cinético de absorción de aceite en la elaboración del snack de uchuva bajo las condiciones de proceso establecidas. Jibaja (2010) obtuvo un mejor ajuste con los modelos de Monod y de Moyano- Pedreschi en fritura al vacío de hojuelas de tomate de árbol.

Por su parte, Osorio *et al.* (2015) reportaron que el modelo de Monod representaba mejor la cinética de absorción de aceite en fritura al vacío de arveja; con rangos de R^2 de 0,8840 a 0,9926. El ajuste de los modelos obtenidos, puede observarse también de una forma gráfica mediante el enfrentamiento de los datos predichos, con los datos experimentales, obteniéndose las Figuras 54, 55 y 45, cuya tendencia lineal es el mismo ajuste calculado por medio de la Ec de R^2 .

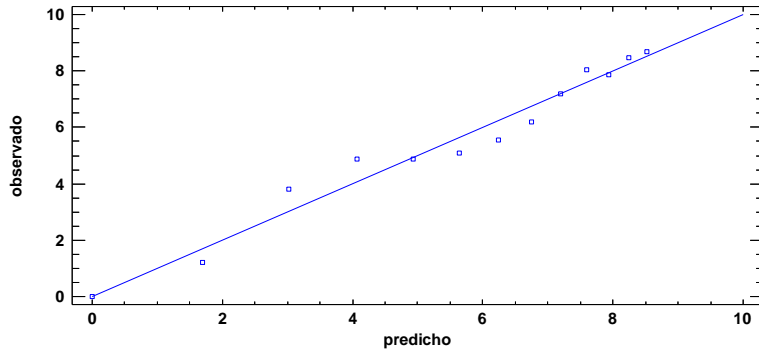


Figura 54. Gráfico de ajuste contrapuesto de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Monod

Fuente. Este estudio

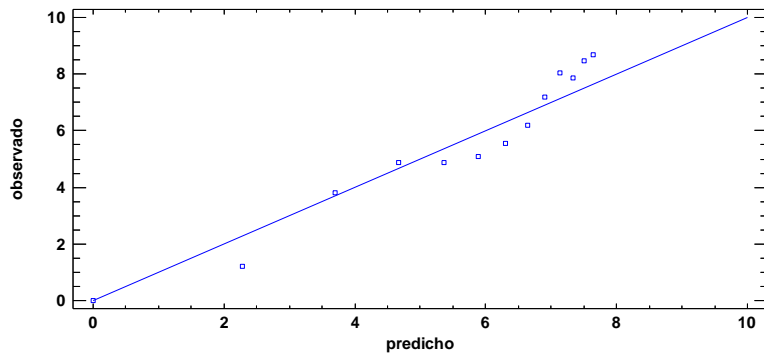


Figura 55. Gráfico de ajuste contrapuesto de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Moyano-Pedreschi

Fuente. Este estudio

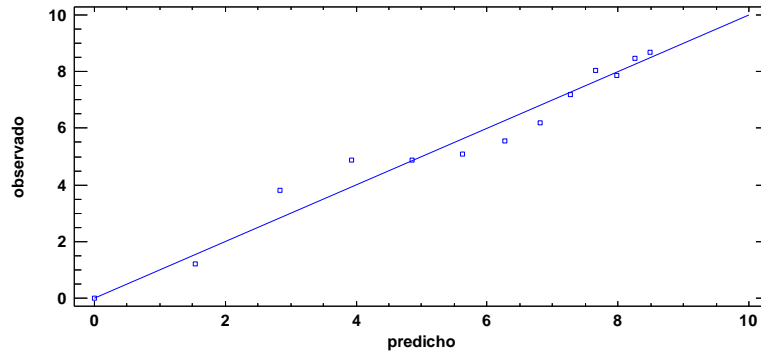


Figura 56. Gráfico de ajuste contrapuesto de datos experimentales vs datos predichos por el modelo de Primer Orden

Fuente. Este estudio

6.3.2 Correlación de la ganancia de aceite con la pérdida de humedad.

Gamble *et al.* (1987) y Garayo y Moreira (2002) observaron que el contenido de aceite no estaba directamente relacionado con la temperatura de fritura al vacío, sino con la humedad residual del alimento, que aumenta al disminuir la temperatura del producto. Esto lo corroboran Moreira, *et al.* (1995) que demuestran que la mayor retención de aceite en el producto tiene lugar cuando la mayor cantidad de agua ha salido del mismo.

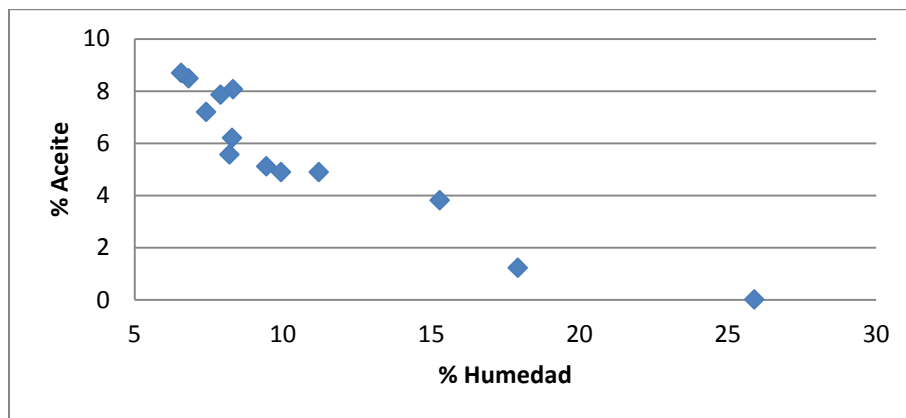


Figura 57. Relación de la ganancia de aceite con la pérdida de agua en la operación de fritura al vacío para la obtención de snacks de uchuva.

Fuente. Este estudio

La Figura 58 muestra que el mayor periodo de absorción de aceite se da hasta los 150 segundos, momento en el cual la humedad inicia su periodo de equilibrio, comportamiento que concuerda con lo reportados por Garayo y Moreira (2002) en chips de papa y por Gómez (2012) en fritura de kiwi. Lo anterior se debe, principalmente, a que hay mayor evaporación del agua superficial, por lo que los espacios capilares dejados por la misma son reemplazados por el aceite (Alvis-Bermúdez *et al.* 2016; Moya, 2011). Los resultados obtenidos permiten ratificar la relación que existe entre la pérdida de agua y la absorción de aceite y, que además, la absorción de aceite es un fenómeno complejo que ocurre a nivel superficial; tal como lo señalan Krokida *et al.* (2000), Moyano & Pedreschi (2006) y Troncoso & Pedreschi (2009).

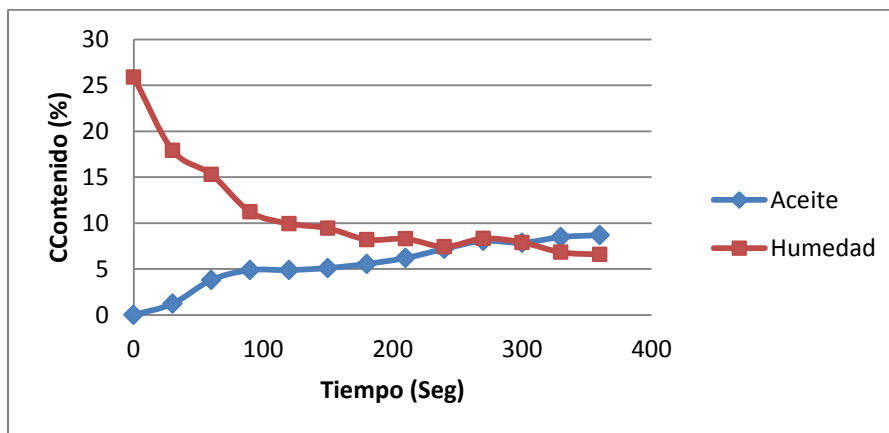


Figura 58. Cinéticas de absorción de aceite y de pérdida de humedad, bajo condiciones óptimas en la obtención de snack de uchuva.

Fuente. Este estudio

A pesar de que los productos tratados a vacío mostraron bajos niveles de ganancia de aceite, pero elevadas tasa de pérdida de agua, como consecuencia de los cambios estructurales, todavía existe una correlación positiva entre ambas fracciones. Esta relación se puede entender de dos maneras, que pueden ser complementarias: puede ser pensado que el vacío dejado por el escape del agua define el volumen del depósito que se ocupará por el aceite o que ambas cantidades,

pérdida de la humedad y la toma del aceite, son la expresión de una formación de la corteza y reducción de su permeabilidad con una relación subsecuente entre ambas fracciones (Mariscal and Bouchon, 2008; Dueik *et al.*, 2010).

Alvis-Bermúdez *et al.*, (2016) y Jibaja, (2010) afirman que existe una relación inversamente proporcional entre el contenido de aceite y la pérdida de agua, sin embargo, en la Figura 58 se aprecia que el contenido final de aceite no corresponde a la cantidad total de agua perdida.

Cuando las rebanadas se colocan en aceite caliente bajo presión de vacío, el agua libre se pierde rápidamente en la forma de burbujas. A medida que avanza la fritura, la superficie exterior se seca; perdiendo su hidrofiliidad, y por ende perdiendo su oleofobicidad, y el aceite puede adherirse a los snacks. Cuando se retiran de la freidora, el vapor en los poros se condensa y la diferencia en la presión entre el tejido circundante y el poro hace que el aceite adherido a la superficie se absorba en el espacio del poro desalojado por el agua, por lo que Esan *et al.*, (2015) sostiene que una humedad final más alta en el producto, dificultará que el aceite penetre en los espacios porosos

6.3.3 Comportamiento en el equilibrio.

Además de los ensayos anteriores, se realizó ensayos para conocer la humedad y contenido de aceite en un tiempo prolongado, es decir cuando se asume que estos dos parámetros han llegado a un verdadero equilibrio.

Para ello se fritó la muestra osmodeshidratada bajo la presión y temperatura óptimas por un periodo de 20 minutos en los cuales se obtuvo un contenido de aceite de 9,71% y humedad de 6,22%. En la imagen 30 se observan los snacks de uchuva obtenidos en tales condiciones.



Imagen 30 .Snack de uchuva obtenido en condiciones de equilibrio.

Fuente. Este estudio

En la Imagen 39 se observa que el color de los snacks no se vio afectado en gran medida a pesar del largo tiempo de fritura empleado. El color presentó tonalidades más opacas (reducción de L^*) y oscuras (reducción de b^*) que el producto obtenido en condiciones óptimas, causadas por la caramelización del azúcar y el inicio en el quemado del producto, no obstante las demás características organolépticas se conservaron bastante bien.

En las figuras 84 y 85 se observa que una vez superado el porcentaje de aceite y humedad del producto a tiempo óptimo, aun presentan variación para llegar al equilibrio, concretamente un aumento en aceite del 10,5% y una disminución del 5,27% en el contenido de humedad.

Gráficamente se puede observar la tendencia al equilibrio en el comportamiento de los datos recolectados para ambos parámetros, sin embargo, la absorción de aceite aún puede aumentar su contenido si el tiempo se ve prolongado mientras que el contenido de humedad verdaderamente tiende hacia un equilibrio en el cual no hay una mayor expulsión de agua, no obstante, la obtención del punto de equilibrio se realizó con intención meramente informativa, pues las condiciones óptimas ya han sido establecidas y se conoce el comportamiento en el periodo se definió.

Lo anterior confirma que la relación entre el contenido de aceite del producto está ligado a la pérdida de agua principalmente durante los primeros momentos de elaboración, es decir, antes de

llegar al punto crítico de pérdida de humedad, pues durante este periodo es en donde se aprecia la mayor y más severa pérdida de agua, facilitando el intercambio de materia. A partir de este punto como se observa con la humedad en equilibrio, su reducción difícilmente será menor, no obstante, el aceite aun presenta valores mayores con el aumento del tiempo, por lo que el aumento en el contenido de aceite vendría dado por diferentes fenómenos relacionados a su estructura, etapa de presurización y enfriamiento del producto.

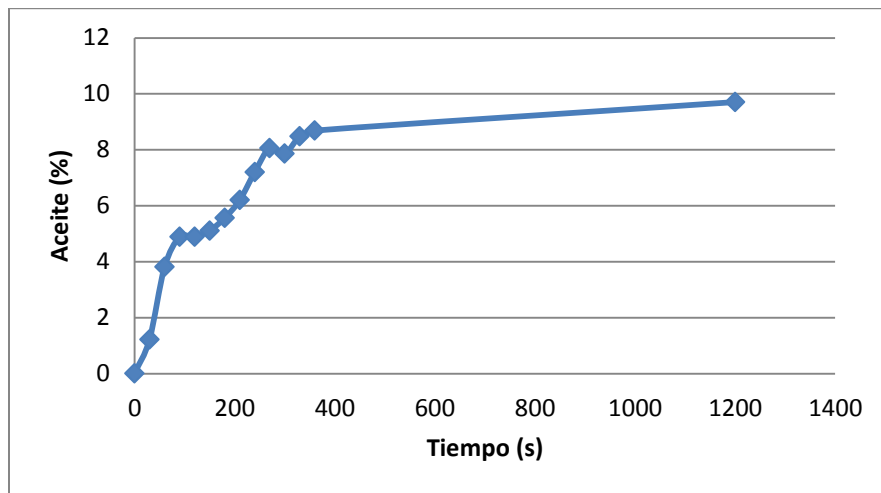


Figura 59. Cinética de absorción de aceite con punto proyectado al equilibrio del sistema.

Fuente. Este estudio

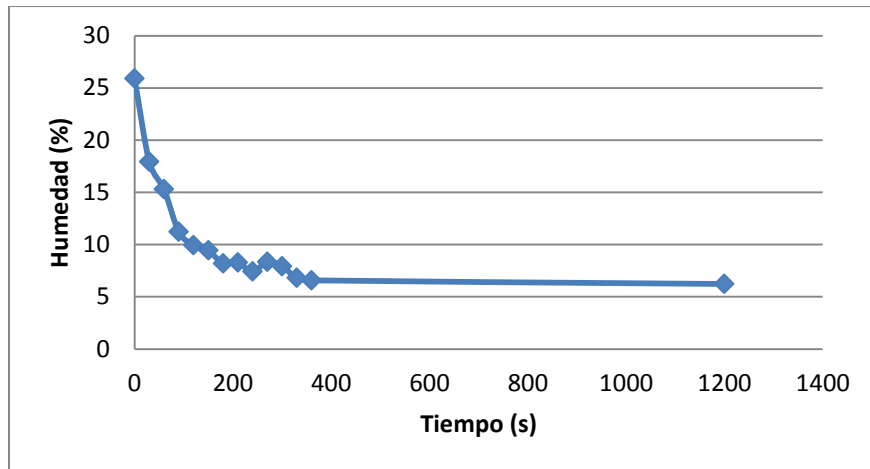


Figura 60. Cinética de pérdida de humedad con punto proyectado al equilibrio del sistema.

6.3.4 Comportamiento cinético de otras variables de respuesta bajo condiciones óptimas.

Fuente. Este estudio

6.3.4.1 Cinética del color

El color del chip influye en la aceptabilidad sensorial del alimento, pero también es un parámetro de control del proceso de fritura. Conforme el tiempo aumenta es natural que el color cambie sus tonalidades originales o frescas, no obstante, bajo el tiempo adecuado un producto frito tiende a coloraciones doradas valoradas por el consumidor.

Los cambios de los parámetros L, a, b del sistema CIE-L* a* b*, se asocian con reacciones de pardeamiento, degradación o pérdida de pigmentos respecto al vegetal fresco.

El valor final de ΔE obtenido bajo condiciones óptimas de manera experimental consignado en la Tabla 39, tuvo una diferencia porcentual de 23,26% con respecto al valor de 10,1873 (Tabla 34), estimado estadísticamente. En la Tabla 34 se presenta la evolución de los parámetros de color evaluados bajo condiciones óptimas de proceso, y su representación gráfica en la Figura 61.

Tabla 34.

Evolución de los parámetros de color en la elaboración de snacks de uchuva bajo condiciones óptimas.

Tiempo	L*	a*	b*	ΔE
0	48,05	13,5	38,07	5,7347
30	48,09	13,88	35,15	6,7195
60	48,305	15,125	34,21	7,3553
90	47,75	15,41	35,33	6,2571
120	45,405	12,15	32,245	7,6946
150	51,235	15,82	43,05	9,6906
180	51,275	12,27	35,49	9,7118
210	51,545	15,635	41,815	9,4947
240	52,485	13,215	33,495	11,529
270	54,285	15,365	46,175	13,851
300	49,2	7,57	27,99	14,702
330	57,44	13,395	41,67	15,234
360	46,23	14,88	26,045	13,276

Fuente. Este estudio

La representación gráfica de los datos consignados en la Tabla 34 se presenta en la Figura 61.

Como puede observarse existe variación en el cambio de color conforme el tiempo transcurre, lo cual es debido principalmente al parámetro b^* ; si se observa el comportamiento de los datos en la Tabla 34, se puede apreciar que los parámetros L^* y a^* muestran cierta estabilidad en el tiempo, caso contrario al parámetro b^* , pues al ser este el que tiende a coloraciones azuladas o amarillentas, se ve mayormente afectado en el cambio de coloración natural del producto.

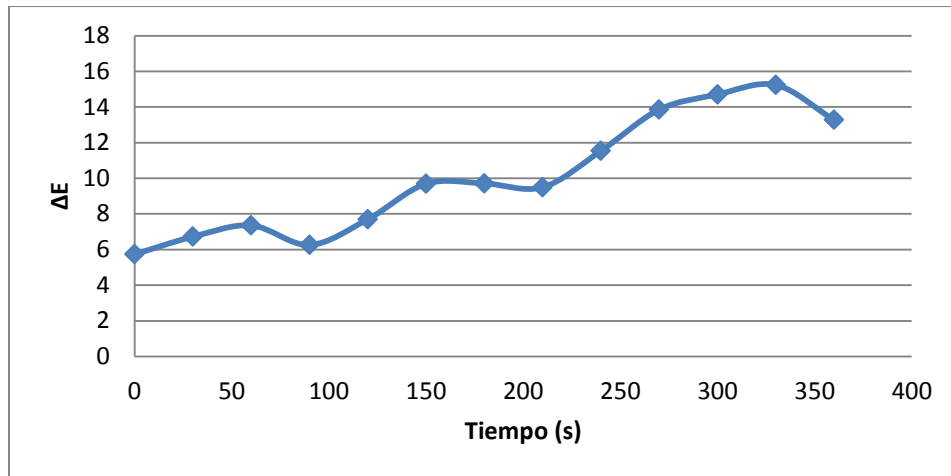


Figura 61. Cinética de Cambio de color para las condiciones óptimas de proceso

Fuente. Este estudio

Sahin (2000) investigó acerca de la importancia del seguimiento del parámetro L^* en los vegetales fritos. Una disminución de L^* indica un oscurecimiento del vegetal durante la fritura, lo que se asocia con las reacciones de pardeamiento no enzimático, lo cual puede ocurrir con mayor facilidad si el producto pasó por un proceso de deshidratación osmótica (Shyu & Hwang, 2011). El aumento en b^* se relaciona con ensayos en donde la presión de vacío aumenta, tal y como lo indica las condiciones óptimas. Gracias a las cuales se obtiene un producto con buena luminosidad y semejanza en el color amarillo de la fruta.

Dueik *et al.* (2010) correlacionaron la disminución del valor de los parámetros a^* y b^* del chip de zanahoria con la degradación de los carotenoides según la condición de fritura. Resultados de sus ensayos en fritura en vacío asociaron la preservación del 90% del trans α -caroteno y del 86% trans β -caroteno con la preservación de los parámetros a^* y b^* en fritura en vacío.

6.3.4.2 Cinética de la Dureza.

Un buen atributo de textura está dado por la cualidad “crunch” del producto frito, que denota frescura y alta calidad. El crujido debe ser firme y romperse fácilmente emitiendo un sonido.

Las propiedades mecánicas del tejido cambian drásticamente durante la fritura como resultado de los procesos químicos relacionados con el calor y la transferencia de masa, con reacciones químicas que se producen durante las operaciones de fritura. Los tejidos vegetales demuestran un ablandamiento inicial que es seguido de un endurecimiento debido al desarrollo progresivo de una corteza deshidratada (Pedreschi, 2012), así como se observa al inicio de los datos consignados en la Tabla 35.

Los datos de dureza medidos con el texturómetro fueron muy variables, debido entre otros aspectos, a la variedad de formas finales de los chips y a la aglomeración entre ellos (Imagen 31).



Imagen 31. Rodajas de snack de uchuva aglomeradas.

Fuente. Este estudio

Tabla 35.

Evolución del cambio del parámetro dureza durante la elaboración de snacks de uchuva bajo condiciones óptimas.

Tiempo	Dureza (N)
0	0 (Sin crocancia)
30	2,115 (Sin crocancia)
60	6,6263 (Sin crocancia)
90	9,4458
120	13,5263
150	13,1549
180	10,7509
210	11,7152
240	10,3538
270	15,0392
300	13,5779
330	13,7656
360	14,67

Fuente. Este estudio

El valor final de dureza obtenido bajo condiciones óptimas de manera experimental consignado en la Tabla 35, tuvo una diferencia porcentual de 23,39% con respecto al valor óptimo de 19,15 N (Tabla ___), cuyo valor fue calculado por el programa estadístico. Estos valores fueron semejantes a los reportados por Yamsaengsung *et al.* (2011) quien obtuvo una máxima fuerza requerida para romper chips de banana en un rango desde 13,39 a 24,09 N. Mientras que una dureza considerablemente mayor la obtuvo Dueik *et al.*, (2010), en zanahoria,

con valores de 5.68N. Shyu y Hwang, (2011), obtuvo una fuerza de ruptura de 7.16N en manzana y Shyu *et al.*, (2005) obtuvo en ensayos con zanahoria una fuerza de ruptura de 5.88N para su combinación óptima de factores. Para chips de piña, Pérez Tinoco *et al.*, (2008) reporta una fuerza de ruptura inferior a 1.9N, y Romero, (2015) reporto un rango de valores de dureza para fritura al vacío de mango de 0.18 N a 0.41 N.

La representación gráfica de los valores de dureza en el tiempo se da en la Figura 62.

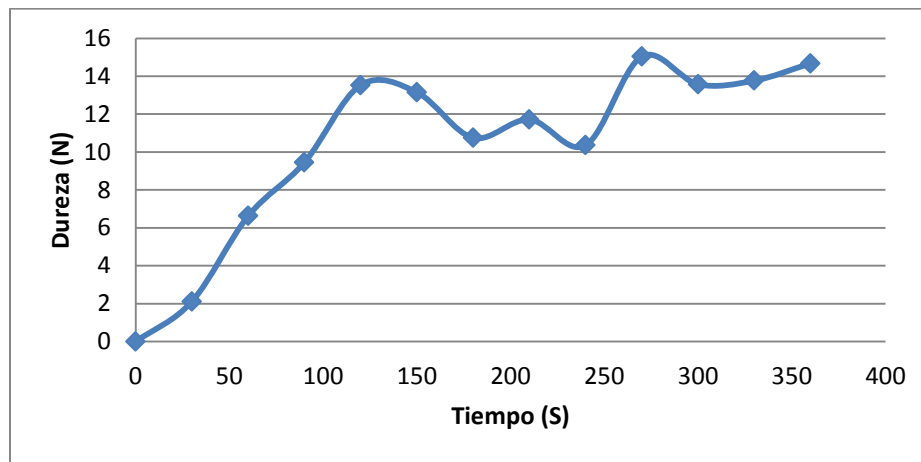


Figura 62. Cinética de Dureza para las condiciones óptimas de proceso

Fuente. Este estudio

Se determinó que cuando el producto alcanza una dureza de 8,5 N ya muestra crocancia.

Autores como Jijaba, (2010) determina que hasta los 90 segundos de proceso en fritura al vacío de tomate de árbol, los productos no muestran la característica de crocancia.

6.3.4.3 Cinética de la Aw.

El valor límite de Aw para el crecimiento de cualquier microorganismo es alrededor de 0,6. Por debajo de este valor, el deterioro de los alimentos se debe principalmente a las reacciones enzimáticas y químicas, tales como la oxidación (Dueik *et al.* 2010).

El valor final de Aw obtenido bajo condiciones óptimas consignado en la Tabla 36, tuvo una diferencia porcentual de 8,13% con respecto al valor de 0,271 calculado por el programa

estadístico.

Tabla 36.

Evolución del cambio del parámetro A_w para la elaboración de snacks de uchuva bajo condiciones óptimas.

Tiempo	A_w
0	0,755
30	0,619
60	0,432
90	0,404
120	0,3495
150	0,369
180	0,325
210	0,32
240	0,3315
270	0,3175
300	0,315
330	0,326
360	0.295

Fuente. Este estudio

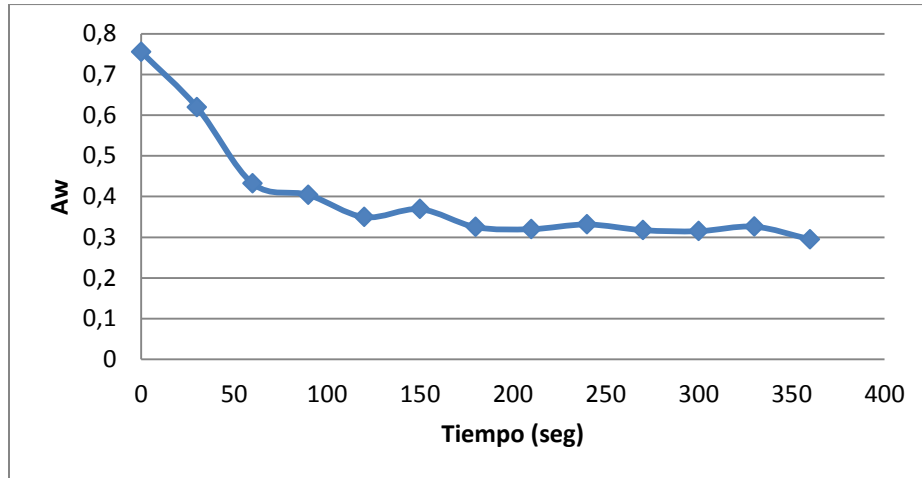


Figura 63. Cinética de pérdida de Aw para las condiciones óptimas de proceso

Fuente. Este estudio

El comportamiento de la disminución de la Aw es similar al comportamiento de pérdida de humedad por evidentes razones, mostrando una etapa de rápida reducción sin llegar a ser exponencial durante los primeros 110 segundos, e iniciando una etapa de equilibrio desde los 210 segundos, logrando alcanzar niveles lo suficientemente bajos para asegurar la calidad microbiológica del alimento y un almacenamiento posterior más sencillo.

6.3.5. Comparación fritura al vacío vs fritura atmosférica.

En pruebas preliminares se obtuvo que la uchuva fresca, en condiciones de fritura atmosférica, comienza a quemarse en un tiempo de 1,5 minutos, como puede observarse en la Imagen 32, por lo que la comparación se ajustó a bajos tiempos de procesamiento.



Imagen 32. Pruebas preliminares de fritura atmosférica de uchuva.

Fuente. Este estudio

La fritura en condiciones atmosféricas se realizó en el mismo equipo para fritura a vacío, sin llegar a generar vacío, de manera tal que la relación aceite: muestra no se altere, y la muestra quede sumergida totalmente. La fritura en condiciones de vacío se hizo a la temperatura y presión óptimas que son $T = 108^{\circ}\text{C}$, $P = 0,54 \text{ Bar}$, en un mismo tiempo de 1,5 min. Los valores de contenido de aceite y humedad obtenidos con ambos métodos se muestran en la tabla 37.

Tabla 37.

Comparación del contenido de aceite y humedad en uchuva bajo condiciones de fritura atmosférica (FA) y a vacío (FV).

Muestra	Contenido de aceite %		Contenido de humedad %	
	FA	FV	FA	FV
Fresca	27,13	17,205	20,6358	21,13
Osmodeshidratada	8,3348	4,8798	7,7038	11,21

Fuente. Este estudio

La absorción de aceite está directamente relacionada con la cantidad de humedad inicial que posea el alimento; esto puede ser verificado al comparar la cantidad de aceite ganado por la uchuva fresca respecto a la uchuva osmodeshidratada. Autores como Gómez, (2012) reportan el

mismo comportamiento. Estos resultados permiten ratificar la relación que existe entre la humedad inicial del producto y la absorción de aceite.

En cuanto al efecto del vacío al comparar la absorción de aceite de una muestra de uchuva fresca en condiciones atmosféricas versus condiciones de vacío, vemos un cambio porcentual del 36,58% a favor de la fritura a vacío, un porcentaje bastante apreciable que demuestra la ventaja de la fritura al vacío. Al comparar ambos métodos de fritura con muestra osmodeshidratada, vemos una diferencia porcentual del 41,45% a favor de la fritura sub atmosférica. Garayo y Moreira (2002) y Silva *et al.* (2008) corroboran esta información.

Dueik *et al.*, (2010) también informaron una reducción del 50% en el contenido de aceite en chips de zanahoria debido a la fritura a vacío, con respecto a la fritura convencional. Da Silva y Moreira, (2008) reporta que en batatas y los frijoles verdes fritos al vacío mostraron menos contenido de aceite (24% y 16% menos, respectivamente) que los fritos en la freidora tradicional. En el caso de las papas azules y los mangos, el método de fritura tradicional resultó en un menor contenido de aceite, alrededor del 56% menos.

Mariscal y Bouchon, (2008) reporta una diferencia del 21% hasta un 55% dependiendo la temperatura empleada entre tipos de fritura. Crosa, *et al.*, (2014) encontró una reducción del 61.45% en el contenido de aceite al comparar fritura a vacío con fritura tradicional en chips de papa quien presume que esta reducción de la materia grasa en la fritura en vacío se atribuyó al escurrido por centrifugación previo a la recomposición de la presión atmosférica.

Mientras que por el contrario, Lea Wexler *et al.*, (2016), reporta que el contenido de aceite de las patatas fritas al vacío (92.3 a 155.8 g / kg) fue en todos los casos más alto que en las patatas fritas convencionalmente (<93.2 g / kg) y parece que este no es un parámetro de calidad limitante para freír al vacío. Al igual que el comportamiento encontrado por Troncoso *et al.*, (2009b).

Al procesar las mismas muestras de uchuva, fresca y deshidratada, bajo las condiciones óptimas del proceso de fritura al vacío ($T=108^{\circ}\text{C}$, $t = 5,53 \text{ min}$, $P = 0,54 \text{ Bar}$), se obtuvieron los resultados de la tabla 38.

Tabla 38.

Contenido de aceite y humedad para uchuva fresca y osmodeshidratada bajo condiciones óptimas de fritura al vacío.

Muestra	Contenido de Aceite	Contenido de humedad
	FV	FV
Fresca	30,3607	13,448
Osmodeshidratada	8,7072	7,4736

Fuente. Este estudio

Al comparar la absorción de aceite en FV de la Tabla 43 con los de la Tabla 42, se observa el aumento del contenido de aceite causado por el aumento del tiempo de fritura. Se observa que a presión atmosférica y con 1,5 min, la muestra fresca muestra un contenido final de aceite muy cercano al de FV en 5,5 minutos. Realizando la misma comparación pero con la muestra osmodeshidratada se tiene que a la muestra FA le faltó poco para igualar el contenido de aquella que fue freída sub atmosféricamente, un comportamiento interesante y de relevancia, pues a pesar de tener 4 minutos de proceso de diferencia logró tener 4,27% menor contenido de aceite, demostrando de esta manera la gran importancia de la aplicación de fritura al vacío contra la fritura atmosférica, pues los resultados indican que si la fritura atmosférica se hubiese prolongado, el contenido de aceite final en el producto sería considerablemente mayor.

En la Tabla 37 se observa que las uchuva frescas y deshidratadas que se fritaron en condiciones de vacío, tuvieron una humedad mayor frente a las muestras freídas atmosféricamente, concretamente 2,33% mayor para la muestra fresca y 31,27% mayor para la

muestra deshidratada. Lo cual podría estar relacionado con el menor porcentaje de aceite ganado en condiciones de vacío, pues existen menos espacios capilares desalojados por el agua.

En cuanto a su caracterización sensorial, las muestras frescas que se fritaron atmosféricamente, presentaron un color no llamativo, sus bordes se quemaron, denotaban gran cantidad de aceite superficial y su sabor no era agradable, además su consistencia se volvió muy blanda (Imagen 33).



Imagen 33. Uchuva fresca freída bajo condiciones atmosféricas

Fuente. Este estudio

Las muestras frescas que se fritaron a vacío tomaron una ligera crocancia, sin embargo eran muy frágiles, la coloración se tornó de un amarillo más brillante (Imagen 34), mostrando de manera evidente la ventaja de la fritura a vacío, y su sabor era ácido pero de buen gusto. Sin embargo también contenían gran cantidad de aceite en superficie.



Imagen 34. Uchuva fresca fritada bajo condiciones sub atmosféricas.

Fuente. Este estudio

Las muestras osmodeshidratadas que se frieron en condiciones atmosféricas no tardaron en caramelizarse, pues gracias a la presencia del oxígeno la caramelización de la sacarosa se evidencio inmediatamente y su sabor se volvió amargo y característico de un producto quemado (Imagen 35).



Imagen 35. Uchuva osmodeshidratada fritada bajo condiciones atmosféricas.

Fuente. Este estudio

6.3.6. Caracterización fisicoquímica de los snacks de uchuva.

A pesar de optar por condiciones que proporcionen las características necesarias para una buena fritura y cualidades sensoriales apetecibles por el consumidor, las mismas pueden provocar disminuciones en la calidad nutricional del producto, pues las altas temperaturas generan el deterioro de componentes importantes y de interés como lo es el contenido de vitamina C, un compuesto altamente delicado a la exposición al calor, además de deteriorar algunos otros componentes de interés. No obstante, como se analiza en el apartado de análisis sensorial, el producto demuestra tener características organolépticas agradables para su consumo.

Bajo las condiciones óptimas de fritura de $T = 108^{\circ}\text{C}$, $t = 5,53$ min, $P = 0,54$ Bar, se obtuvieron las características consignadas en la Tabla 39.

Tabla 39.

Caracterización fisicoquímica del snack de uchuva obtenido en las condiciones óptimas de proceso.

Peso de la rodaja (g):	0,38 ± 0,34
Color (*L, *a, *b) / ΔE	47,52 // 13,68 // 20,20 / 13,04
Actividad de agua Aw:	0,29 ± 0,01
Vitamina C (mg/L):	< 25
Contenido de Humedad (%)	7,39 ± 0,57
Dureza (Newton)	14,02 ± 8,44
Contenido de aceite (%)	8,58 ± 0,14

Fuente. Este estudio

Pudo observarse un cambio en la estructura de la uchuva, la cual ahora presenta una superficie oleosa y consistencia firme y dura pero crocante; el fruto fue sometido a dos procesos de deshidratación, por lo que al expulsar casi la totalidad del agua, el peso promedio de la rodaja disminuyó en un 56,13%, (ver Tabla 7), aunque la compactación de varias rodajas en una sola, afectó el pesaje del producto tras la fritura. En comparación al fruto fresco, la pérdida de agua fue de 90,91% y se obtuvo una reducción en un 69,63% para la actividad acuosa, de manera tal que proporciona estabilidad y resistencia del alimento al ataque de microorganismos.



Imagen 36. Muestra de uchuva frita (snacks de uchuva)

Fuente. Este estudio

Con respecto al color, uno de los atributos más evidentes en un producto frito, un $\Delta E = 13,04$ indica un cambio que puede notarse por percepción visual, sin embargo, se obtuvo un color amarillo/dorado bastante luminoso y llamativo.

El parámetro L^* (luminosidad) pasó de 42,56 a 48,08 en *DO* y posteriormente en la fritura a 47,52, indicando un aumento en la luminosidad. El parámetro a^* atribuido en su aumento a tonalidades más rojizas y en su disminución a colores más verdes, varió de 14,99 a 13,5 en *DO* y posteriormente a 13,68, indicando pérdida en las tonalidades más anaranjadas o rojizas. Por último en cuanto al parámetro b^* , que tiende al color amarillo cuando aumenta y a azul cuando disminuye, se obtuvo 38,8 en promedio para uchuva fresca y 38,07 en *DO* y 20,20 después de la fritura, lo cual indica que el producto perdió coloración amarilla provocando que su color característico disminuya y siendo esta la razón del alto ΔE encontrado.

Villamizar, *et al.* (2011) encontraron que el contenido de vitamina C en rodajas de mango presentó una reducción del 43,2% respecto al contenido inicial, sin embargo con el del tratamiento a presión atmosférica, la vitamina C se redujo en 93,8%. El contenido de Vitamina C presente en el snack de uchuva fue inferior al límite de detección del método utilizado (< 25 ppm), debido a la degradación ocasionada por los métodos de osmodeshidratación y luego fritura al vacío. Cazar, (2015) tampoco detectó presencia de vitamina C en snacks de piña sometidos a pre tratamiento de osmodeshidratación y luego a fritura al vacío.

Con respecto al parámetro de dureza, presenta la crocancia necesaria para que sea agradable en su consumo. Cabe mencionar que el producto final, no presenta una forma individual de rodajas, sino que, debido a su superficie pegajosa, tiende a unirse con el resto de producto (Imagen 46). Se debe tener en claro que durante la resolución de la matriz experimental se encontraron algunas muestras en las cuales este problema era más grave, pues se lograba obtener hasta la totalidad de la muestra tratada unida en una sola masa, sin embargo, el producto óptimo presentó formas más individuales.

6.3.7. Evaluación de la aceptabilidad sensorial.

La calidad global y sensorial de un alimento puede evaluarse mediante análisis afectivos

(preferencia o aceptación), utilizados ampliamente para determinar el grado de aceptabilidad del alimento por categorización de criterios como son las opiniones hedonistas (Romero- Aguilar, 2015).

Los snacks de uchuva fueron sometidos a una evaluación sensorial afectiva mediante una escala hedónica de 9 puntos, con la ayuda de 15 panelistas semi-entrenados, en la cual se analizaron los parámetros de olor, color, sabor, textura, forma, dureza, sensación superficial de aceite y sensación de aceite en boca. El formulario de preguntas se encuentra en el Anexo 19.

6.3.7.1 Olor.

El parámetro del olor forma parte esencial en el análisis de un alimento por su directa correlación con el parámetro del sabor. Para esta prueba los panelistas tomaron la muestra, respiraron hondo aire fresco, y pasaron la muestra cerca de su nariz para percibir correctamente el aroma del producto, en el cual se esperaba la detección de un aroma dulce y un sutil olor a aceite.

Con base a la escala hedónica aplicada, se observa en la Figura 64, que 3 panelistas, es decir, el 20% de participantes, dieron una calificación de 8, es decir, les pareció bastante agradable, 5 panelistas (33%), le dieron al producto una calificación de 7 de 9, seguido de un 27% quienes no les gustó ni disgustó el aroma del producto, mientras que tan solo a dos panelistas, o sea el 13 % de participantes, les disgustó un poco el aroma, con una calificación de 4.

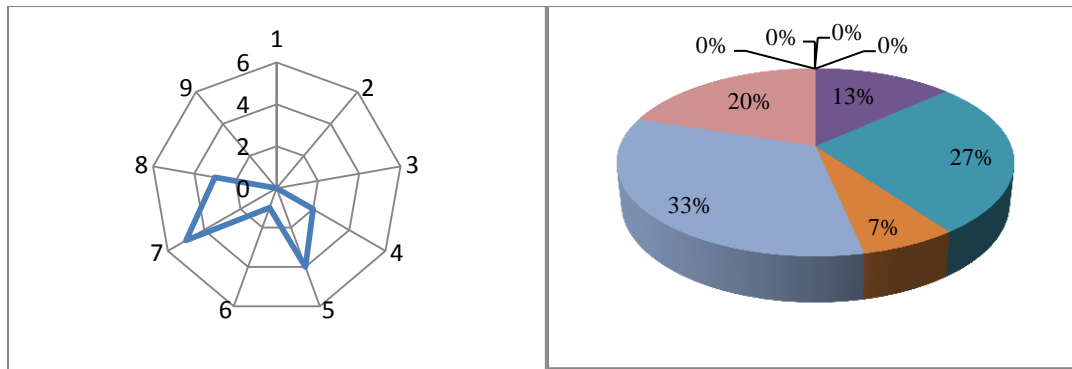


Figura 64. Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro olor.

Fuente. Este estudio

Los panelistas sugirieron que el aroma podría mejorar disminuyendo la cantidad de aceite presente en el producto, pues su aroma era perceptible en gran medida.

6.3.7.2 Color.

Pedreschi, (2012) expone que el color se considera el atributo de calidad visual más importante para la percepción de la calidad de los alimentos. La percepción visual es una mezcla de color, tamaño y forma del producto.

El color natural de la uchuva es agradable, amarillo brillante y atrae la mirada del consumidor hacia el producto e invita a su consumo. El color dependerá principalmente del grado de madurez.

Un total de 11 panelistas es decir, el 73% calificó el color con 8, un 14% calificó con 9 y el 14% restante lo calificó con 7 (Figura 65).

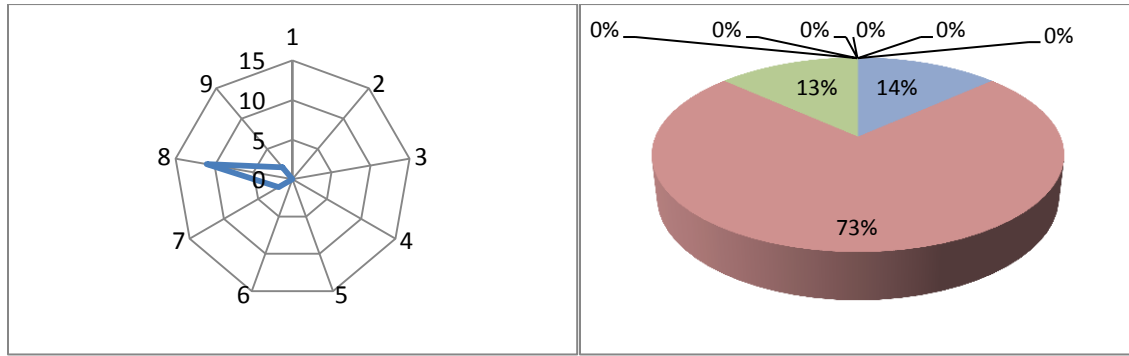


Figura 65. Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro color.

Fuente. Este estudio

Mediante pruebas preliminares, se determinó que el gusto de esta clase de productos tiene una mejor percepción por el consumidor cuando es similar al fruto original. A partir de ello, los panelistas consideran que hay similitud del color del producto con la uchuva original. En la Figura 66, se observa que tan solo un panelista reportó que no existe parecido con el fruto, 8 panelistas reportaron un color similar al fruto, mientras que 6 panelistas reportaron que el color aparentaba lo más posible el color de la uchuva fresca.

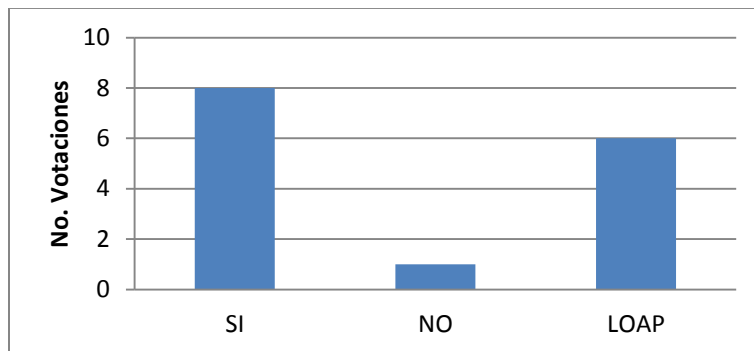


Figura 66. Consideración de los panelistas frente a la similitud del color del snack con el de la uchuva fresca.

Fuente. Este estudio

Cómo puede apreciarse, el color del producto obtuvo excelentes apreciaciones confirmando que el tratamiento fue adecuado para la conservación de esta característica.

6.3.7.3. Sabor.

El empleo de vacío en el proceso de fritura ayudó en la obtención de un sabor agradable y buena sensación del producto a la hora de su degustación, debido a la menor cantidad de aceite absorbido, en contraste con la fritura atmosférica. Además el tiempo óptimo permitió que la muestra no se quemara. El sabor fue descrito por los panelistas como dulce con una sensación crujiente, con tonos un poco ácidos.

En la Figura 67, Se observa que un 73% de los panelistas calificaron el sabor del producto con una puntuación de 8 (muy agradable), 23% con calificación de 9, y 13% con calificación de 7.

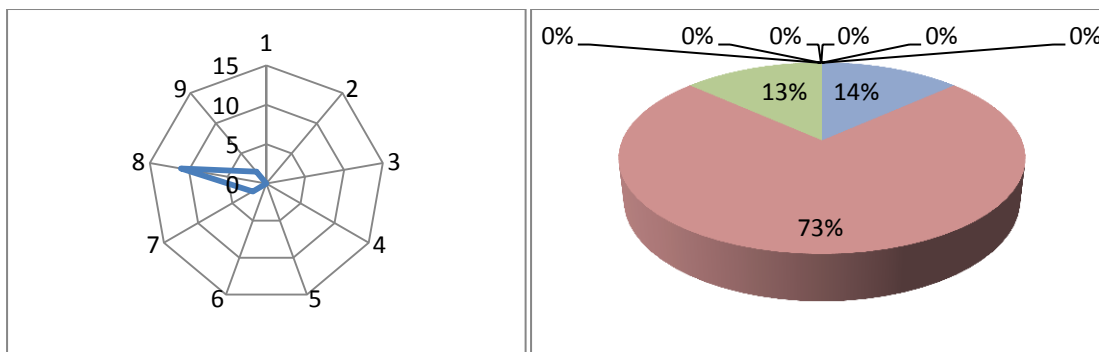


Figura 67. Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro sabor.

Fuente. Este estudio

8 panelistas no encontraron ninguna similitud del sabor del snack frente al sabor de la uchuva fresca, sobre todo por la falta del fuerte sabor ácido, 6 panelistas consideraron que el sabor tuvo alguna similitud, explicaba que el producto puede asumirse que es a base de uchuva, pero no conserva en gran medida el sabor.

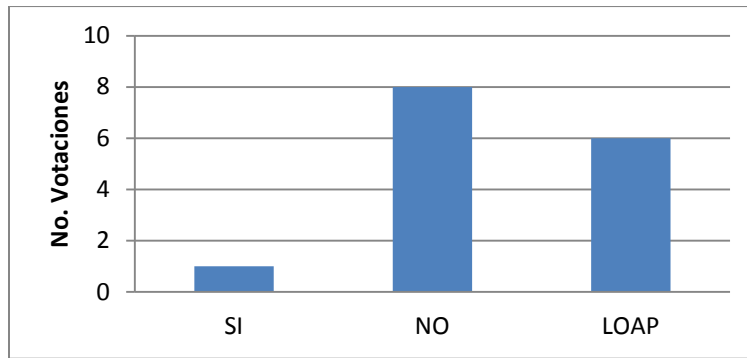


Figura 68. Consideración de los panelistas frente a la similitud del sabor del producto con el sabor original de la uchuva.

Fuente. Este estudio

6.3.7.4 Textura.

De acuerdo a Krokida *et al.* (2000), un chip debe ser firme y chasquear fácilmente cuando se dobla emitiendo un sonido crujiente.

40% de los panelistas calificaron con 8 la textura del producto, un 27% la calificación con 7, 13% con 6, 14% con 4 y solamente 1 la calificó con 9 puntos. Es comprensible la variabilidad de las opiniones en este parámetro, pues mezcla distintos conceptos y sensaciones.

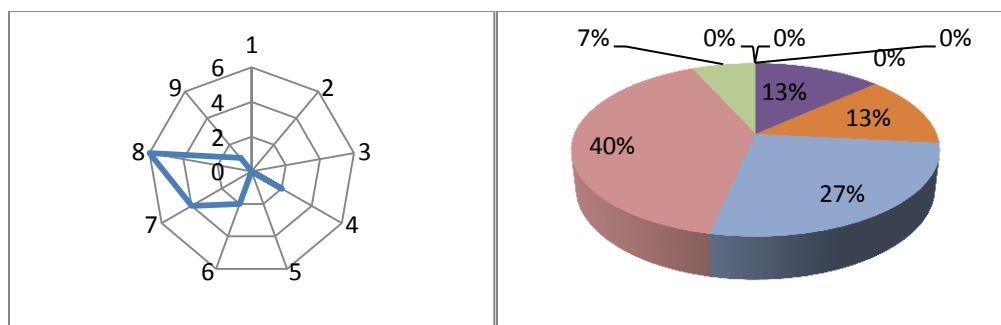


Figura 69. Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro textura.

Fuente. Este estudio

6.3.7.5 Forma.

La forma de rodaja proporciona la una forma final de hojuela, lo cual es apreciado por el consumidor.

Este parámetro presentó la dificultad de que el producto final no tuvo una forma homogénea, pues en el proceso de fritura, las rodajas presentaron encogimiento, además debido a la característica pegajosa que el alimento toma cuando está caliente, las hojuelas se pegaron entre sí, tomando geometrías aún más irregulares y de tamaños muy variables; esto resultó en uno de los principales defectos reportado por los panelistas en el producto, pues esto genera que el producto adquiera durezas distintas para su consumo.

Como se observa en la Figura 70, la forma no fue del agrado de los panelistas y la mayor calificación fue de indiferencia frente a esta característica. Los panelistas opinaron que el principal problema de la forma del snack es la compactación de varias hojuelas en una sola y para mejorar esto sugirieron optar por una geometría de barra para el producto, para que no sea necesario realizar operaciones posteriores para intentar separar las hojuelas.

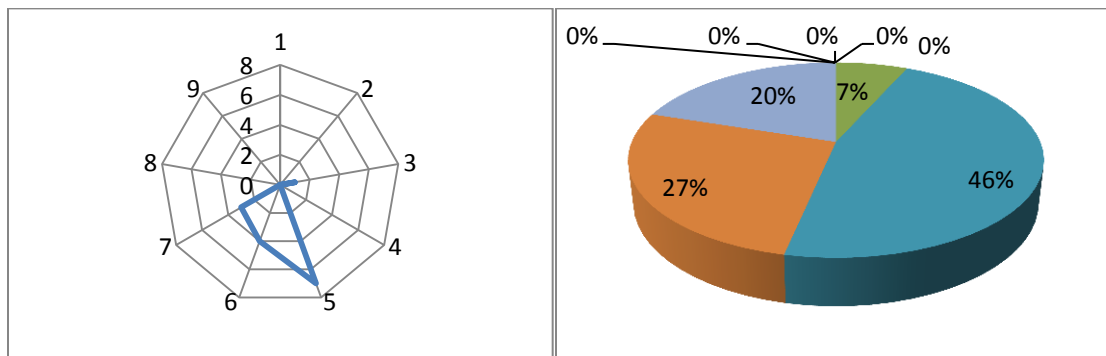


Figura 70. Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro forma.

Fuente. Este estudio

6.3.7.6 Dureza.

En la evaluación de este parámetro, recordando que la puntuación para este punto es distinta a las ya evaluadas, se obtuvo que 10 panelistas (60%) consideraron que el producto presentaba una dureza adecuada, mientras que el 40% restante de los panelistas tacharon al producto de ligeramente duro con una calificación de 6 a 8, donde 9 indica una dureza elevada. La dureza del producto fue muy variable, debido al defecto de compactación mencionado anteriormente. La dureza individual de una rodaja fue leve y con alta crocancia.

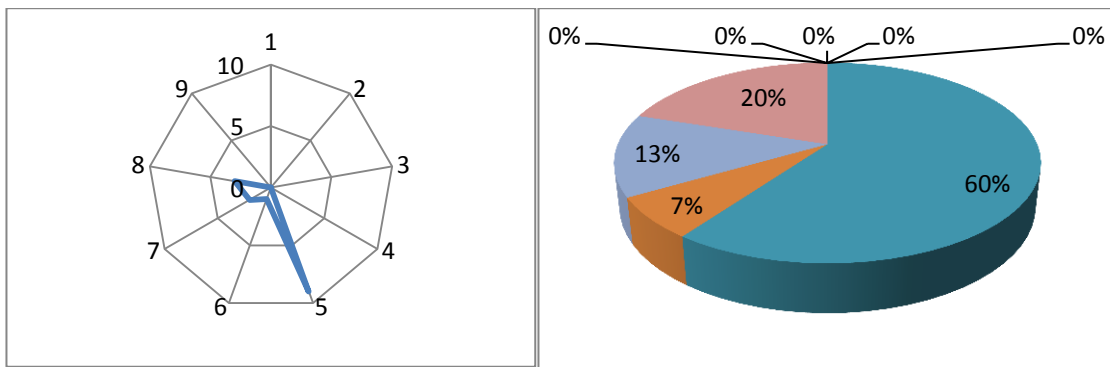


Figura 71. Diagrama radial de votaciones en escala hedónica de 9 puntos y diagrama de torta para el parámetro dureza.

Fuente. Este estudio

6.3.7.7 Sensación de aceite superficial.

La composición de la uchuva carece de estructuras que facilitan la retención del aceite en el producto, a diferencia de otros snacks fritos. Esto provoca que el aceite que queda en los dedos o mano, incluso en el paquete en el que se almacena, generando rechazo por el consumidor.

Tomando como base la calificación brindada a los panelistas frente a la sensación de aceite superficial, una calificación por debajo de 5 puntos radica en un producto deficiente, pues presenta una cantidad excesiva de aceite. La Figura 72 muestra que los panelistas desaprueban el producto en cuanto a este factor, pues un 80% de los panelistas dieron puntajes por debajo de 5, y

tan solo un 20% hallaron ligeramente adecuada la cantidad de aceite remanente en los dedos al consumir el producto.

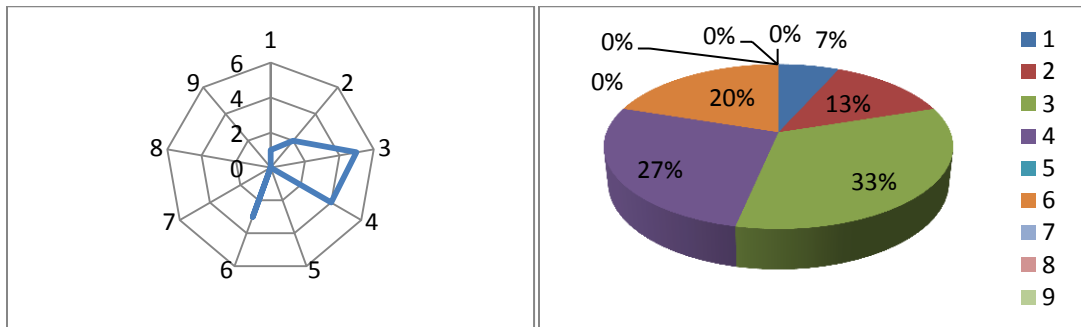


Figura 72. Diagrama radial de votaciones en escala de 9 puntos y diagrama de torta frente a la sensación superficial de aceite en el producto.

Fuente. Este estudio

Este resultaría ser la primera dificultad sensorial del alimento para la cual hará falta adecuar alguna operación, procedimiento o técnica que permita la reducción del aceite remanente en superficie, como podría ser un equipo de fritura al vacío con sistema de centrifugación.

6.3.7.8 Sensación de aceite en boca.

Este parámetro va directamente ligado con el sabor del producto, pues a pesar de que un alimento presente un agradable sabor, si al ingerirlo se nota un excesiva sensación oleosa, puede ser desagradable para el consumidor, lo cual provocara su inmediato rechazo.

En el punto anterior se encontró que la sensación de aceite superficial fue elevada, lo cual predispone al consumidor a que piense que el producto tendrá un mal sabor o que al saborearlo no sea agradable, sin embargo, un producto frito obtiene percepciones distintas con el paladar, cuyo caso fue el de este producto, pues se obtuvo que 8 panelistas lo calificaron con puntajes superiores o iguales a 7, mientras que a un 20% le fue indiferente, 1 panelista le dio calificación de 4 y solo 2 panelistas consideraron que el producto presentaba mucho aceite a la hora de su consumo brindándole una calificación de 3 (Figura 73).

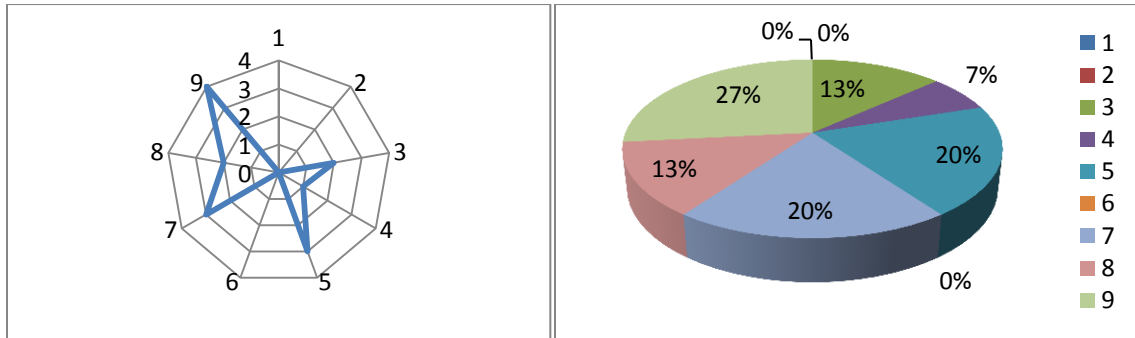


Figura 73. Diagrama radial de votaciones en escala 9 puntos y diagrama de torta frente a la sensación de aceite en boca.

Fuente. Este estudio

6.3.7.9 Interés de los panelistas por el producto.

Como ya se mencionó, el tipo de prueba presentada a los panelistas para la evaluación del producto no permite obtener una apreciación real del mercado para determinar la aceptación del producto.

Sin embargo acudiendo a sus gustos personales, se incluyeron dos preguntas para determinar su inclinación o no por el producto, desde su carácter de potencial comprador.

En la Figura 74 se observa una muy buena aceptación por el producto, pues de los 15 panelistas, a tan solo a uno de ellos le fue indiferente, mientras que el resto le brindó una alta calificación de al menos 7 puntos dando a entender, que el producto logró captar su atención y los motiva a adquirirlo para su consumo.

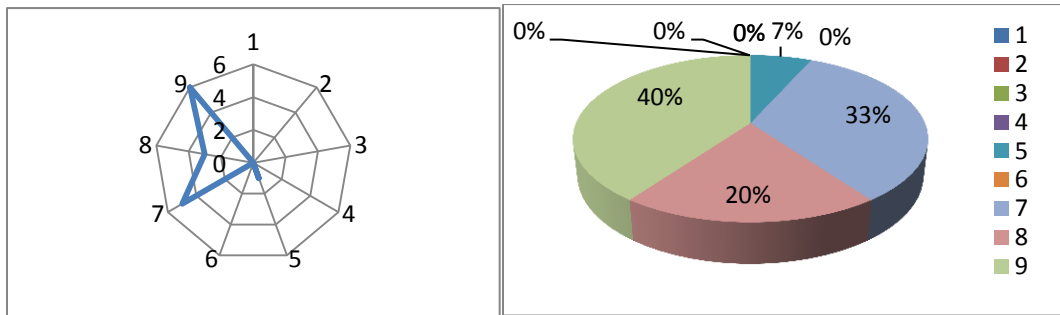


Figura 74. Diagrama radial de votaciones en escala de 9 puntos y diagrama de torta para determinar el interés de los panelistas por el producto.

Fuente. Este estudio

Los panelistas consideraron que el producto posee el potencial necesario para competir en el mercado de los snacks, al presentar una idea innovadora y fuera de lo común, con un producto de buenas características sensoriales y llamativo para todo el público, indicando que el 100% de los panelistas participantes comprarían el producto. Por supuesto estas apreciaciones no son más que ello, pues para la determinación de la viabilidad comercial del producto hará falta la elaboración de un estudio de mercado.

Se observó que al almacenar el producto en paquetes individuales, el snack expulsa mucho aceite, presentando una característica no apetecida por el consumidor. Pues el aceite se desprende a la superficie del producto y deja una película en los dedos a la hora de su consumo y en las paredes del empaque que lo contiene.

El producto logró mantener buenas características en al menos 1 mes de almacenamiento en refrigeración, sin embargo, con el tiempo se nota disminución en la crocancia y el sabor a aceite se acentúa pues su degradación presenta tonos ligeramente amargos.

Otro inconveniente radica en el mayor costo del equipo en comparación con una freidora utilizada a presión atmosférica. El aspecto más difícil reside en el diseño y la construcción del sistema continuo de admisión y salida. Sin embargo, el gasto operativo de freír al vacío es muy

similar al de freír a presión atmosférica, ya que el costo de generar vacío sería compensado por la vida útil más larga del aceite. La aplicación comercial de esta tecnología, por lo tanto, dependerá del valor agregado adicional que pueda aportar a los nuevos productos alimenticios en comparación con otras tecnologías.

Por último, se encontró, que al mantener el producto al aire libre en periodos no muy prolongados, este tiende a ganar humedad, e inicia a presentar una sensación más pegajosa al tocarlo, causando que al consumirlo pierda crocancia.

6.3.8. Cálculo de rendimientos en el proceso de obtención de snacks de uchuva

En el cálculo del rendimiento de un proceso determinado, hace falta conocer la evolución de la cantidad precisa del producto durante cada etapa a la que es sometido.

La obtención de snacks de uchuva requiere de dos operaciones en las cuales sufre un cambio estructural y sensorial, en cada una de las cuales se debe analizar la pérdida y ganancia de componentes.

En la Figura 12 se observa el procedimiento detallado para la obtención del producto, mientras que en el Figura 75, de manera resumida analiza el cambio del producto enfocado en su pesaje.

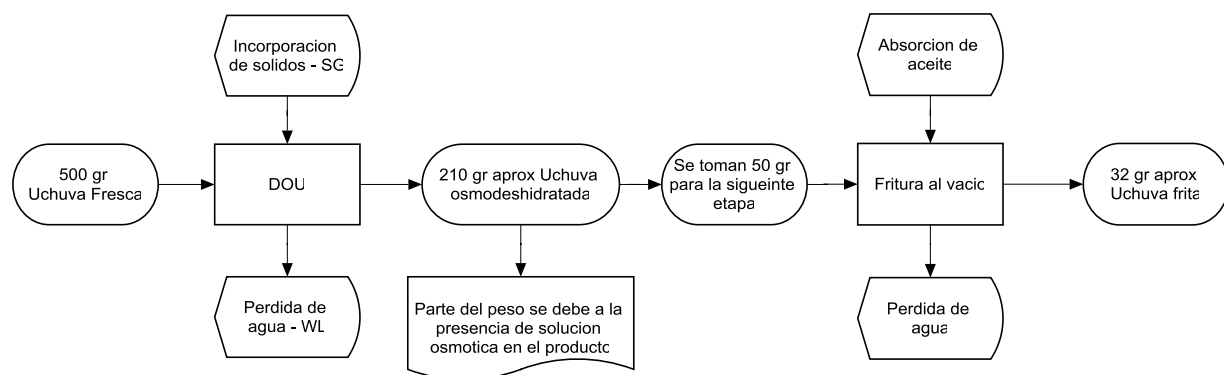


Figura 75. Flujograma de pesaje del producto durante el proceso de producción.

Fuente. Este estudio

Con base en lo expuesto en la Figura 75, si por cada 50 g de uchuva osmodeshidratada se obtienen aproximadamente 32 g, para cada lote de uchuva (500 g) se obtendrían 134.4 g de uchuva frita, lo cual supondría un rendimiento de producción del 26.88%.

La uchuva destinada a fritura se separaba y extendía en una rejilla, en la cual con la ayuda de papel absorbente, se retiraba buena parte de la solución osmótica, y posteriormente se pesaba la muestra de 50 g y pasaba al proceso de fritura. Sin embargo se debe tener en cuenta que después del tratamiento de *DOU*, el peso de la materia incluye en pequeña proporción, el peso de la solución osmótica empleada en el proceso que queda adherida a la uchuva.

Para la obtención del rendimiento real hace falta tener en cuenta la verdadera pérdida de peso obtenida en las rodajas de uchuva, para lo que es necesario trabajar no con pesos de cada producción, sino con cada rodaja individual. Para ello se asumió que cada rodaja de los 500 g del lote inicial se comporta exactamente del mismo modo y se hizo uso de los valores de *PA* y *GS* encontrados en experimentación.

A continuación por medio de los porcentajes de *PA* obtenidos al final del proceso y a la temperatura seleccionada del pre tratamiento, fueron empleadas para determinar la masa final de uchuva parcialmente deshidratada, la cual es:

$$WL \rightarrow: m_{wl} = m - (m * WL_{60^{\circ}C-150min}) = 500 \text{ g} - (500 \text{ g} * 0,744) = 128 \text{ g}$$

Por otra parte se asume que la medición de concentración de azúcares es debida a la ganancia de la misma en el medio hipertónico, obviando la concentración de azúcares propios de la uchuva, empleando la *GS* de la uchuva osmodeshidratada al final del pre tratamiento, y el peso de la uchuva parcialmente deshidratada.

$$SG \rightarrow: m_{sg} = m_{wl} * SG_{60^{\circ}C-150min} = 128 * 0.1004 = 12,85 \text{ g}$$

Se conoce que la pérdida de peso (*PP*) equivale a la suma de pérdida de agua (*PA*) y ganancia de sólidos (*GS*), dicha relación, indica del mismo modo la cantidad de producto final, para ello se calculó el peso final de la muestra luego del proceso de *DOU*.

$$WR \rightarrow: m_{final} = m_{sg} + m_{wl} = 128 \text{ g} + 12,85 \text{ g} = 140,85 \text{ g}$$

Una manera para la obtención del peso final de la muestra de uchuva tratada implica el uso del porcentaje de *PP* calculado experimentalmente.

$$m_{final} = m - (m * WR_{60^{\circ}C-150min}) = 500 \text{ g} - (500 \text{ g} * 0,7168) = 141,6 \text{ g}$$

Como se observa la variación entre formas de cálculo es bastante baja, y en comparación con el peso promedio obtenido del peso del lote de 210 g de uchuva osmodeshidratada, consignado en la Figura 101, se nota una gran diferencia, pues como ya ha sido mencionado, dicho peso incluye el peso de solución acuosa remanente en el producto, mientras que el peso calculado se hizo con base a resultados encontrados en rodajas de uchuva individuales.

A partir de este punto se tienen 141,6 g de uchuva osmodeshidratada y con base a la relación obtenida experimentalmente, en la cual con 50 g de uchuva osmodeshidratada se obtienen 32 g de snacks, resulta entonces 90,62 g de snack.

Siendo así el nuevo rendimiento del proceso sería:

$$Rendimiento = \frac{90,62 \text{ g snack}}{500 \text{ g uchuva fresca}} * 100 = 18,12\%$$

El error en el cálculo de rendimiento era de 8,75%, un error apreciable causado por la solución osmótica remanente en el producto, este error de cálculo llevado a gran producción puede involucrar errores productivos y grandes pérdidas económicas.

Como puede observarse el rendimiento en producción es muy bajo e implicaría altos costos del producto final para que se justifique su producción y existan ganancias. El rendimiento resulta menor al obtenido por Romero (2015) en Mango que fue del 22%.

Considerando que la uchuva pasó por dos importantes procesos de deshidratación, es coherente pensar que prácticamente toda el agua original del producto fue eliminada, por lo que si se tiene en cuenta la humedad inicial de la uchuva que es de 81,38% en promedio, al retirársele de la materia prima original se obtendría:

$$500 \text{ g} - (500 \text{ g} * 0,8138) = 93,1 \text{ g}$$

Como puede observarse, coincide en gran medida con la cantidad calculada por medio de los cálculos planteados anteriormente.

Se debe tener en cuenta que al tratarse de alimentos con una alta humedad, el rendimiento se verá afectado por la pérdida de la misma, sobre todo cuando procesos que involucran una gran deshidratación son empleados.

Tabla 40.

Costos necesarios para la producción de 1 lote de snacks de uchuva.

Material	Cantidad	Costo unitario	Costo total (\$)
Uchuva	500 g	2500\$ / lb	2500
Azúcar	1750 g	2000\$ / kg	3500
Agua	750 ml	2000\$ / L	1500
Aceite	5 L	5000\$ / L	25000
Toallas absorbentes	Paquete	2500\$	2500
Mano de obra	3 h	5000\$ /h	15000
Gasto energético Ultrasonido	2.5 h * 0.588 kW = 1.47 kWh	493.71 \$/kWh	725.75
Gasto energético Freidora al vacío	0,5 h * 1,8 kW = 0.9 kWh	493.71 \$/kWh	444.34
TOTAL			\$ 51.170,1

Fuente. Este estudio

Con base a la tabla se tendría que para la producción de 90,62 g de snacks, hace falta la inversión de 51.170 pesos, obteniendo un costo por gramo de \$564.63, lo cual significa un costo muy elevado para tan poco producto. Aunque se debe tener en cuenta que los costos a escala de laboratorio no son extrapolables a una escala industrial.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el aceite se utilizó hasta un máximo de 4

producciones, se debe tener en cuenta que por cada 500 g de uchuva fresca, se obtiene 141,6 g de uchuva *DO* y que cada lote de fritura consta de únicamente 50 g de uchuva *DO*, es decir 3 lotes de fritura por cada 500 gr de uchuva fresca. Se pueden procesar 12 lotes con un solo cambio de aceite. Además la solución osmótica puede volver a equilibrarse a su concentración inicial de 70 °Bx, con la compra de 1 kg extra de azúcar, cantidad suficiente para efectuar las 4 producciones, condicionadas por la calidad del aceite. Como medida alterna la concentración se puede volver a obtener por medio del calentamiento sin embargo toma tonalidades oscuras que afectan el color de la uchuva.

Tabla 41.

Tabla de costos corregida en base a reutilización de insumos (4procesos).

Material	Cantidad	Extras (para 3 operaciones más)	Cantidad total	Costo unitario	Costo total
Uchuva	500 g	1500 g	2000 g	2500\$ / lb	10000
Azúcar	1750 g	1000 g	2750 g	2000\$ / kg	5500
Agua	750 mL	-	750 mL	2000\$ / L	1500
Aceite	5 L	-	5 L	5000\$ / L	25000
Toallas absorbentes	Paquete	-	Paquete	2500\$	2500
Mano de obra	3 h	9 h	12 h	5000\$ / h	60000
Gasto energético Ultrasonido	2,5 h	7,5 h	10h*0,588 kW =5,88 kWh	493.71 \$/kWh	2903,01
Gasto energético Freidora al vacío	0,5 h	1,5 h	2 h * 1,8 kW = 3,6 kWh	493,71 \$/kWh	1777,36
				TOTAL	\$ 10.9180.4

Fuente. Este estudio

Con base a la tabla se tendría que el costo por gramo es de:

$$\text{Costo por gr} = \frac{\$10.9180,4}{362,48 \text{ g}} = \$301,2 / \text{g}$$

7. Conclusiones

En términos generales la transferencia de agua y de sólidos en el producto se ve favorecida por el incremento en la concentración del jarabe y el empleo de ultrasonido, favoreciendo al fenómeno difusivo.

La *DO* proporciona ventajas como la alta disminución en el contenido de humedad y *Aw*, una menor absorción de aceite por la baja transferencia de masa en el proceso de fritura, además de brindarle al producto mejores características organolépticas, sin embargo, debido al corte en rodajas, hay pérdida de componentes nutricionales por lixiviación en el proceso de *DO*.

Los resultados sugieren que la osmodeshidratación de uchuva es una técnica que puede utilizarse como pre tratamiento en la agro industrialización de la fruta.

Con base en la optimización global del sistema, las condiciones de procesamiento de los snack de uchuva con fritura al vacío son: temperatura = 108 °C, tiempo = 553 min y presión sub atmosférica de 24,23 kPa (0,54 Bar en lectura del vacuómetro).

Los snacks de uchuva obtenidos mediante un proceso optimizado de fritura al vacío constituyen un producto agroindustrial diferenciado, a pesar de que la tecnología con la que se llevó a cabo la fritura no es precisamente nueva, esta sigue siendo una alternativa viable para la elaboración y experimentación de muchos productos de carácter innovador.

Considerando los resultados de este estudio es evidente la ventaja que proporciona la fritura al vacío frente a la fritura a presión atmosférica para la disminución en el contenido de aceite, lograr bajos contenidos de humedad y *Aw* y preservar mejor el color natural del producto

Se comprobó la necesidad de un pre tratamiento que reduzca el contenido de humedad inicial del producto antes de realizar un proceso de fritura al vacío.

La producción de snacks de uchuva mediante fritura al vacío constituye una alternativa para superar las limitaciones relacionadas con la perecibilidad de este fruto, elaborando un producto

con características sensoriales agradables.

Los modelos matemáticos aplicados para describir el comportamiento tanto del pretratamiento de deshidratación osmótica asistida por ultrasonidos, como del proceso de fritura al vacío, permitieron predecir satisfactoriamente el comportamiento de las variables de respuesta, por lo tanto, son adecuados para los propósitos de descripción y control de procesos.

8. Recomendaciones

Emplear un agitador mecánico y no la agitación manual intermitente para evitar el efecto de encostramiento del azúcar en la superficie de las muestras y acelerar el proceso de deshidratación para operaciones como la *DOU*.

Evaluar otros métodos de deshidratación (horno, microondas, aire caliente, ventana refractiva) como pretratamiento para la fritura al vacío.

Realizar un estudio de factibilidad para evaluar la rentabilidad de la implementación de un envase con papel y atmosfera modificada que permita la conservación de las características del producto.

Llevar a cabo un estudio bromatológico del producto que describa los cambios en las propiedades composicionales y nutricionales a lo largo del procesamiento de la materia prima.

Introducir un sistema de centrifugación en el equipo de fritura a vacío como un paso post-fritura que garantice una menor absorción de aceite.

Como alternativa para una menor absorción de aceite, se recomienda estudiar el efecto del uso de hidrocoloides tales como metilcelulosa, hidroxipropil metilcelulosa, celulosa de fibra larga, que disminuyan la permeabilidad e inhiban la ganancia de aceite.

Efectuar un estudio microestructural del producto que permita entender con mayor claridad los cambios físicos, químicos y texturales asociados a los distintos métodos de deshidratación y fenómenos observados en la matriz de la uchuva.

Llevar a cabo un estudio y cálculo de la vida útil del producto, y profundizar en la evolución de calidad del snack durante el almacenamiento para poder estudiar las cinéticas de los procesos de deterioro, bajo distintas condiciones de almacenamiento.

Bibliografía

- Acevedo Correa, Diofanor., Gallo-García, Luis Alberto., González-Morelo, Kevin José., Peña Chamorro, Iván Andrés., Bohórquez Pérez, y Rigoberto Jesús. 2017. Mass transfer during the vacuum frying of Malanga slices (*Colocasia esculenta*). Vol 9 (5). 3806-3812
- Aguilera, J. (1997). "Temas en tecnología de alimentos", Volumen 1, Editorial Instituto Politécnico Nacional, México, México, pp. 187211.3.
- Aguirre, Juan Carlos Lucas., Vasco, Leal José Fernando., Mosquera–Artamonov, José Daniel., Cuellar–Nuñez, Liceth., y Castaño., Víctor Dumar. 2016. Modelamiento de la operación unitaria de transferencia de masa durante los procesos de freído por inmersión de la papa criolla (*Solanum phureja* Juz. & Bukasov). Acta Agronómica, Vol. 65 (4)
- Andrade, S. A. C., Metri, J. C., Barros Neto, B., y Guerra, N. B. (2003). Deshidratación Osmótica *DO* Jenipapo (*Genipa americana* L.). Ciencia e Tecnología de Alimentos, 23(2), 276 - 281.
- Andrés Bello, A. GarcíaSegovia, P. MartínezMonzó, J. (2011). Vacuum Frying: An Alternative to Obtain HighQuality Dried. Vol 3 (2).
- Arias L., Perea Y., y Zapata J. E. 2017. Cinética de la Transferencia de Masa en la Deshidratación Osmótica de Mango (*Mangifera indica* L.) var. Tommy Atkins en Función de la Temperatura. Información Tecnológica, Vol. 28(3), 47-58.
- Aristizabal, G., Gómez, C., Pineda, A., Chaparro, M., Rojas, J., López, A., Díaz, L., y Rivera, M. 2004. Calidad en frutas y hortalizas Ciclo I. Sena, Cenicafé, Asohofrucol. Armenia. 55.
- Asociación Nacional de Comercio Exterior. (2016). Exportaciones de uchuva 2015. September 4, 2017, de <http://www.analdex.org/2016/06/20/informe-uchuva-2016>.
- Ayala A., Giraldo C., and Sena L. 2010. Cinéticas de Deshidratación Osmótica de Pitahaya Amarilla (*Selenicereus megalanthus*). Interciencia, Vol. 35 (7), 539-544.

- Azuara, E., Cortes, R., Garcia, H. S. & Bristain, C. I. (1992). Kinetic model for osmotic Dehydration and its relationship with Fick's second law. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 27, 409-418.
- Banga, J. R., Balsa-Canto, E., Moles, C. G. y Alonso, A. A. (2003). Improving food processing using modern optimization methods. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 131-144.
- Barrios, Lizeth., Osorio Mora, Oswaldo., y Cerón, Andrés Felipe. 2015. Estudio de las cinéticas de pérdida de agua y absorción de aceite durante la fritura de arveja (*Pisum sativum* L.). *Acta Agronómica*. Vol 65 (3), p 226-231.
- Baumann, B. y Escher, F. (1995). Mass and heat transfer during deepfat frying of potato slices, rate of drying and oil uptake. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, Vol 28, 395 - 403.
- Bermúdez, Armando Alvis., Barragan, Pedro Romero., Paternina, Guillermo Arrazola. 2016. Pérdida de humedad y absorción de aceite durante fritura de tajadas de plátano (*musa paradisiaca* l.). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol 14 (2) (119-124)
- Bon, J., Simal, S., Rosselló, C. y Mulet, A. (1997). Drying Characteristics of Hemispherical Solids. *Journal of Food Engineering*, Vol (34), 109-122.
- Bouchon, P. y Aguilera, J.M. (2001). Microstructural Analysis of Frying Potatoes. *International Journal of Food Science and Technology*, Vol (36), 669 - 676.
- Budzaki, S. y Seruga, B. (2005). Moisture loss and oil uptake during deep fat frying of "krostula" dough. *European Food Research and Technology*, 220, 9095.
- Camacho, G., & Sanabria, G. (2005). Alternativas de procesamiento y transformación de la uchuva. Universidad Nacional de Colombia, Esp. Ciencia y tecnología de alimentos.
- Cárcel, J. A., Benedito, J., Rosselló, C., y Mulet, A. (2007). Influence of ultrasound intensity on

- mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, 78, 472 - 479.
- Castro A., Rodríguez L., and Vargas E. 2008. Secado de Uchuva (*Physalis peruviana L*) por aire caliente con pretratamiento de Osmodeshidratación. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmaceutica*. Vol. 15 (2), 226-231.
- Cazar Albuja, E. F. (2015). Optimización del proceso de elaboración de snacks de piña (*Ananas comosus*) mediante la combinación de diferentes condiciones de pretratamiento y fritura al vacío. (Tesis para la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional.
- Ceballos G. 2005. Estudios en papaya minimamente procesada por deshidratación osmótica. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Charoen R., Lakerd, S. y Kornpetch, C. (2015). Development of seasoned gray oyster mushroom chips using vacuum frying process. *Food and Applied Bioscience Journal*, Vol 3 (2): 100 - 108.
- Chemat, F., Human, Z., Khan, M. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol 18. 813 - 835.
- Coral, L., Torres, F., y Yépez, B. (2011) Estudio de mercado para la comercialización de uchuva *Physalis peruviana l*, en Nariño. *Revistas de ciencias agrícolas*: Vol. 29 (1). Corporación Colombiana internacional., secretaria de agricultura y medio ambiente de Nariño. Consolidado agropecuario de Nariño, 2011.
- Costa, R. M. y Oliveira, F. A. R. (1999). Modelling the kinetics of water loss during potato frying with a compartmental dynamic model. *Journal of Food Engineering*, 41, 177 - 185.
- Crosa, Maria Jose., Elichalt, Marta., Skerl, Veronica., Cadenazzi, Monica., Olazabal, Laura., Silva, Roberto., Suburu, Gabriela., Torres, Marina., Vilaro, Francisco., Estellano, Gabriel.

2014. Chips de papa, la fritura en vacío y beneficios para la salud. REVISTA DEL LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY, INNOTECH. Vol 9, 70 – 74.
- Da Silva P. y Moreira R. (2008). Vacuum frying of highquality fruit and vegetablebased snacks. LWT Food Science and Technology. Vol 41: 1758 - 1767.
- Dane. (2016). Boletín quincenal de abastecimiento de alimentos.
- Della Rocca, Patricia; Mascheroni, Rodolfo. 2010. Modelos empíricos en la deshidratación osmótica de papas. Rumbos tecnológico, Volumen 2
- Diamante Lemuel M., Savage Geoffrey P. & Vanhanen Leo. 2012. Optimisation of vacuum frying of gold kiwifruit slices: application of response surface methodology. International Journal of Food Science and Technology, Vol 47, 518–524
- Diamante, L.M., Shi, S., Hellmann, A. and Busch, J. 2015. Vacuum frying foods: products, process and optimization. International Food Research Journal Vol 22(1): 15-22
- Dobarganes, C., Márquez-Ruiz, G. y Velasco, J. (2000). Interactions between fat and food during deep-frying. European Journal of Lipid Science and Technology, Vol 102, 521-528.
- Dueik, V. y Bouchon, P. (2011). Vacuum frying as a route to produce novel snacks with desired quality attributes according to new health trends. Journal of Food Science Vol (76), 188 - 195.
- Dueik, V., Robert, P. y Bouchon, P. (2010). Vacuum Frying Reduces Oil Uptake and Improves the Quality Parameters of Carrot Crisps. Food Chemistry.
- Duque, A., Giraldo, G y Quintero, V. 2011. Caracterización de la fruta, pulpa y concentrado de uchuva (*Physalis Peruviana* L.). Temas agrarios, (2011). Vol. 16 (1). 75 - 83.
- Esan, T.A., Sobukola, O.P., Sanni, L.O., Bakare, H.A., Munoz, L. 2015. Process optimization by response surface methodology and quality attributes of vacuum fried yellow fleshed sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) chips. Food and bioproducts processing. Vol 95,

paginas 27–37

- Fabiano A. N. Fernandes & Sueli Rodrigues (2008) Application of Ultrasound and Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration in Drying of Fruits, *Drying Technology: An International Journal*, Vol 26(12), 1509-1516, DOI: 10.1080/07373930802412256
- Fernandes, F. y Rodríguez, S. (2007). Ultrasound as pretreatment for drying of fruits: dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*, 82, 261267.
- Fernandes, F., Rodríguez, S., Gaspareto, O., y Oliveira, E. (2005). Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. *Food Research International* 39 (2006) 492498, 7. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.10.004>.
- Fernandes F.A.N., Galla M.I., Rodrigues S. 2007. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT – Food Science and Technology*, 41 (4), 604–610.
- Fernandes, F.A.N. Linhares, F.E., Jr. Rodrigues, S. (2008) Ultrasound as pretreatment for drying of pineapples. *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol 15, 1049 - 1054.
- Fischer, G. (2000). Crecimiento y desarrollo. pp. 926. En: Flórez, V.J. G. Fischer y A.D. Sora (eds.) *Producción, postcosecha y exportación de la uchuva (Physalis Peruviana L.)*. Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 175 p.
- Fischer, G., Flórez, V., Sora, A. (2000). *Producción, postcosecha y exportación de la uchuva*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía.
- Galvis. J., Fisher and Gordillo O. 2005. Cosecha y postcosecha de uchuva, *Avances sobre el cultivo, postcosecha y exportación de la uchuva (Physalis Peruviana L) en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. 165 – 190 p.
- Gamble, M. H., Rice, P., y Selman, J. D. (1987). Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record UK Tubers. *International Journal of*

Food Science and Technology, Vol 22(3), 233 - 241

Garayo, J. y Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 181-191.

Granda, C., Moreira, R. G. y Tichy, S. E. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. *Journal Food Science*, 69(8), E405-E411.

Gómez, S. (2012). Efecto de las condiciones de fritura a vacío en el procesado de chips de kiwi (Tesis de Master en Ingeniería de Alimentos). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Departamento de Tecnología de Alimentos. Grupo CUINA.

Gómez, L. 2014. Análisis de la deshidratación osmótica de melón (Cucumis melo). *UG Ciencia*. Vol 20, 72-78.

Gómez, G. S. (s.f). Evaluación de diferentes técnicas de deshidratación para la obtención de chips de pomelo mediante fritura a vacío. (Tesis de Master en Ingeniería de Alimentos).. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia: Departamento de Tecnología de Alimentos. Grupo CUINA.

Goula A.M., Kokolaki M., Daftsiou E. 2017. Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. *Food and Bioproducts Processing*. Vol. 105, 157-170.

Hui Li, Cuiping Zhao, Yunhan Guo, Kejing An, Shenghua Ding, and Zhengfu W. 2012 Mass transfer evaluation of ultrasonic osmotic dehydration of cherry tomatoes in sucrose and salt solutions. *International Journal of Food Science and Technology*. Vol 47 (5), 954-960.

Icontec. (1999). Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Instituto Colombiano de Normas Técnicas, Bogotá. 15 p.

Jain, S. k., Verma, R. C., Murdia, L. K., Jain, H. k., y Sharma, J. P. (2010). Optimization of process parameters for osmotic dehydration of papaya cubes. *Association of Food*

Scientists y Technologists, 48(2), 7. <http://doi.org/10.1007/s1319701001617>

Jijaba Mera, Hugo Giovanny. 2010. Modelado de la Cinética de Absorción de aceite durante el proceso de fritura al vacío de hojuelas de tomate de árbol (*Solanum betaceum cav.*). (Tesis para la obtención de ingeniero agroindustrial). Escuela Politécnica nacional: Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria

Khoyi, M. R., y Hesari, J. (2006). Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. *Journal of Food Engineering*. Vol 78 (6) 1355 – 1360. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.007>

Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B. y MarinosKouris, D. (2000). Water loss and oil uptake as a function of frying time. *Journal of Food Engineering*, Vol 44, 39 - 46

Lea Wexler, Ana M. Perez, Elba CuberoCastillo y Fabrice Vaillant (2016): Use of response surface methodology to compare vacuum and atmospheric deepfat frying of papaya chips impregnated with blackberry juice, *CyTA Journal of Food*, DOI: 10.1080/19476337.2016.1180324

LiuPing, F., MinZhang, GongNian, X., JinCai, S. y QianTao (2005). The optimization of vacuum frying to dhydrate carrot chips. *International Journal of Food Science and Technology*, Vol 40, 911 - 919

Luchese C, Gurak P, Ferreira L. 2015. Osmotic dehydration of *Physalis* (*Physalis peruviana* L.): Evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids. *LWT – Food Science and Technology*. Vol 63 (2), 1128-1133.

Luis Puente Díaz, Eric Echegaray Pacheco, Eduardo Castro Montero, Karina di Scala (2013). APLICACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS AL PROCESO DE SECADO ASISTIDO POR INFRARROJOS DE DESCARTES DE LIMÓN (*Citrus limon* (L.) *Burm. F. Cv. Genova*). *Dyna* 181, pp. 91-97

- Maity, T., Bawa, A. S. y Raju, P. S. (2014). Effect of Vacuum Frying on Changes in Quality Attributes of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) Bulb Slices. *International Journal of Food Science*, Volume 2014, 8 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/752047>
- Maldonado S., Santapaola J.E., Singh J., Torrez M., Garay A., 2008. Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, Vol 28 (1), 251-256
- Mariscal, M., Bouchon P. (2008). Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry*, Vol 107, paginas 1561–1569
- Marzullo, C. (2010). Calidad de snacks de zanahoria obtenidos mediante la aplicación de vacío a métodos tradicionales de deshidratación. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia universidad católica de Chile escuela de ingeniería.
- Mason T.J. 1998. Power ultrasound in food processing. The way forward. Pp.1729 In: *Ultrasound in Food Processing*. Povey J.J.W. and Mason T. Eds. Blakie Academic and Professional London.
- Mendoza, J Rodríguez, A y Millán, P. (2012). Caracterización físico química de la uchuva (*Physalis peruviana*) en la región de Silvia Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol. 10 (2). Pág. 188 196.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural (2009). *Agenda Prospectiva De Investigación Y Desarrollo Tecnológico Para La Cadena Productiva De La Uchuva En Fresco Para Exportación En Colombia*. ISBN: 9789588536095
- Ministerio de agricultura. (2016). *Estadística agrícola*. Retrieved from <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Miranda, M.L y Aguilera, J.M. 2006. Structure and Texture Properties of Fried Potato Products. *Food Reviews International*, Vol 22, 173-201.

- MirBel, J., Oria, R. y Salvador, M.L. 2009. Influence of the vacuum break conditions on oil uptake during potato postfrying cooling. *Journal. Food Engineering. Laboratory of Vegetal Food, University of Zaragoza, Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza, Spain.*
Journal homepage: www.elsevier.com/locate/jfoodeng
- Moreira, R. G., Palau, J. E. y X., S. 1995. Deepfat frying of tortilla chips: An engineering approach. *Food Technology*, April, 146 - 150.
- Moreira, R. G. 2001. DeepFat Frying of Foods. In: J. Irudayaraj, *Food Processing Operations Modeling* (pp. 115-146). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Moreira, R. G. y Tichy, S. E. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato chips by lowtemperature vacuum frying. *Journal of Food Science*, Vol 69 (8):405 - 411
- Moreira P. and Murr F. 2004. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*. Vol 61 (3) 291–295.
- Moyano, P. C., y Berna, A. Z. 2002. Modeling water loss during frying of potato strips: effect of solute impregnation. *Drying Technology*, 20(7), 1303-1318.
- Mulet, A. 1994. Drying modelling and Water Diffusivity in Carrots and Potatoes. *Journal of Food Engineering*, 22, 329-348.
- Ng, Marie *et al.* 2014, "Global, Regional, and National Prevalence of Overweight and Obesity in Children and Adults during 1980-2013: a Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2013", *The Lancet*, 384, 766-781.
- Nowacka M., Tylewicz U., Laghi L., Dalla M., and Witrowa D. 2014. Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration. *Food Chemistry*, Vol 144, 18–25.
- Ochoa-Martínez C. I. and Ayala-Aponte A. 2005. Modelos Matemáticos de Transferencia de Masa en Deshidratación Osmótica. *CYTA – Journal of Food*. Vol 4 (5), 330-342.

- Pantoja, Darío C., Osorio, Oswaldo., Mejía, Diego F., Váquiro, Henry A. 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, Vol 27(1), paginas 69-80. doi: 10.4067/S0718-07642016000100009.
- Park K.J., Bin A. Reis B., Fernando P., Hae K., Park T.B. 2002. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). Journal of Food Engineering. Vol 52 (3) 293–298
- Pedreschi, Franco (2012): Frying of Potatoes: Physical, Chemical, and Microstructural Changes, *Drying Technology: An International Journal*, Vol 30 (7), 707-725
- Pedreschi, F. y Moyano, P. (2005). Effect of predrying on texture and oil uptake of potato chips. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, Vol 38, 599 - 604.
- Peleg M.1988. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, Vol 53, 1216–1217.
- Perez-Tinoco, M., Perez, A., Salgado-Cervantes, M., Reynes, M. y Vaillant, F., (2008). "Effect of vacuum frying on main physicochemical and nutritional quality parameters of pineapple chips", *Journal of the Science of the Food and Agriculture*, Vol 88, 945-953.
- Puente LA., Pinto CA., Castro ES., Cortés M. (2010). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*. 44, 17331740.
- Ramadan MF. 2011. Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview, *Food Research International*. 44, 18301836.
- Ramos Lopéz, Jessica Patricia. 2018. Modelado de las Cinéticas de Pérdida de Humedad y Absorción de Aceite Durante la Fritura a Vacío de Papa Ratona Morada Cultivada en el Departamento De Nariño. (Tesis Para La Obtención De Ingeniero Agroindustrial).

Universidad De Nariño: Facultad de Ingeniería Agroindustrial

- Rastogi N., and Raghavarao K. 1997. Water and Solute Diffusion Coefficients of Carrot as a Function of Temperature and Concentration during Osmotic Dehydration. *Journal of Food Engineering*, Vol 34 (4), 429-440
- Rimac, S., Lelas, V., Rade, D. y Simundié, B. (2004). Decreasing of oil absorption in potato strips during deepfat frying. *Journal of Food Engineering*, 64, 237 - 241.
- Romero Aguilar, Gerson Fernando. 2015. Obtención de aperitivos de mango aplicando fritura al vacío. (Tesis Para La Obtención de Ingeniero de Alimentos). Universidad Tecnológica Equinoccial: Facultad de Ciencias de Ingeniería, Carrera De Ingeniería De Alimentos
- Saberian, Hamed., Amooi, Mojtaba., and Hamidi-Esfahani, Zohreh. 2014. Modeling of vacuum drying of loquat fruit. *Nutrition & Food Science*, Vol. 44 (1), 24 – 31
- Sahin, S., (2000). Effect of frying parameters on the color development of fried potatoes. *European Food Research and Technology*, Vol 211, 165.
- Shafiq A., and Manpreet K. 2017. Mass Transfer Kinetics for Osmotic Dehydration of Kinnow Fruit in Sugar Solution. *The National Academy of Sciences India*. Vol 7 (28)
- Sharma, Shri K., Mulvaney, Steven J., Rizvi, Syed S., 2003. *Ingenieria de Alimentos: Operaciones unitarias y práctica de laboratorio*. Editorial Limusa S.A de C.V. México D.F: Grupo Noriega Editors.
- Shyu, S.L., Hau, L.B. y Hwang, L. S. (2005). Effects of processing conditions on the quality of vacuumfried carrot chips. *Journal of the Science of the Food and Agriculture*, 85, 1903 - 1908.
- Shyu, Shyi Liang & Hwang, Lucy Sun. 2011. Process optimization of vacuum fried carrot chips using central composite rotatable design. *Journal of food and drug analysis*, vol. 19, (3), pages 324-330

- Simal, S., Deyá, E., Frau, M. y Rosselló, C. (1997). Simple modelling of air drying curves of fresh and osmotically prehydrated apple cubes. *Journal of Food Engineering*, Vol 33, 139150.
- Simal S., Benedito J., Sanchez E. S., y Rossello, C. 1998. Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, Vol 36 (3), 323–336.
- Stier, R. F. (2004). Frying as a science An introduction. *European Journal of Lipid Science and Technology*, Vol 106, 715 - 721.
- Troncoso, E., Pedreschi, F., Zuñiga R.N. 2009a. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *LWT - Food Science and Technology* Vol 42, 187–195
- Troncoso, E., Pedreschi, Franco. 2009b. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT - Food Science and Technology* Vol 42, 1164–1173
- Vega A, Palacios M, Boglio F, Passaro C, Jerez C, Lemus R. 2007. Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, Vol 27 (3), 470-477
- Villamizar, R., & Giraldo, G. A. (2010). Obtención y caracterización de un pasabocas a partir de una pasta a base de mango mediante fritura por inmersión. *TUMBAGA*, 1-Nº5, 149-164.
- Villamizar, Rafael Humberto., Quiceno, María Cristina., Giraldo, Germán Antonio. 2011. Comparación de la fritura al vacío y atmosférica en la obtención de pasabocas de mango (*manguifera indica l.*). *Temas agrarios*. Vol 16:(1), Paginas 64 – 74.
- Villamizar, R.H., Quiceno, MC., Giraldo, G.A. (2012). Efecto del proceso de fritura a vacío sobre

la calidad de un pasabocas de mango (*Manguifera indica* L.). *Acta Agronómica*, 61(1), 4051.

Vitrac, O., Trystram, G., & Raoult-Wack, A. L. (2000). Deep-fat frying of food: heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material. *European Journal of Lipid Science and Technology*, (102), 529–538.

Wu S., Huang Y., Lin D., Wang S. (2006). Antioxidant activities of *Physalis peruviana*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 28 (6), 963966.

Yamsaengsung, R. y Moreira, R. G. (2002). Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying. Part II. Model solution y validation. *Journal of Food Engineering*, 53, 1125.

Yamsaengsung, Ram., Ariyapuchai, Thaworn., Prasertsit, Kulchanat. 2011. Effects of vacuum frying on structural changes of bananas. *Journal of Food Engineering*. Vol 106, paginas 298–305

Zhu, Y., Zhang, M. y Wang, Y. (2015). Vacuum frying of peas: effect of coating and predrying. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5): 31053110.

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización fisicoquímica de uchuva fresca.

Tabla Valores de peso del fruto, diámetro, peso por rodaja y Aw para la caracterización de uchuva fresca.

Peso del fruto (gr)	Diámetro ecuatorial (cm)	Peso del fruto en rodajas (gr)	Actividad de agua
6,8768	2,35	0,852	0,948
6,4637	2,39	0,9511	0,943
7,7096	2,22	0,4723	0,969
6,359	2,26	1,2086	0,947
5,5463	2,36	1,2385	0,967
6,2643	2,35	0,8574	0,943
8,3744	2,49	0,5212	0,956
8,586	2,33	0,7801	0,945
5,3792	2,19	0,8944	0,964
7,5602	2,27	1,2232	0,945
8,1904	2,245	0,8821	0,946
5,2686	2,5	0,8742	0,952
7,4872	2,44	0,7515	0,958
6,5954	2,28	0,9339	0,948
8,169	2,56	0,7801	0,949
5,3689	2,165	0,7531	0,952
7,9108	2,24	0,9756	0,958
6,6426	2,35	1,0877	0,951
6,4888	2,25	1,1761	0,946
8,3951	2,4	1,2047	0,948
7,7457	2,3	0,6873	0,948
7,0332	2,3	0,6786	0,948
8,4625	2,3	1,0481	0,95
6,9028	2,365	0,5871	0,943
8,4717	2,45	1,0403	0,955
7,6882	2,45	0,5661	0,957
6,4911	2,3	0,4849	0,952
7,7669	2,49	0,9225	0,953
5,3231	2,28	0,9613	0,958
8,4258	2,16	0,7895	0,949
6,8062	2,33	0,6382	0,951
7,0103	2,12	0,743	0,958
Peso Promedio: 7,11761875	Diámetro Promedio: 2,327656 - Calibre E	Peso Promedio: 0,861396875	Aw promedio: 0,95178125

Tabla Valores de SST, pH y medición de color CIELAB para la caracterización de uchuva fresca.

SST (°Bx)		pH	Color		
Dato medido	Corrección		*L	*a	*b
14,5	14,78134656	3,742	46,48	19,39	45,05
14,75	15,03134656	3,738	37,53	13,98	36,08
15,5	15,78134656	3,763	40,69	15,51	41,33
14,75	15,03134656	3,758	33,07	12,12	33,67
16	16,28134656	3,753	38,55	12,97	31,04
15,6	15,88134656	3,752	43,95	14,84	40,08
14,25	14,53134656	3,748	45,57	15,5	42,65
14,75	15,03134656	3,722	41,94	16,13	39,03
16	16,28134656	3,744	39,2	13,1	36,26
15,2	15,48134656	3,74	41,31	14,72	41,37
16	16,28134656	3,731	45,31	16,05	43,6
16	16,28134656	3,785	42,95	17,94	45,1
15,5	15,78134656	3,744	38,69	12,59	32,4
15,5	15,78134656	3,763	47,2	17,07	43,85
15,5	15,78134656	3,759	44,64	16,48	39,32
15,25	15,53134656	3,738	46,05	15,31	37,6
14,25	14,53134656	3,733	43	15,43	36,2
16	16,28134656	3,774	45,99	16,34	44,18
15	15,28134656	3,769	40,87	14,09	33,3
15,3	15,58134656	3,765	41,57	15,55	38,48
14,5	14,78134656	3,798	43,77	14,16	36,27
15,1	15,38134656	3,79	42,25	15,14	39,13
15,75	16,03134656	3,789	49,69	15,13	42,82
14,5	14,78134656	3,798	43,44	11,44	35,32
15,25	15,53134656	3,769	41,89	12,41	32,58
15,3	15,58134656	3,784	43,45	16,4	44,27
14,75	15,03134656	3,797	47,03	14,65	39,71
14,25	14,53134656	3,787	40,91	14,48	38,17
14	14,28134656	3,779	40,9	15,45	37,66
14,75	15,03134656	3,777	37,99	14,04	32,21
15,25	15,53134656	3,772	45,11	16,43	44,62
15	15,28134656	3,764	41,02	15,03	38,4
Promedio L* / a* / b*					
SST Promedio		pH	42,5628125	14,9959375	38,8046875
15,40634656		promedio			
		3,76197			

Tabla Valores de Acidez titulable para la caracterización de uchuva fresca.

Acidez titulable				
V NaOH (ml)	V muestra (ml)	peso eq-g acido (g/meq)	N NaOH (meq/mg)	Acidez
11,3	5	0,064	0,1	1,4464
11,4	5	0,064	0,1	1,4592
10,9	5	0,064	0,1	1,3952
11,5	5	0,064	0,1	1,472
11,1	5	0,064	0,1	1,4208
11,5	5	0,064	0,1	1,472
11,8	5	0,064	0,1	1,5104
11,4	5	0,064	0,1	1,4592
11,9	5	0,064	0,1	1,5232
21	10	0,064	0,1	1,344
Acidez promedio:				1,45024

Tabla Valores de Contenido de humedad (%) y Vitamina C para uchuva fresca.

Contenido de Humedad	
	82,82850534
	81,97050266
	81,39191979
	80,39680828
	81,38109067
	79,91980928
	80,27399257
	81,68555582
	82,50033409
	81,54023283
	82,53953909
	81,23517097
	80,21248881
	80,23902497
	82,68359694
H(%) promedio:	81,38657147

Vitamina C (mg/L)	
	367
	385
	372
	331
	328
Contenido promedio	356,6

Anexo 2. Datos experimentales y estadísticos para la construcción de la cinética de pérdida de humedad en deshidratación osmótica asistida por ultrasonido.

Tabla Evolución del contenido de humedad durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 60°C.

Tiempo (min)	Humedad (%)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	80,40	80,27	81,54	82,83	80,21	81,05	1,13	1,40
5	73,03	73,42	73,54	72,61	72,58	73,03	0,45	0,61
10	64,33	67,09	63,84	62,05	64,33	64,33	1,81	2,81
15	63,25	60,59	64,13	63,33	64,93	63,25	1,64	2,59
20	48,96	48,91	49,47	50,07	52,93	50,07	1,67	3,33
25	46,34	48,24	47,26	48,12	49,34	47,86	1,13	2,36
30	42,41	43,17	42,45	43,05	42,77	42,77	0,35	0,81
35	36,42	38,94	38,18	37,59	39,75	38,18	1,27	3,34
40	36,25	34,96	36,26	36,46	35,98	35,98	0,60	1,66
45	37,95	37,95	35,66	37,24	40,95	37,95	1,92	5,06
50	30,64	35,69	31,88	35,78	32,70	33,34	2,31	6,92
55	31,28	32,74	33,84	31,22	33,27	32,47	1,18	3,64
60	31,62	31,56	34,15	32,37	32,43	32,43	1,05	3,23
65	32,84	31,38	32,80	32,34	32,50	32,37	0,59	1,83
70	33,67	31,47	32,17	32,28	31,27	32,17	0,94	2,93
75	30,11	30,32	30,90	31,75	31,74	30,96	0,77	2,49
80	30,08	30,27	29,91	30,53	30,58	30,27	0,29	0,94
85	29,05	32,22	29,08	29,38	30,68	30,08	1,37	4,54
90	29,56	31,19	28,71	29,44	28,88	29,56	0,98	3,32
95	27,50	27,16	29,08	29,01	29,09	28,37	0,96	3,37
100	25,09	28,04	28,95	27,78	27,38	27,45	1,44	5,25
105	26,54	25,63	27,40	27,41	25,32	26,46	0,97	3,67
110	28,59	27,57	27,85	27,49	28,66	28,03	0,56	1,99
115	27,66	27,57	27,49	27,21	27,93	27,57	0,26	0,95
120	27,53	26,63	27,69	27,80	28,63	27,66	0,72	2,59
125	27,72	27,54	27,09	27,85	27,10	27,46	0,35	1,27
130	27,44	27,20	27,21	27,07	27,11	27,21	0,14	0,53
135	27,54	27,39	27,21	27,97	26,19	27,26	0,66	2,43
140	26,16	27,37	26,48	26,31	26,08	26,48	0,52	1,98
145	26,45	26,42	26,35	25,54	26,19	26,19	0,38	1,44
150	26,61	26,79	25,13	24,45	26,56	25,91	1,05	4,05

Tabla ANOVA para Humedad (%) - 60°C por Tiempo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	32250,3	30	1075,01	906,37	0,0000
Intra grupos	147,071	124	1,18606		
Total (Corr.)	32397,3	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad (%) - 60°C por Tiempo Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
150	5	25,907	X
145	5	26,1913	XX
105	5	26,4593	XXX
140	5	26,479	XXX
130	5	27,2052	XXXX
135	5	27,2592	XXXX
100	5	27,4497	XXX
125	5	27,4595	XXX
115	5	27,5711	XX
120	5	27,6565	XX
110	5	28,0321	X
95	5	28,3682	XX
90	5	29,5558	XX
85	5	30,08	XX
80	5	30,2719	XX
75	5	30,9637	XX
70	5	32,1735	XX
65	5	32,3715	X
60	5	32,4251	X
55	5	32,47	X
50	5	33,3392	X
40	5	35,9828	X
45	5	37,953	X
35	5	38,1761	X
30	5	42,7696	X
25	5	47,8593	X
20	5	50,0675	X
15	5	63,2469	X
10	5	64,3267	X
5	5	73,0346	X
0	5	81,0504	X

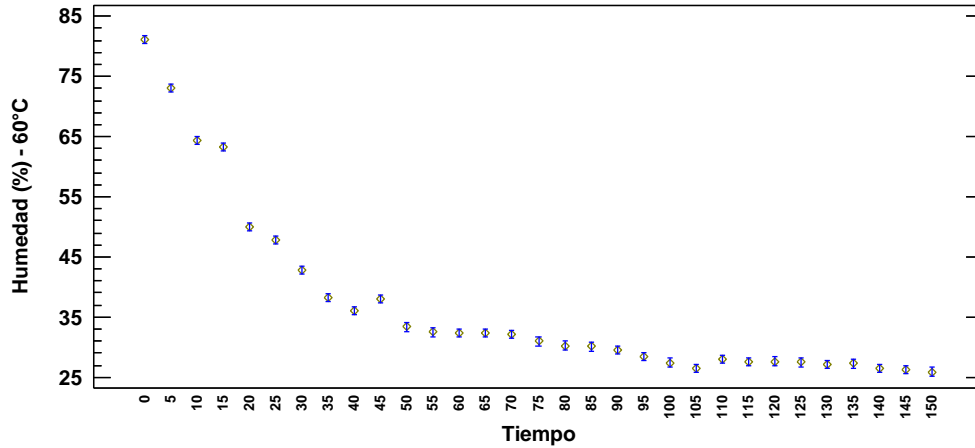


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Evolución de humedad a 60°C en DOU

Tabla Evolución del contenido de humedad durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 50°C.

Tiempo (min)	Humedad (%)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	81,38	81,69	82,54	81,97	80,24	81,56	0,85	1,05
5	75,32	77,96	75,19	75,36	75,96	75,96	1,16	1,52
10	70,07	73,32	74,11	73,55	71,90	72,59	1,63	2,24
15	71,82	70,01	70,15	69,41	69,35	70,15	1,00	1,43
20	70,16	65,14	65,37	70,93	67,03	67,73	2,69	3,97
25	65,08	65,89	66,67	66,56	66,03	66,05	0,63	0,96
30	56,37	52,42	56,75	55,18	54,50	55,04	1,72	3,13
35	55,95	56,25	55,47	55,89	55,89	55,89	0,28	0,50
40	56,52	56,94	56,94	57,03	57,26	56,94	0,27	0,47
45	54,66	51,92	50,28	51,48	54,00	52,47	1,82	3,47
50	46,25	45,32	43,51	45,73	46,11	45,39	1,11	2,44
55	46,51	46,51	46,51	45,10	47,92	46,51	1,00	2,15
60	39,73	41,92	45,70	45,33	45,60	43,66	2,70	6,18
65	42,21	42,21	39,78	43,39	43,47	42,21	1,49	3,53
70	38,25	40,03	38,97	37,78	39,82	38,97	0,97	2,49
75	38,98	40,19	41,56	39,25	37,36	39,47	1,55	3,93
80	38,27	37,93	37,09	37,83	38,80	37,98	0,63	1,66
85	37,63	37,48	37,31	37,47	39,25	37,83	0,80	2,12
90	36,33	37,08	37,00	38,46	37,22	37,22	0,78	2,08
95	37,78	36,03	36,55	36,43	37,44	36,85	0,73	1,99
100	36,84	37,28	36,20	36,03	36,45	36,56	0,50	1,38
105	35,34	36,31	36,01	37,88	37,32	36,57	1,02	2,79
110	36,36	35,53	35,77	37,95	37,13	36,55	1,00	2,73
115	36,68	37,35	36,37	36,28	37,17	36,77	0,48	1,30

120	34,38	35,41	35,45	35,93	32,11	34,66	1,53	4,41
125	35,19	34,95	34,99	35,75	35,58	35,29	0,36	1,01
130	35,52	34,59	35,97	34,29	33,84	34,84	0,88	2,52
135	36,52	34,89	35,22	33,13	35,34	35,02	1,22	3,49
140	35,79	34,22	36,07	35,89	35,10	35,41	0,76	2,16
145	34,25	32,51	33,01	33,12	32,15	33,01	0,79	2,41
150	34,35	33,67	32,56	33,71	32,24	33,31	0,88	2,64

Tabla ANOVA para Humedad (%) - 50°C por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	31693,1	30	1056,44	707,91	0,0000
Intra grupos	185,049	124	1,49233		
Total (Corr.)	31878,1	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad (%) - 50°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
145	5	33,0084	X
150	5	33,3069	XX
120	5	34,6556	XX
130	5	34,8421	X
135	5	35,0196	XX
125	5	35,2917	XXX
140	5	35,413	XXXX
110	5	36,5482	XXXX
100	5	36,5588	XXX
105	5	36,5736	XXX
115	5	36,7699	XXX
95	5	36,8465	XX
90	5	37,2165	X
85	5	37,8288	XX
80	5	37,9839	XXX
70	5	38,9678	XX
75	5	39,4677	X
65	5	42,2116	X
60	5	43,656	X
50	5	45,385	X
55	5	46,5123	X

45	5	52,4677	X
30	5	55,0409	X
35	5	55,8915	XX
40	5	56,9373	X
25	5	66,0483	X
20	5	67,726	X
15	5	70,1477	X
10	5	72,5903	X
5	5	75,9575	X
0	5	81,5631	X

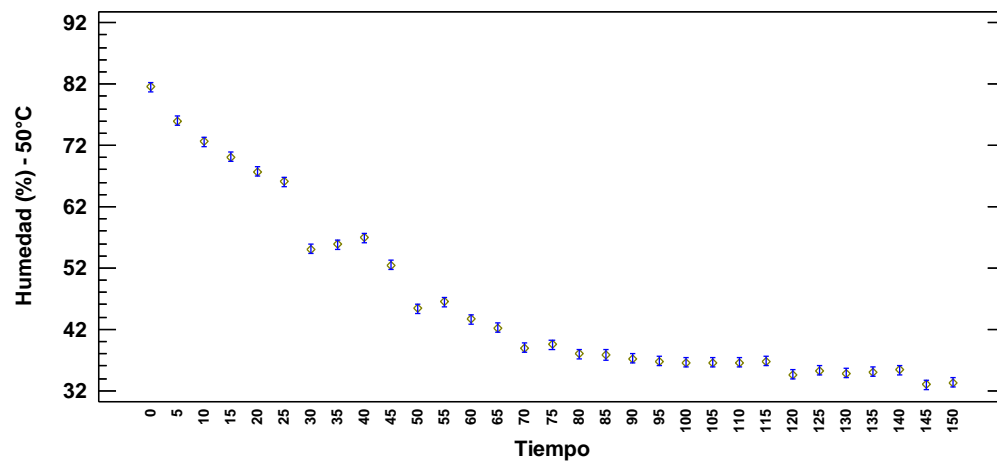


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Evolución de humedad a 50°C en DOU

Tabla Evolución del contenido de humedad durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 40°C.

Tiempo (min)	Humedad (%)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	79,92	82,50	81,24	81,39	82,68	81,55	1,11	1,37
5	78,28	77,46	77,20	78,23	77,79	77,79	0,47	0,61
10	74,15	71,84	76,21	76,16	76,96	75,06	2,08	2,77
15	74,09	71,95	74,54	75,00	73,90	73,90	1,17	1,58
20	71,86	70,60	72,34	71,38	70,39	71,31	0,83	1,16
25	70,29	70,78	71,40	73,00	71,72	71,44	1,03	1,45
30	69,42	63,61	71,21	67,50	73,10	68,97	3,64	5,28
35	64,14	64,39	65,17	63,18	63,80	64,14	0,73	1,14
40	66,43	63,59	64,81	64,94	65,55	65,06	1,04	1,60
45	64,40	62,52	64,06	66,75	64,27	64,40	1,52	2,35
50	61,39	62,08	64,16	60,27	61,80	61,94	1,42	2,29
55	53,71	57,93	57,50	58,54	55,66	56,67	1,97	3,48
60	51,61	54,66	53,46	53,31	48,18	52,24	2,52	4,82
65	48,13	49,91	48,51	48,02	46,49	48,21	1,22	2,54
70	45,20	46,19	45,44	43,89	45,31	45,21	0,83	1,83
75	42,72	45,94	44,01	42,84	45,38	44,18	1,46	3,30
80	44,52	45,50	45,63	42,44	44,52	44,52	1,28	2,87
85	44,69	44,51	44,87	44,69	45,19	44,79	0,26	0,58
90	41,54	44,27	43,90	44,35	44,55	43,72	1,24	2,84
95	43,53	43,70	42,97	43,74	42,20	43,23	0,65	1,51
100	43,64	43,64	43,82	43,64	43,46	43,64	0,13	0,29
105	39,97	38,67	39,05	38,98	38,59	39,05	0,55	1,41
110	37,24	37,93	37,24	36,75	37,05	37,24	0,43	1,16
115	36,22	36,48	36,97	37,51	38,18	37,07	0,79	2,14
120	36,75	36,57	33,31	35,89	33,24	35,15	1,74	4,96
125	36,20	35,28	38,18	35,58	36,30	36,31	1,13	3,11
130	34,62	32,52	36,70	33,23	33,02	34,02	1,69	4,97
135	33,07	33,31	36,04	32,50	33,21	33,62	1,38	4,12
140	34,71	32,94	36,53	34,35	34,63	34,63	1,28	3,69
145	34,05	33,11	33,72	33,39	33,24	33,50	0,38	1,14
150	33,95	33,66	33,80	32,09	33,38	33,38	0,75	2,25

Tabla ANOVA para Humedad (%) - 40°C por Tiempo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	37036,8	30	1234,56	649,76	0,0000
Intra grupos	235,602	124	1,90001		
Total (Corr.)	37272,4	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad (%) - 40°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
150	5	33,3764	X
145	5	33,5016	XX
135	5	33,6248	XX
130	5	34,0212	XX
140	5	34,6336	XXX
120	5	35,1527	XX
125	5	36,3057	XX
115	5	37,0721	X
110	5	37,2407	X
105	5	39,0548	X
95	5	43,2269	X
100	5	43,642	XX
90	5	43,7227	XX
75	5	44,1781	XX
80	5	44,5202	XX
85	5	44,7903	XX
70	5	45,2054	X
65	5	48,2132	X
60	5	52,2431	X
55	5	56,6688	X
50	5	61,9409	X
35	5	64,1359	X
45	5	64,4012	X
40	5	65,0647	X
30	5	68,9679	X
20	5	71,3142	X
25	5	71,4374	X
15	5	73,8953	X
10	5	75,0649	X
5	5	77,7921	X
0	5	81,5462	X

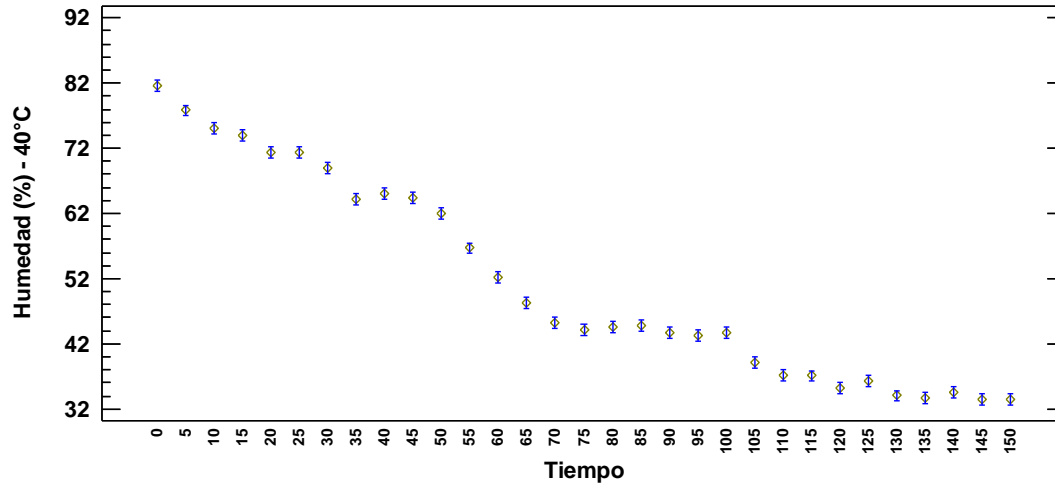


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Evolución de humedad a 40°C en DOU

**Anexo 3. Datos experimentales para la construcción de la cinética de pérdida de agua (PA)
en deshidratación osmótica asistida por ultrasonido**

Tabla Evolución de la pérdida de agua durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 60°C.

Tiempo (min)	PA (%)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	188,77
5	27,30	25,78	30,25	37,32	27,85	29,70	4,55	15,32
10	45,05	40,06	48,95	54,75	44,53	46,67	5,51	11,81
15	46,66	49,95	48,53	53,17	43,57	48,38	3,59	7,42
20	61,59	61,39	63,47	65,61	57,96	62,00	2,83	4,57
25	63,47	61,89	65,00	66,90	60,94	63,64	2,39	3,76
30	65,96	65,29	67,93	69,85	65,42	66,89	1,96	2,93
35	69,17	67,69	70,14	72,49	67,16	69,33	2,12	3,06
40	69,25	69,67	71,04	72,97	69,09	70,41	1,63	2,31
45	68,41	68,21	71,31	72,64	66,49	69,41	2,50	3,60
50	71,74	69,32	72,90	73,26	70,60	71,56	1,63	2,28
55	71,47	70,67	72,10	75,04	70,35	71,92	1,87	2,60
60	71,33	71,18	71,96	74,61	70,72	71,96	1,55	2,15
65	70,81	71,25	72,53	74,62	70,69	71,98	1,65	2,29
70	70,45	71,22	72,78	74,64	71,21	72,06	1,68	2,33
75	71,95	71,69	73,29	74,84	71,01	72,56	1,52	2,10
80	71,96	71,71	73,66	75,28	71,50	72,82	1,62	2,22
85	72,37	70,90	73,97	75,69	71,46	72,88	1,95	2,68
90	72,17	71,33	74,11	75,67	72,18	73,09	1,76	2,41
95	72,96	72,92	73,97	75,81	72,09	73,55	1,43	1,94
100	73,83	72,59	74,02	76,22	72,75	73,88	1,45	1,97
105	73,32	73,47	74,57	76,35	73,50	74,24	1,28	1,72
110	72,55	72,77	74,41	76,32	72,26	73,66	1,71	2,31
115	72,90	72,77	74,54	76,41	72,55	73,83	1,64	2,23
120	72,95	73,12	74,47	76,22	72,27	73,81	1,57	2,12
125	72,88	72,78	74,68	76,20	72,86	73,88	1,52	2,06
130	72,98	72,90	74,64	76,46	72,85	73,97	1,58	2,14
135	72,95	72,83	74,64	76,16	73,19	73,95	1,43	1,93
140	73,45	72,84	74,89	76,70	73,23	74,22	1,59	2,14
145	73,35	73,19	74,93	76,94	73,19	74,32	1,64	2,20
150	73,29	73,06	75,34	77,27	73,06	74,40	1,87	2,51

Tabla ANOVA para PA (%) - 60°C por Tiempo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	37681,9	30	1256,06	259,07	0,0000
Intra grupos	601,185	124	4,84827		
Total (Corr.)	38283,1	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para PA (%) - 60°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	5	8,32148E-9	X
5	5	29,6993	X
10	5	46,6681	X
15	5	48,3769	X
20	5	62,0044	X
25	5	63,64	X
30	5	66,8896	X
35	5	69,3289	XX
45	5	69,4096	XX
40	5	70,405	XX
50	5	71,5643	XXX
55	5	71,925	XXXX
60	5	71,9607	XXXX
65	5	71,9803	XXXX
70	5	72,0594	XXXX
75	5	72,5559	XXX
80	5	72,8238	XXX
85	5	72,8764	XXX
90	5	73,0901	XXX
95	5	73,5513	XX
110	5	73,6619	XX
120	5	73,8052	XX
115	5	73,8327	XX
125	5	73,8789	XX
100	5	73,8819	XX
135	5	73,9545	XX
130	5	73,9672	XX
140	5	74,2228	XX
105	5	74,2426	XX
145	5	74,3203	XX
150	5	74,4037	X

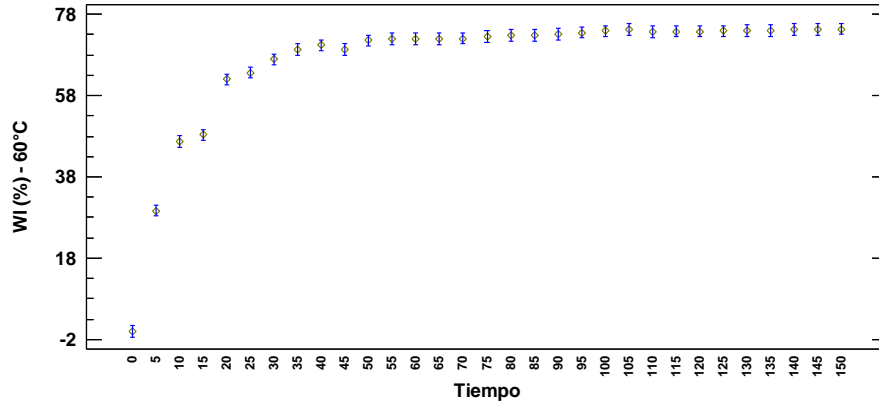


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Evolución de PA a 60°C en DOU

Tabla Evolución de la pérdida de agua durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 50°C.

Tiempo (min)	PA (%)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	198,62
5	24,55	16,92	29,62	26,83	17,81	23,14	5,58	24,12
10	37,79	31,36	32,56	31,84	29,67	32,64	3,07	9,39
15	33,92	38,94	41,51	41,06	35,52	38,19	3,36	8,80
20	37,60	47,46	49,57	37,98	40,07	42,54	5,59	13,14
25	46,68	46,30	47,61	46,09	41,82	45,70	2,24	4,91
30	57,33	61,51	59,63	59,78	56,57	58,96	2,00	3,39
35	57,73	58,14	60,79	59,12	55,20	58,20	2,05	3,52
40	57,18	57,47	59,45	58,04	53,77	57,18	2,10	3,67
45	58,93	61,91	64,88	62,84	57,04	61,12	3,13	5,12
50	65,36	66,51	69,09	66,78	63,33	66,21	2,10	3,18
55	65,19	65,76	67,36	67,16	62,05	65,50	2,14	3,26
60	69,10	68,47	67,84	67,02	63,67	67,22	2,13	3,16
65	67,78	68,31	71,01	68,15	65,04	68,06	2,12	3,11
70	69,85	69,46	71,39	71,02	67,17	69,78	1,66	2,39
75	69,49	69,38	70,12	70,32	68,45	69,55	0,74	1,06
80	69,84	70,49	72,25	71,00	67,71	70,26	1,68	2,39
85	70,15	70,71	72,15	71,17	67,47	70,33	1,76	2,50
90	70,76	70,89	72,29	70,70	68,53	70,63	1,35	1,91
95	70,08	71,37	72,48	71,64	68,41	70,80	1,59	2,24
100	70,52	70,80	72,63	71,81	68,91	70,94	1,41	1,99
105	71,20	71,24	72,71	70,98	68,47	70,92	1,53	2,16

110	70,74	71,59	72,82	70,94	68,57	70,93	1,55	2,19
115	70,60	70,77	72,56	71,70	68,55	70,84	1,50	2,12
120	71,62	71,65	72,95	71,86	70,89	71,80	0,74	1,04
125	71,27	71,84	73,14	71,94	69,33	71,50	1,39	1,95
130	71,13	72,00	72,73	72,56	70,13	71,71	1,08	1,51
135	70,67	71,87	73,05	73,04	69,44	71,61	1,56	2,18
140	71,00	72,16	72,69	71,88	69,55	71,46	1,23	1,72
145	71,68	72,86	73,94	73,04	70,87	72,48	1,20	1,66
150	71,64	72,39	74,11	72,80	70,84	72,35	1,23	1,70

Tabla ANOVA para PA (%) - 50°C por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	44721,6	30	1490,72	285,81	0,0000
Intra grupos	646,76	124	5,2158		
Total (Corr.)	45368,3	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para PA (%) - 50°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	5	3,08041E-8	X
5	5	23,145	X
10	5	32,643	X
15	5	38,1912	X
20	5	42,5379	X
25	5	45,6993	X
40	5	57,1813	X
35	5	58,196	X
30	5	58,9638	XX
45	5	61,1219	X
55	5	65,5037	X
50	5	66,2127	X
60	5	67,223	XX
65	5	68,0584	XXX
75	5	69,5528	XXX
70	5	69,7782	XXXX
80	5	70,2575	XXX
85	5	70,3277	XXX
90	5	70,6329	XXX

95	5	70,7955	XXX
115	5	70,8352	XXX
105	5	70,9217	XX
110	5	70,9326	XX
100	5	70,9353	XX
140	5	71,4561	XX
125	5	71,5047	XX
135	5	71,613	XX
130	5	71,7098	XX
120	5	71,795	XX
150	5	72,355	XX
145	5	72,4796	X

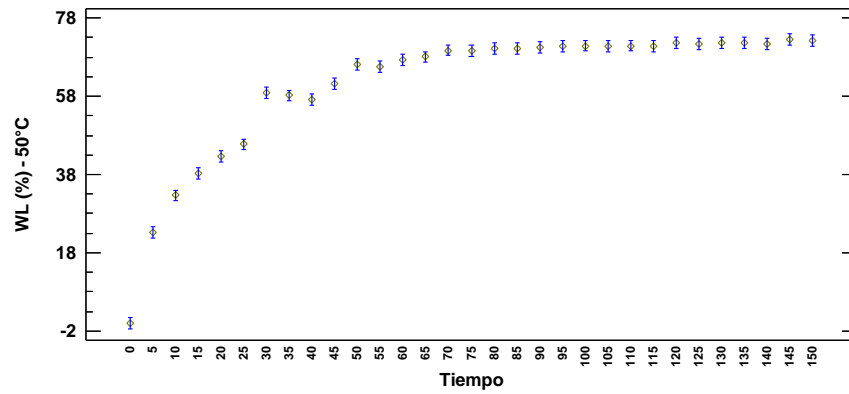


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Evolución de PA a 50°C en DOU

Tabla Evolución de la pérdida de agua durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 40°C.

Tiempo (min)	PA (%)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1900,87
5	7,54	22,37	17,70	14,52	22,03	16,83	6,12	36,39
10	22,31	37,85	21,12	21,94	24,86	25,62	6,98	27,25
15	22,51	37,60	26,30	25,56	33,67	29,13	6,26	21,50
20	28,64	40,48	32,15	34,98	41,53	35,55	5,47	15,39
25	32,41	40,12	34,38	31,07	38,78	35,35	3,95	11,17
30	34,34	51,91	34,82	42,75	35,63	39,89	7,54	18,90
35	44,01	50,85	46,13	49,46	52,17	48,52	3,38	6,97
40	40,19	51,94	46,67	46,92	49,73	47,09	4,43	9,40
45	43,59	53,31	47,78	44,03	51,54	48,05	4,36	9,07
50	47,99	53,85	47,64	53,16	54,67	51,46	3,38	6,56
55	56,62	58,40	55,85	55,11	60,95	57,39	2,34	4,07
60	58,51	61,40	59,68	60,15	66,58	61,26	3,15	5,14
65	61,29	65,06	63,56	64,20	67,64	64,35	2,31	3,59
70	63,35	67,48	65,61	66,84	68,34	66,32	1,94	2,92
75	64,95	67,63	66,48	67,45	68,30	66,96	1,30	1,94
80	63,81	67,89	65,49	67,67	68,79	66,73	2,03	3,05
85	63,70	68,47	65,96	66,36	68,40	66,58	1,98	2,97
90	65,65	68,60	66,55	66,56	68,77	67,23	1,38	2,06
95	64,44	68,92	67,10	66,93	70,04	67,48	2,14	3,17
100	64,37	68,95	66,60	66,98	69,37	67,25	2,01	2,99
105	66,55	71,46	69,21	69,50	71,80	69,71	2,11	3,02
110	68,00	71,81	70,10	70,58	72,49	70,60	1,73	2,46
115	68,52	72,45	70,23	70,22	71,99	70,68	1,58	2,23
120	68,25	72,41	71,86	70,98	74,06	71,51	2,14	2,99
125	68,53	72,96	69,65	71,12	72,82	71,01	1,94	2,74
130	69,29	74,07	70,35	72,13	74,15	72,00	2,18	3,02
135	70,00	73,76	70,66	72,43	74,07	72,19	1,82	2,52
140	69,24	73,90	70,44	71,65	73,51	71,75	1,98	2,76
145	69,55	73,84	71,69	72,06	74,06	72,24	1,83	2,54
150	69,60	73,62	71,65	72,60	74,01	72,30	1,77	2,44

Tabla ANOVA para PA (%) - 40°C por Tiempo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	54760,5	30	1825,35	152,67	0,0000
Intra grupos	1482,59	124	11,9564		
Total (Corr.)	56243,1	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para PA (%) - 40°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	5	-4,9848E-8	X
5	5	16,8326	X
10	5	25,6155	X
15	5	29,1284	X
25	5	35,3532	X
20	5	35,5546	X
30	5	39,8884	X
40	5	47,0903	X
45	5	48,051	XX
35	5	48,5229	XX
50	5	51,4625	X
55	5	57,3864	X
60	5	61,2641	XX
65	5	64,3488	XX
70	5	66,3237	XX
85	5	66,5767	XXX
80	5	66,7298	XXXX
75	5	66,96	XXXX
90	5	67,2266	XXXXX
100	5	67,2542	XXXXX
95	5	67,4846	XXXXXX
105	5	69,7058	XXXXXX
110	5	70,5974	XXXXXX
115	5	70,6813	XXXXX
125	5	71,0137	XXXX
120	5	71,5122	XXX
140	5	71,7494	XX
130	5	71,9961	X
135	5	72,1856	X
145	5	72,2411	X
150	5	72,2958	X

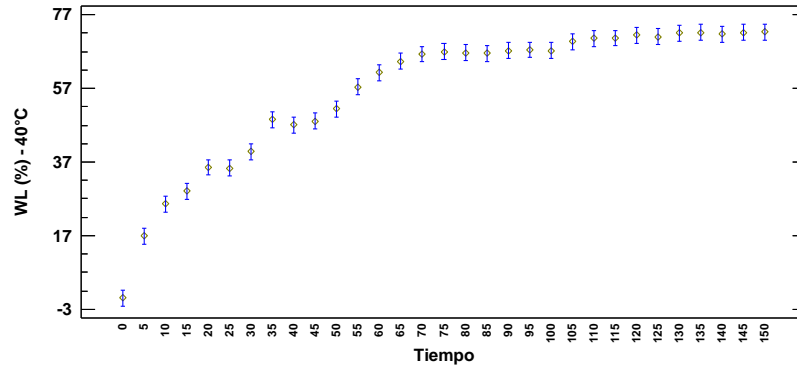


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Evolución de PA a 40°C en DOU

Anexo 4. Ajuste de modelos empíricos al comportamiento experimental de PA

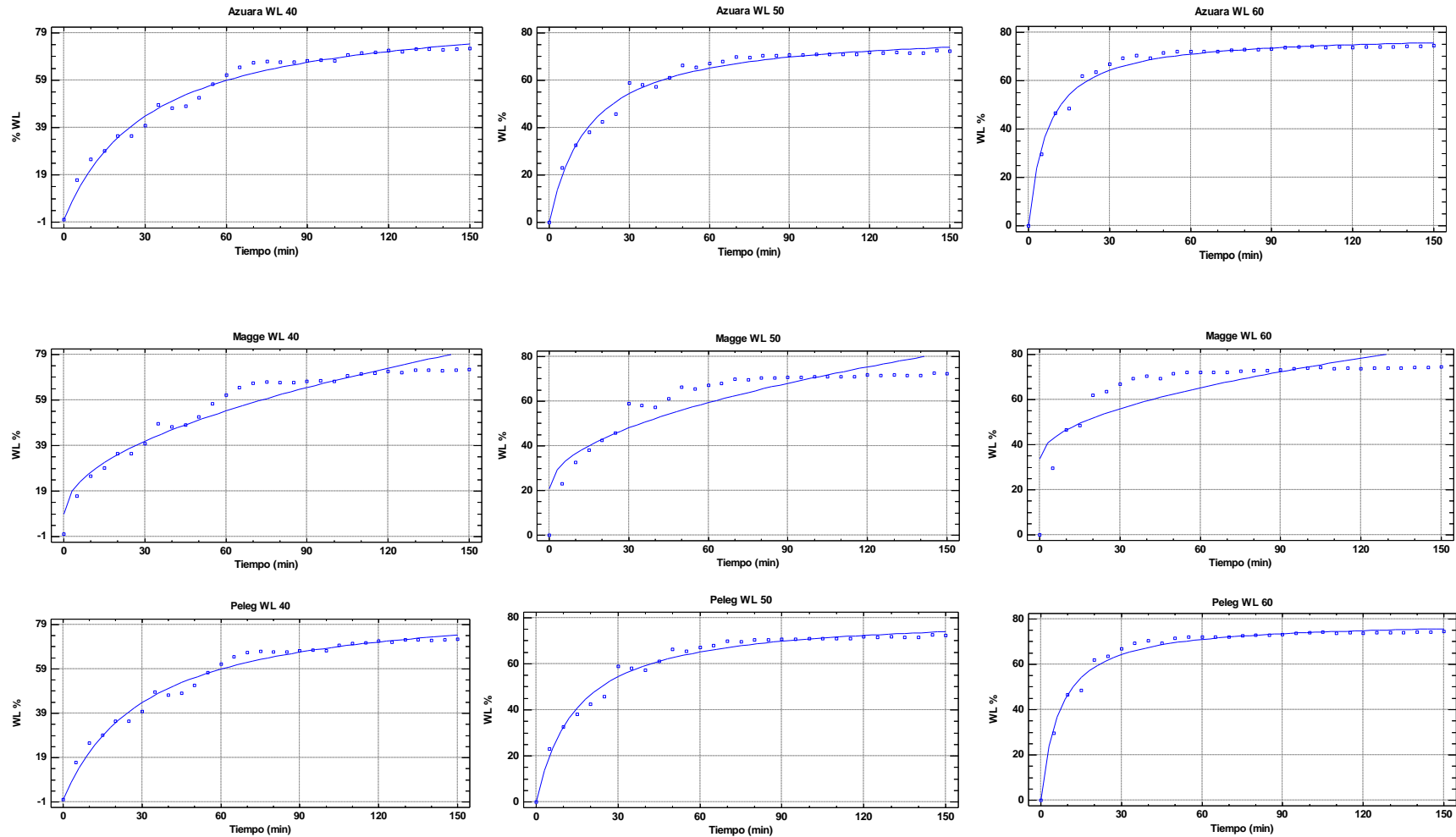


Figura Ajuste de los modelos de Azuara, Magge y Peleg a las cinéticas de Pérdida de agua (PA) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido a las tres temperaturas trabajadas.

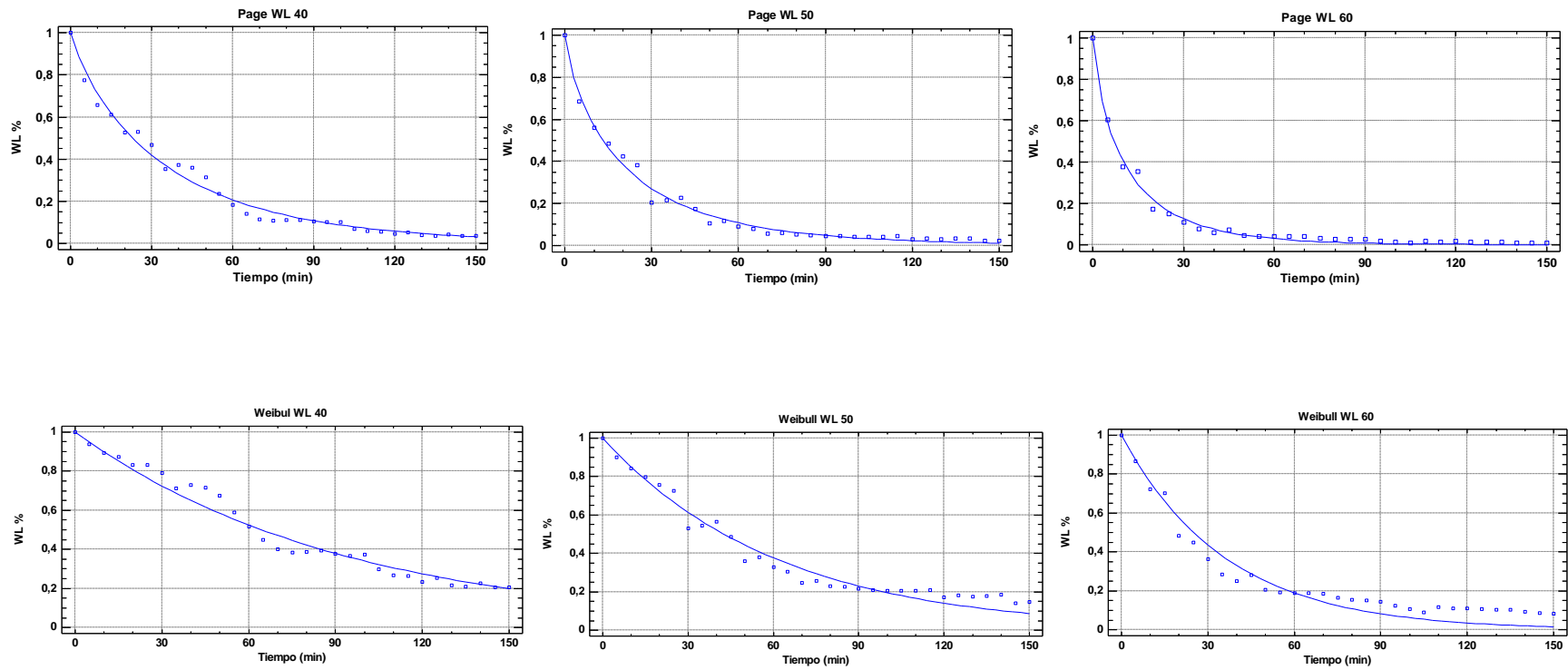


Figura Modelamiento de Page y Weibull para las cinéticas de Pérdida de agua (PA) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas.

Anexo 5. Significancia de la temperatura frente al nivel de Humedad final.

Tabla Humedades finales para el sistema de deshidratación osmótica en las tres temperaturas tratadas para $t = 150$ minutos.

Temperatura (°C)	Humedad final (%)
60	26,605
60	26,7857
60	25,131
60	24,4543
60	26,5580
50	34,350
50	33,6692
50	32,5641
50	33,7148
50	32,2351
40	33,9525
40	33,6601
40	33,8044
40	32,0887
40	33,3764

Tabla ANOVA para Humedad final (%) por Temperatura (°C)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	184,258	2	92,129	113,54	0,0000
Intra grupos	9,73741	12	0,811451		
Total (Corr.)	193,995	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad final (%) por Temperatura (°C) - Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60	5	25,907	X
50	5	33,3069	X
40	5	33,3764	X

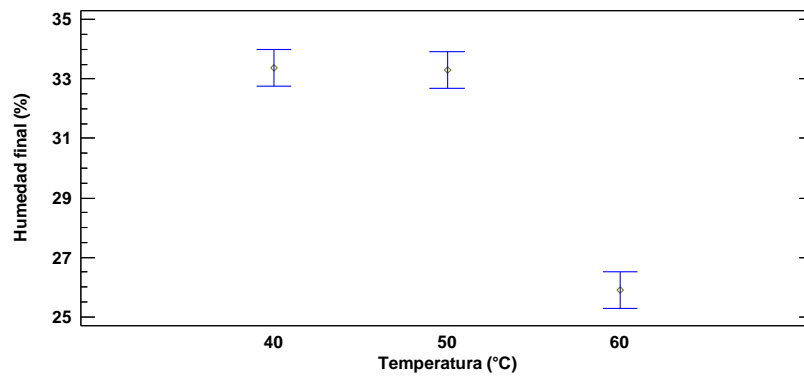


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para efecto de la temperatura sobre PA en DOU

Anexo 6. Significancia de la temperatura frente al nivel de PA.

Tabla PA finales para el sistema de deshidratación osmótica en las tres temperaturas tratadas para $t = 150$ minutos.

Temperatura (°C)	PA (%)
60	77,29
60	73,057
60	75,3437
60	77,2700
60	73,0569
50	71,6387
50	72,3891
50	74,1080
50	72,8000
50	70,8389
40	69,5973
40	73,6211
40	71,6524
40	72,5994
40	74,0085

Tabla ANOVA para PA por Temperatura

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	27,6473	2	13,8237	4,55	0,0338
Intra grupos	36,4481	12	3,03735		
Total (Corr.)	64,0955	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para PA por Temperatura - Método: 95,0 porcentaje LSD

Temperatura	Casos	Media	Grupos Homogéneos
40	5	72,2958	X
50	5	72,355	X
60	5	75,2049	X

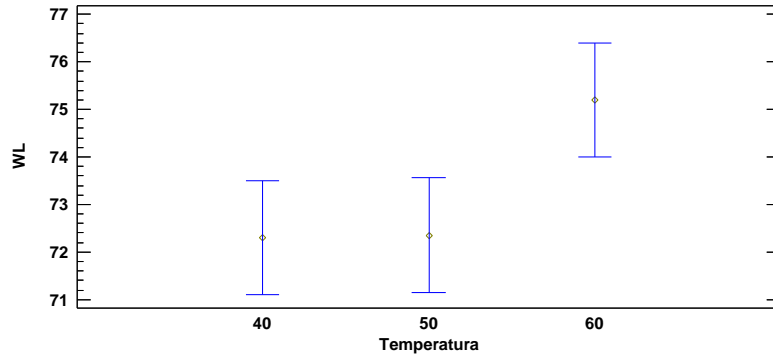


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para efecto de la temperatura sobre PA en DOU

Anexo 7. Determinación grafica de la difusividad del agua en el sistema de osmodeshidratación ultrasónica y cálculo de E_a .

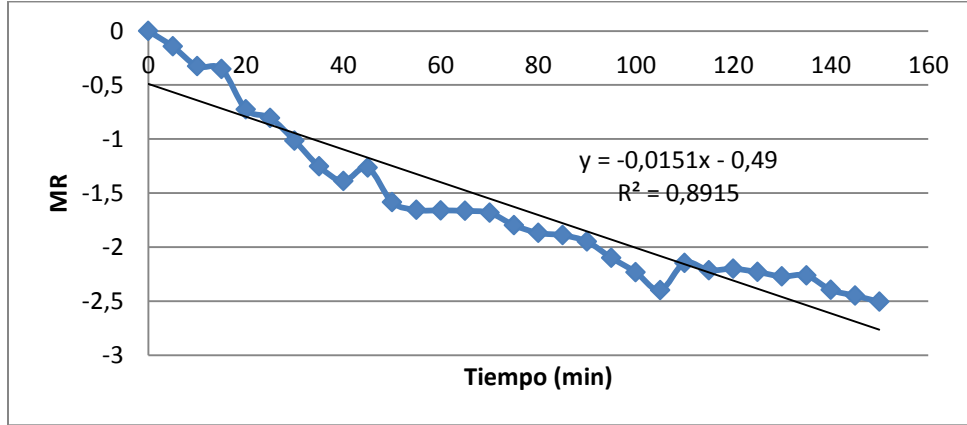


Figura22 Calculo de la difusividad efectiva ($Deff$) para agua en uchuva, por medio de la evolución de la humedad adimensional en el tiempo para temperatura de 40°C

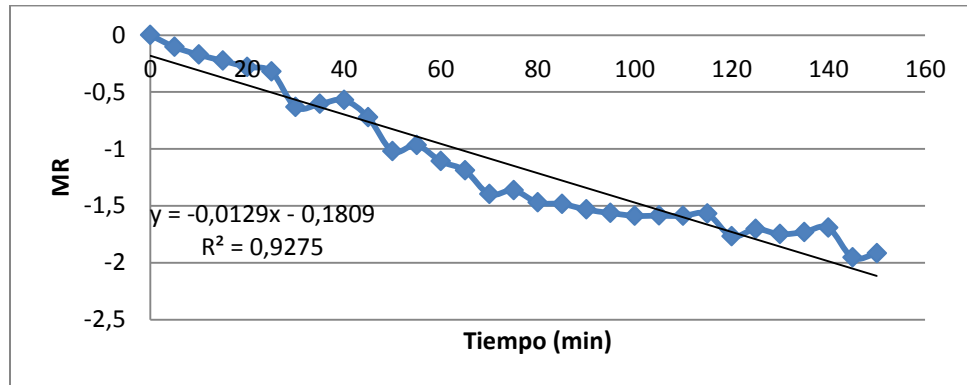


Figura23 Calculo de la difusividad efectiva ($Deff$) para agua en uchuva, por medio de la evolución de la humedad adimensional en el tiempo para temperatura de 50°C

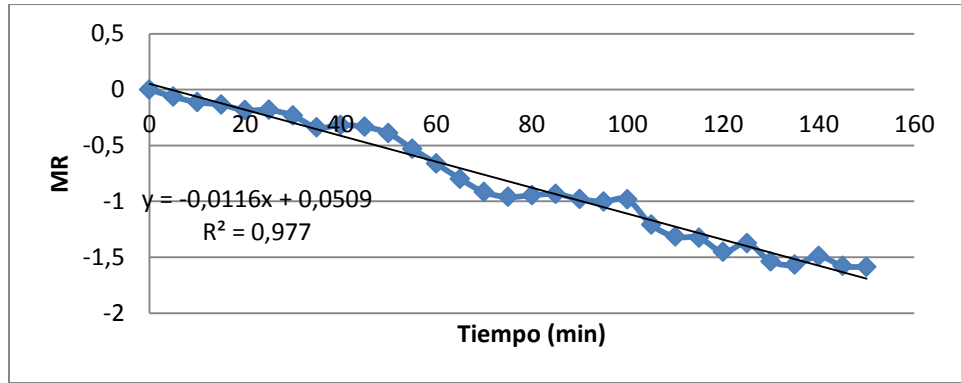


Figura Cálculo de la difusividad efectiva (D_{eff}) para agua en uchuva, por medio de la evolución de la humedad adimensional en el tiempo para temperatura de 60°C

Tabla Cálculos de parámetros para estimación de energía de activación por medio de difusividad efectiva del agua.

D_{eff}	$\ln D_{eff}$	Temperatura (°K)	1/T
2,45566E-08	-17,52228433	333,15	0,00300165
2,09022E-08	-17,68341354	323,15	0,00309454
1,88442E-08	-17,787059	313,15	0,00319336

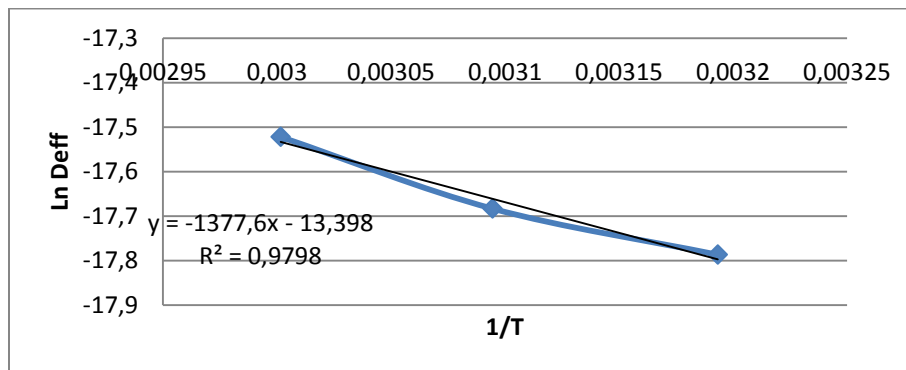


Figura Linealización de valores de D_{eff} a las temperaturas trabajadas para la estimación de energía de activación por relación tipo Arrhenius.

Anexo 8. Datos experimentales y estadísticos para la construcción de la cinética de ganancia de sólidos en deshidratación osmótica asistida por ultrasonido.

Tabla Evolución del contenido de °Bx durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 60°C.

Tiempo (min)	Ganancia de sólidos (%)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#¡DIV/0!
5	-5,48	-5,98	-7,83	-6,43	-8,37	-6,82	1,23	-18,09
10	-1,57	-1,11	-1,45	-1,34	-1,40	-1,37	0,17	-12,33
15	0,01	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,07	66,35
20	0,69	0,48	0,59	0,54	0,61	0,58	0,08	13,39
25	0,89	0,05	0,68	0,47	0,58	0,53	0,31	58,81
30	1,33	1,29	1,32	1,31	0,98	1,25	0,15	12,21
35	4,60	3,73	4,17	3,95	0,48	3,39	1,66	48,91
40	6,79	7,07	6,93	6,93	6,97	6,94	0,10	1,45
45	8,32	5,28	6,52	6,80	3,74	6,13	1,72	28,01
50	7,19	7,41	7,36	7,30	7,30	7,31	0,08	1,09
55	8,00	8,05	4,79	8,02	6,94	7,16	1,41	19,65
60	8,43	8,04	5,54	8,23	5,53	7,15	1,48	20,76
65	8,57	8,71	5,16	8,64	6,24	7,47	1,66	22,21
70	9,23	7,39	7,90	8,31	6,64	7,90	0,97	12,33
75	8,62	8,68	8,65	8,64	8,65	8,65	0,02	0,24
80	8,83	9,13	8,27	8,98	8,62	8,77	0,33	3,80
85	9,71	7,93	8,46	8,82	8,73	8,73	0,65	7,42
90	9,68	8,60	8,37	9,14	8,95	8,95	0,51	5,70
95	9,07	9,85	9,27	9,46	9,17	9,36	0,31	3,28
100	11,27	9,98	5,93	9,06	9,25	9,10	1,97	21,70
105	9,04	8,65	9,64	8,84	9,47	9,13	0,42	4,61
110	10,35	12,53	7,16	11,44	6,41	9,58	2,67	27,92
115	11,68	9,99	8,13	9,93	7,42	9,43	1,69	17,89
120	9,99	9,99	7,97	9,99	7,31	9,05	1,31	14,45
125	10,18	11,30	10,74	10,74	8,43	10,28	1,11	10,79
130	12,95	11,15	7,24	10,45	6,57	9,67	2,70	27,88
135	12,55	11,19	5,65	11,87	4,97	9,25	3,64	39,32
140	10,58	10,25	10,50	10,42	10,44	10,44	0,12	1,17
145	11,64	11,98	10,17	11,81	9,22	10,96	1,21	11,06
150	11,73	12,45	7,13	12,09	6,85	10,05	2,81	27,92

Tabla ANOVA para GS (%) - 60°C por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2909,82	30	96,9939	47,72	0,0000
Intra grupos	252,048	124	2,03265		
Total (Corr.)	3161,87	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para GS (%) - 60°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
5	5	-6,8166	X
10	5	-1,37242	X
0	5	0	XX
15	5	0,101876	XX
25	5	0,534002	X
20	5	0,581546	X
30	5	1,24615	X
35	5	3,38549	X
45	5	6,13133	X
40	5	6,93544	XX
60	5	7,15316	XXX
55	5	7,15868	XXX
50	5	7,31286	XXXX
65	5	7,46607	XXXXX
70	5	7,8961	XXXXXX
75	5	8,64731	XXXXXX
85	5	8,73118	XXXXXX
80	5	8,76575	XXXXXX
90	5	8,94726	XXXXX
120	5	9,04865	XXXXX
100	5	9,09991	XXXX
105	5	9,12938	XXXX
135	5	9,24545	XXXXX
95	5	9,36339	XXXX
115	5	9,43014	XXXX
110	5	9,57735	XXXX
130	5	9,66973	XXXX
150	5	10,0493	XXX
125	5	10,2779	XXX
140	5	10,4391	XX

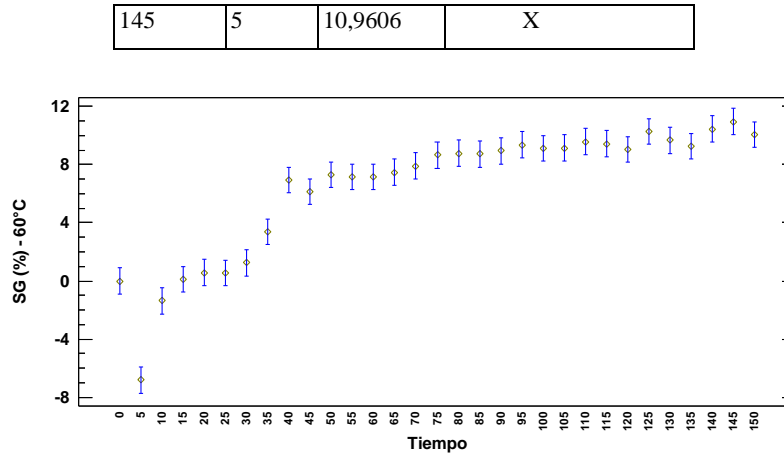


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Evolución de GS a 60°C en DOU

Tabla Evolución del contenido de °Bx durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 50°C.

Tiempo (min)	SST (°Bx)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#¡DIV/0!
5	-2,91	-3,38	-6,01	-3,14	-4,70	-4,03	1,31	-32,47
10	-3,62	-1,77	-2,47	-3,16	-2,70	-2,74	0,70	-25,58
15	1,05	2,29	1,67	1,21	1,36	1,52	0,49	32,32
20	0,96	1,50	1,23	1,16	1,36	1,24	0,20	16,40
25	1,57	1,11	1,52	1,34	1,46	1,40	0,18	12,95
30	2,03	2,24	2,31	2,19	2,11	2,18	0,11	5,02
35	3,74	3,95	1,73	3,14	3,44	3,20	0,88	27,40
40	4,49	4,94	1,01	3,48	2,24	3,23	1,62	50,12
45	5,13	5,82	1,91	4,28	5,47	4,52	1,57	34,62
50	6,90	6,49	2,82	6,69	1,94	4,97	2,39	48,10
55	6,36	6,75	2,52	6,55	2,86	5,01	2,12	42,42
60	6,66	6,36	2,22	6,51	5,03	5,36	1,87	34,92
65	5,78	6,58	2,22	6,18	4,40	5,03	1,77	35,22
70	6,11	7,91	5,01	7,01	2,11	5,63	2,24	39,83
75	7,49	7,18	3,16	5,94	2,42	5,24	2,32	44,33
80	7,78	7,48	4,03	6,43	2,77	5,70	2,20	38,67
85	7,92	6,98	5,40	6,76	3,95	6,20	1,55	24,95
90	6,18	4,84	6,95	5,99	7,72	6,34	1,08	17,07
95	9,58	6,61	5,70	7,29	5,90	7,02	1,57	22,33
100	7,80	7,55	6,36	7,24	3,06	6,40	1,94	30,37
105	7,75	7,55	4,16	6,48	3,62	5,91	1,92	32,44

110	6,69	10,21	2,59	6,50	6,43	6,48	2,70	41,57
115	7,09	7,40	2,15	5,55	7,24	5,89	2,22	37,63
120	7,49	8,15	3,98	7,82	6,07	6,70	1,71	25,57
125	8,46	8,26	5,04	7,25	6,65	7,13	1,39	19,44
130	6,65	8,45	7,15	7,42	7,80	7,49	0,68	9,03
135	7,74	8,81	6,95	7,83	4,79	7,22	1,51	20,95
140	9,38	8,84	6,60	9,11	2,56	7,30	2,87	39,35
145	8,28	9,10	4,24	7,21	4,8596413	7,21	2,18	30,26
150	8,37	7,98	6,22	7,52	7,10	7,44	0,83	11,22

Tabla ANOVA para GS (%) - 50°C por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1307,53	30	43,5843	15,50	0,0000
Intra grupos	348,691	124	2,81203		
Total (Corr.)	1656,22	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para GS (%) - 50°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
5	5	-4,02827	X
10	5	-2,7437	X
0	5	0	X
20	5	1,24296	XX
25	5	1,402	XX
15	5	1,51836	XX
30	5	2,17848	X
35	5	3,19714	XX
40	5	3,23193	XX
45	5	4,52208	XX
50	5	4,96716	XXX
55	5	5,00815	XXX
65	5	5,03183	XXX
75	5	5,23721	XXXX
60	5	5,35633	XXXX
70	5	5,62815	XXXXX
80	5	5,6962	XXXXX
115	5	5,88661	XXXXX
105	5	5,91118	XXXXX
85	5	6,20182	XXXXX
90	5	6,33797	XXXXX

100	5	6,4013	XXXXX
110	5	6,48374	XXXXX
120	5	6,70065	XXXX
145	5	6,73788	XXXX
95	5	7,01501	XXXX
125	5	7,13276	XXX
135	5	7,22393	XXX
140	5	7,29661	XXX
150	5	7,43675	XX
130	5	7,49458	X

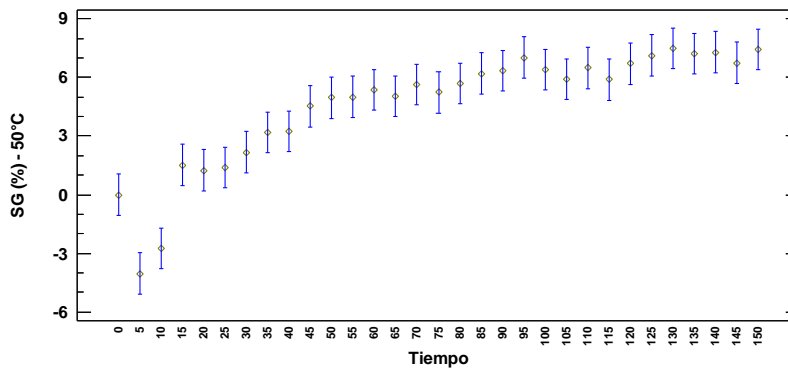


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Evolución de GS a 50°C en DOU

Tabla Evolución del contenido de °Bx durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 40°C.

Tiempo (min)	SST (°Bx)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#¡DIV/0!
5	0,81	1,03	0,92	0,54	0,79	0,82	0,18	22,30
10	1,27	0,75	1,18	1,01	0,97	1,04	0,20	19,37
15	2,18	1,81	1,65	3,52	1,73	2,18	0,78	35,67
20	2,88	0,87	2,34	4,17	-2,59	1,53	2,59	169,14
25	2,76	3,10	2,93	2,84	0,17	2,36	1,23	52,25
30	1,63	2,52	2,08	2,30	2,19	2,14	0,33	15,44
35	3,06	3,16	3,11	1,63	2,37	2,67	0,66	24,74
40	3,18	4,29	3,74	2,16	4,01	3,48	0,84	24,21
45	3,92	3,67	3,80	3,22	3,80	3,68	0,27	7,45
50	4,16	4,25	4,21	3,57	4,21	4,08	0,29	7,02
55	5,39	5,72	2,34	4,66	4,48	4,52	1,32	29,20
60	5,68	4,85	2,88	4,99	4,47	4,57	1,04	22,78

65	5,40	5,14	5,16	1,89	5,24	4,57	1,50	32,79
70	6,81	6,49	5,98	4,98	1,30	5,11	2,24	43,84
75	7,90	6,07	6,13	4,78	2,69	5,51	1,93	35,02
80	7,03	6,58	5,09	6,10	6,81	6,32	0,77	12,17
85	5,08	5,05	6,98	6,01	6,01	5,83	0,80	13,77
90	7,32	5,44	6,38	5,91	4,95	6,00	0,91	15,17
95	7,32	6,65	6,98	6,57	3,96	6,29	1,34	21,28
100	7,22	7,23	6,78	7,22	7,00	7,09	0,20	2,76
105	8,83	8,37	5,06	6,72	7,42	7,28	1,49	20,42
110	7,34	7,19	6,18	6,69	7,27	6,93	0,49	7,09
115	7,76	8,47	8,12	8,29	4,81	7,49	1,52	20,29
120	7,25	7,34	7,30	7,32	6,98	7,24	0,15	2,02
125	7,79	8,67	7,68	4,29	7,65	7,22	1,69	23,41
130	7,88	7,06	7,47	7,47	7,26	7,43	0,31	4,11
135	7,82	8,19	7,52	7,84	7,85	7,84	0,24	3,04
140	7,88	7,86	7,94	6,67	7,90	7,65	0,55	7,17
145	8,92	7,85	8,38	4,82	8,11	7,62	1,61	21,19
150	7,47	8,91	8,19	7,17	5,34	7,42	1,34	18,11

Tabla ANOVA para GS (%) - 40°C por Tiempo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	863,609	30	28,787	22,02	0,0000
Intra grupos	162,134	124	1,30753		
Total (Corr.)	1025,74	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para GS (%) - 40°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

Tiempo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	5	0	X
5	5	0,818	XX
10	5	1,036	XXX
20	5	1,534	XXX
30	5	2,144	XXXX
15	5	2,178	XXXX
25	5	2,36	XXXX
35	5	2,666	XXXX
40	5	3,476	XXXX
45	5	3,682	XXXX
50	5	4,08	XXX

55	5	4,518	XXX
65	5	4,566	XXX
60	5	4,574	XXXX
70	5	5,112	XXXX
75	5	5,514	XXXX
85	5	5,826	XXXXX
90	5	6,0	XXXXX
95	5	6,296	XXXXX
80	5	6,322	XXXXX
110	5	6,934	XXXXX
100	5	7,09	XXXX
125	5	7,216	XXXX
120	5	7,238	XXXX
105	5	7,28	XXX
150	5	7,416	XXX
130	5	7,428	XXX
115	5	7,49	XX
145	5	7,616	XX
140	5	7,65	XX
135	5	7,844	X

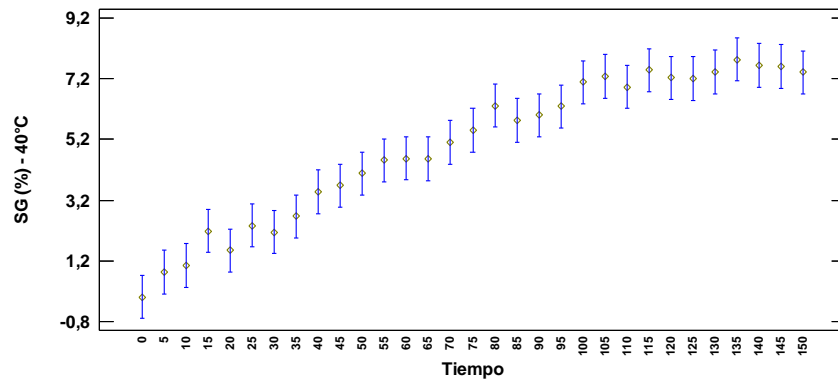


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Evolución de GS a 40°C en DOU

Anexo 9. Ajuste de modelos empíricos al comportamiento experimental de GS

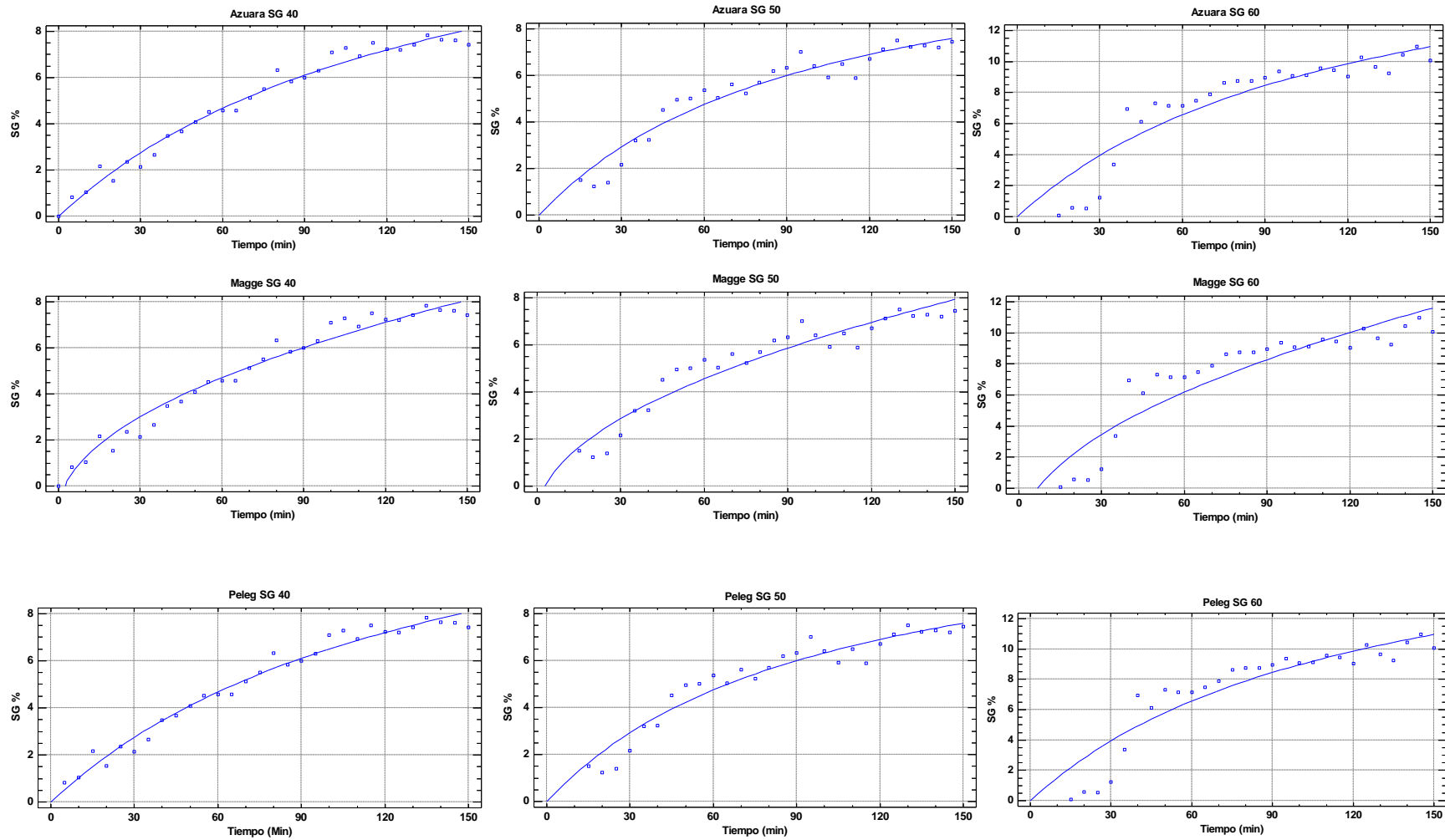


Figura32 Modelamiento de Azuara, Magge y Peleg para las cinéticas de Ganancia de solidos (GS) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas.

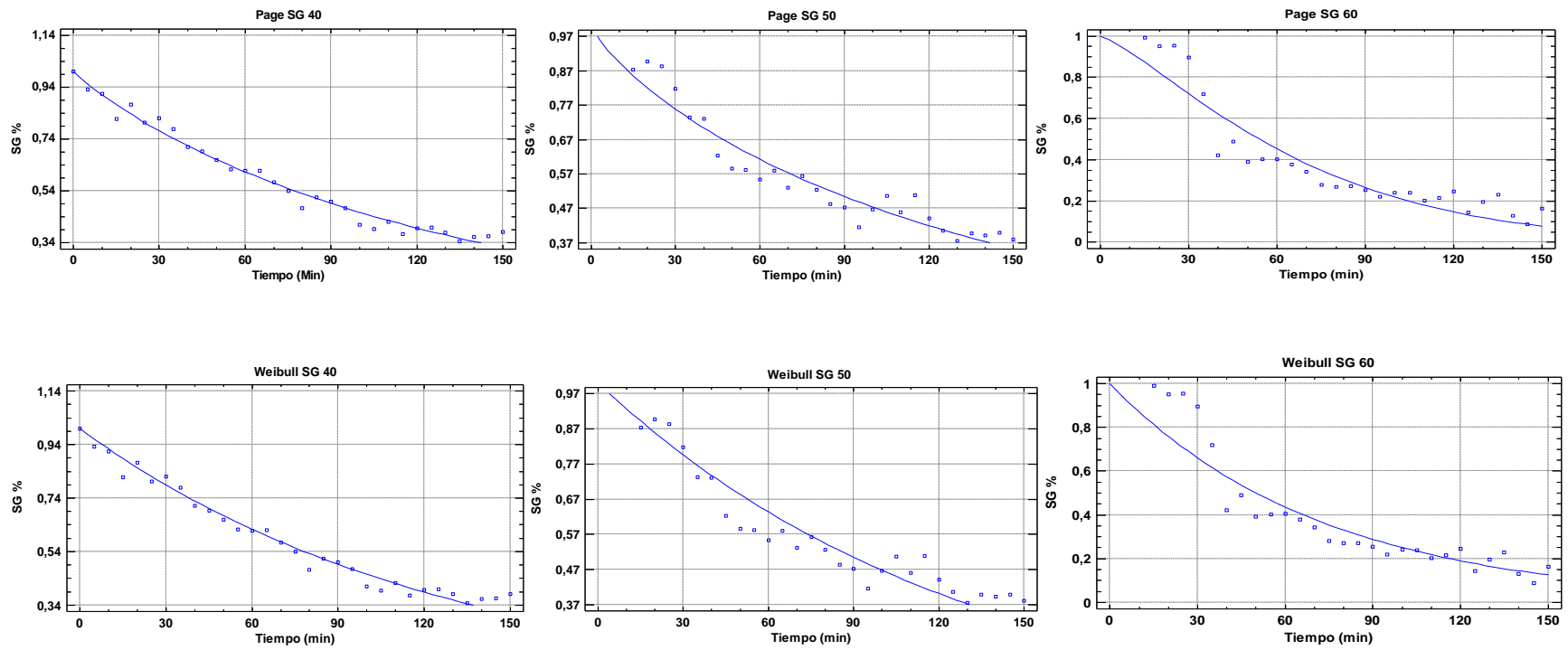


Figura33 Modelamiento de Page y Weibull para las cinéticas de Ganancia de solidos (GS) para datos experimentales de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido, para las tres temperaturas trabajadas

Anexo 10. Determinación grafica de la difusividad de sólidos en el sistema de osmodeshidratación ultrasónica y cálculo de E_a .

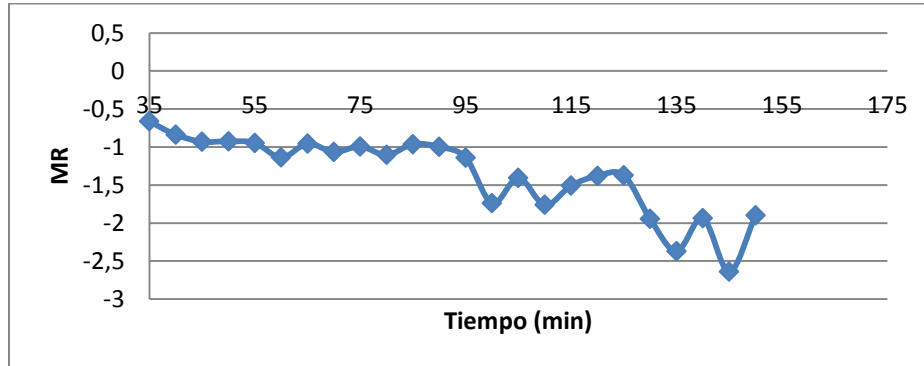


Figura35 Calculo de la difusividad efectiva ($Deff$) para sólidos en uchuva, por medio de la evolución del contenido de SST adimensional en el tiempo para temperatura de 60°C.

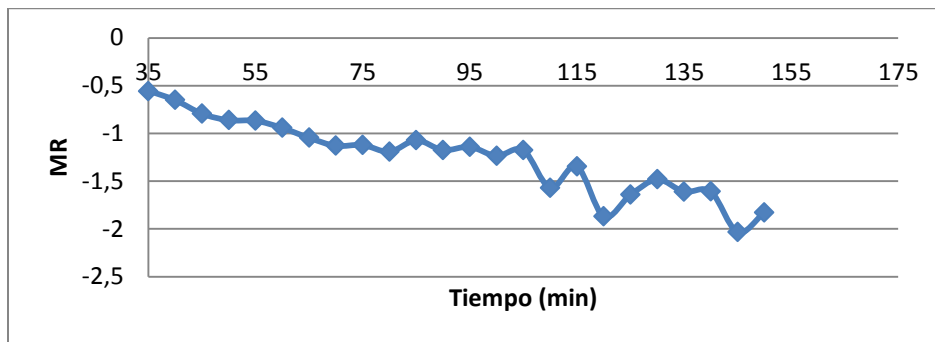


Figura36 Calculo de la difusividad efectiva ($Deff$) para sólidos en uchuva, por medio de la evolución del contenido de SST adimensional en el tiempo para temperatura de 50°C.

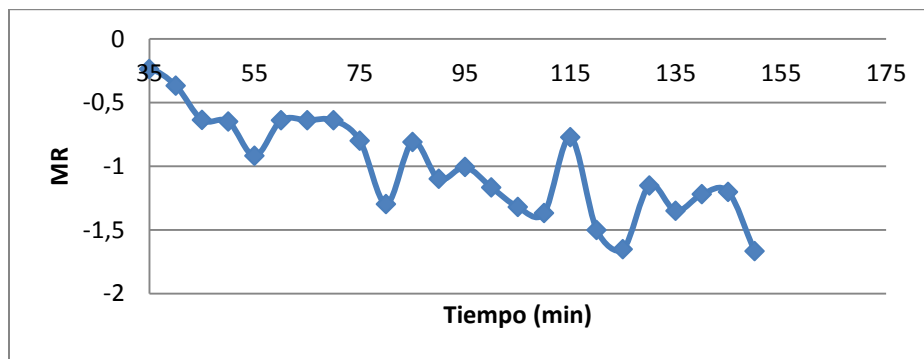


Figura37 Calculo de la difusividad efectiva ($Deff$) para sólidos en uchuva, por medio de la evolución del contenido de SST adimensional en el tiempo para temperatura de 40°C.

Tabla 17 Cálculos de parámetros para estimación de energía de activación necesaria para la transferencia de sólidos.

<i>Deff</i>	<i>Ln Deff</i>	Temperatura (°K)	1/T
2,25795E-08	-17,60622193	333,15	0,003001651
1,94064E-08	-17,7576607	323,15	0,003094538
1,61481E-08	-17,94146299	313,15	0,003193358

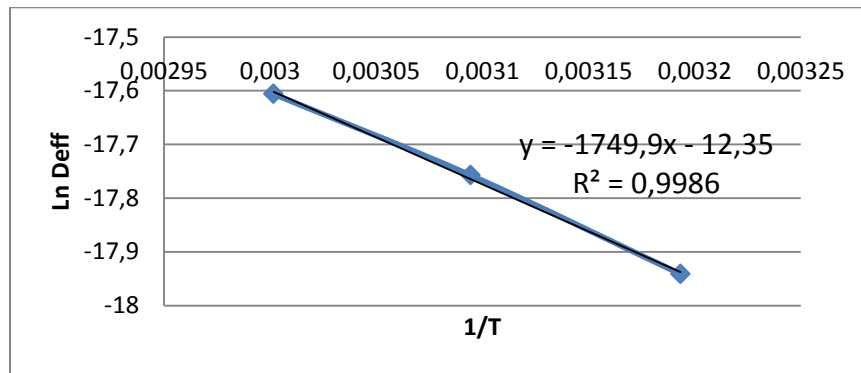


Figura38 Linealización de valores de $Deff$ a las temperaturas trabajadas para la estimación de energía de activación por relación tipo Arrhenius.

Anexo 11. Datos experimentales y estadísticos para la construcción de la cinética de pérdida de peso (PP) en deshidratación osmótica asistida por ultrasonido.

Tabla Evolución de la pérdida de peso durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 60°C.

Tiempo (min)	PP (%)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	142,22
5	45,40	36,24	31,66	38,53	38,53	38,07	4,97	13,04
10	44,83	47,55	42,10	44,83	27,85	41,43	7,83	18,91
15	56,45	54,99	52,55	55,72	54,93	54,93	1,47	2,67
20	54,90	52,30	54,43	54,90	57,96	54,90	2,02	3,68
25	64,91	64,41	65,79	68,52	60,94	64,91	2,73	4,21
30	63,10	63,73	62,82	65,29	60,35	63,06	1,79	2,84
35	64,53	66,34	60,08	64,53	67,16	64,53	2,74	4,24
40	62,61	61,69	63,87	69,67	61,51	63,87	3,37	5,28
45	65,74	65,65	65,67	65,25	66,03	65,67	0,28	0,42
50	66,87	66,52	61,08	64,82	64,82	64,82	2,29	3,54
55	63,13	62,19	67,01	64,11	64,11	64,11	1,81	2,82
60	66,40	66,60	66,79	66,43	65,93	66,43	0,32	0,48
65	62,05	66,72	61,23	63,34	63,34	63,34	2,10	3,31
70	64,05	66,92	65,29	65,42	65,42	65,42	1,02	1,55
75	60,19	66,90	64,69	63,93	63,93	63,93	2,42	3,78
80	64,99	65,69	64,29	64,99	64,99	64,99	0,50	0,76
85	64,87	63,06	61,61	63,18	63,18	63,18	1,15	1,83
90	63,28	63,61	62,95	63,28	63,28	63,28	0,23	0,37
95	63,28	64,23	66,80	64,77	64,77	64,77	1,29	1,99
100	68,09	67,91	68,27	68,09	68,09	68,09	0,12	0,18
105	66,43	70,98	67,13	68,18	68,05	68,16	1,73	2,54
110	67,84	67,70	66,22	67,25	67,25	67,25	0,63	0,94
115	66,09	66,23	66,92	66,41	66,41	66,41	0,31	0,47
120	66,50	67,46	65,54	66,50	66,50	66,50	0,68	1,02
125	65,14	65,75	65,47	65,45	65,45	65,45	0,22	0,33
130	66,96	67,57	67,67	67,40	67,40	67,40	0,27	0,41
135	66,06	65,22	67,55	73,06	73,06	68,99	3,81	5,52
140	71,53	70,02	70,04	72,84	73,23	71,53	1,51	2,11
145	70,57	70,07	67,18	73,19	71,85	70,57	2,25	3,19
150	72,44	70,40	69,58	72,83	73,19	71,69	1,60	2,23

Tabla ANOVA para PP (%) - 60°C por Tiempo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	27628,5	30	920,951	164,50	0,0000
Intra grupos	694,207	124	5,59844		
Total (Corr.)	28322,7	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para PP (%) - 60°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	5	7,19582E-9	X
5	5	38,0722	X
10	5	41,4307	X
20	5	54,8965	X
15	5	54,9291	X
30	5	63,0572	X
85	5	63,1783	X
90	5	63,2772	X
65	5	63,3352	X
40	5	63,8717	XX
75	5	63,9267	XX
55	5	64,1101	XX
35	5	64,5261	XXX
95	5	64,7687	XXX
50	5	64,8245	XXX
25	5	64,9125	XXX
80	5	64,9876	XXX
70	5	65,4169	XXXX
125	5	65,4538	XXXX
45	5	65,6689	XXXX
115	5	66,4145	XXXX
60	5	66,4294	XXXX
120	5	66,4989	XXXX
110	5	67,2502	XXX
130	5	67,4003	XXX
100	5	68,0899	XXX
105	5	68,1557	XXX
135	5	68,9891	XXX
145	5	70,5742	XX
140	5	71,5315	X
150	5	71,6894	X

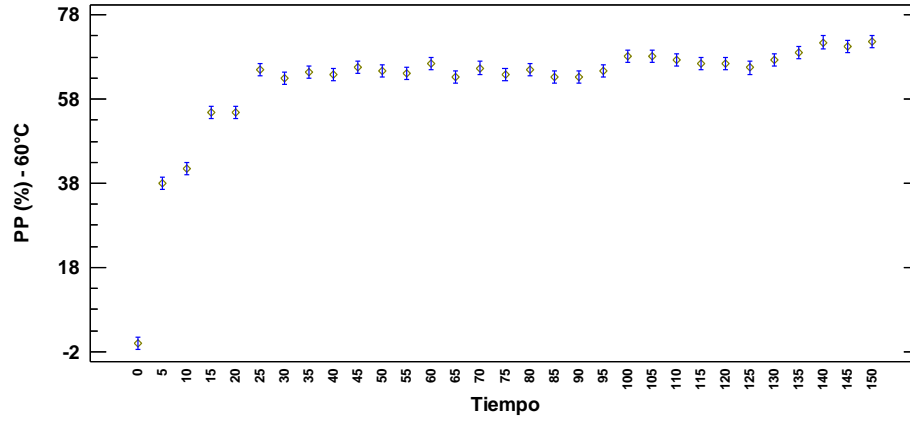


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Pérdida de peso a 60°C en DOU

Tabla Evolución de la pérdida de peso durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 50°C.

Tiempo (min)	PP (%)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	147,36
5	45,96	40,98	43,47	44,44	43,71	43,71	1,81	4,14
10	46,20	39,83	43,02	43,02	43,02	43,02	2,25	5,23
15	46,29	39,98	52,60	35,52	43,60	43,60	6,45	14,80
20	68,03	57,21	46,40	57,21	57,21	57,21	7,65	13,37
25	62,42	60,68	61,55	61,55	61,55	61,55	0,62	1,00
30	61,62	63,69	66,48	63,93	63,93	63,93	1,73	2,70
35	60,13	62,51	61,91	62,70	61,81	61,81	1,02	1,65
40	62,91	64,20	61,62	62,91	62,91	62,91	0,91	1,45
45	65,41	65,27	65,55	65,41	62,84	64,90	1,15	1,78
50	61,25	66,27	63,76	63,33	66,78	64,28	2,27	3,53
55	67,25	61,93	64,59	62,05	67,16	64,60	2,61	4,03
60	62,80	69,78	66,29	63,67	67,02	65,91	2,79	4,23
65	67,77	69,98	68,27	65,04	68,15	67,84	1,78	2,63
70	67,67	69,87	65,97	67,17	67,67	67,67	1,41	2,09
75	65,67	66,96	67,44	68,45	67,13	67,13	1,00	1,49
80	64,75	66,15	67,84	67,71	71,00	67,49	2,33	3,46
85	62,59	66,75	67,38	67,47	67,70	66,38	2,15	3,23
90	71,81	70,79	72,82	64,87	70,70	70,20	3,10	4,42
95	64,67	66,78	65,34	68,41	66,30	66,30	1,44	2,17
100	65,45	69,61	67,53	68,91	67,87	67,87	1,59	2,34
105	66,91	66,14	67,69	68,47	67,30	67,30	0,87	1,29
110	66,46	70,22	71,16	68,57	70,94	69,47	1,97	2,83
115	65,46	70,41	70,97	68,55	71,70	69,42	2,50	3,60
120	71,71	72,39	71,69	70,89	71,86	71,71	0,54	0,75
125	70,63	68,11	70,00	69,33	71,94	70,00	1,43	2,05
130	70,03	71,20	66,22	70,13	72,56	70,03	2,36	3,37
135	69,92	70,43	66,78	69,44	73,04	69,92	2,24	3,21
140	68,90	66,09	68,08	69,55	71,88	68,90	2,11	3,07
145	71,31	69,69	71,61	70,87	73,04	71,31	1,21	1,70
150	71,13	69,05	71,82	70,84	72,80	71,13	1,39	1,95

Tabla ANOVA para PP (%) - 50°C por Tiempo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	29185,6	30	972,852	153,20	0,0000
Intra grupos	787,444	124	6,35035		
Total (Corr.)	29973,0	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para PP (%) - 50°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	5	3,93129E-9	X
10	5	43,0161	X
15	5	43,5974	X
5	5	43,7147	X
20	5	57,2146	X
25	5	61,5464	X
35	5	61,8127	XX
40	5	62,9081	XXX
30	5	63,9319	XXXX
50	5	64,2771	XXXXX
55	5	64,5974	XXXXXX
45	5	64,8994	XXXXXX
60	5	65,9138	XXXXXX
95	5	66,303	XXXXXX
85	5	66,3777	XXXXXXXX
75	5	67,1317	XXXXXXXX
105	5	67,3034	XXXXXXXX
80	5	67,4884	XXXXXX
70	5	67,6698	XXXXXX
65	5	67,8416	XXXXXX
100	5	67,8737	XXXXXX
140	5	68,8997	XXXXXX
115	5	69,4182	XXXX
110	5	69,472	XXX
135	5	69,922	XX
125	5	70,0012	XX
130	5	70,0293	XX
90	5	70,1974	XX
150	5	71,1269	X
145	5	71,3056	X
120	5	71,7095	X

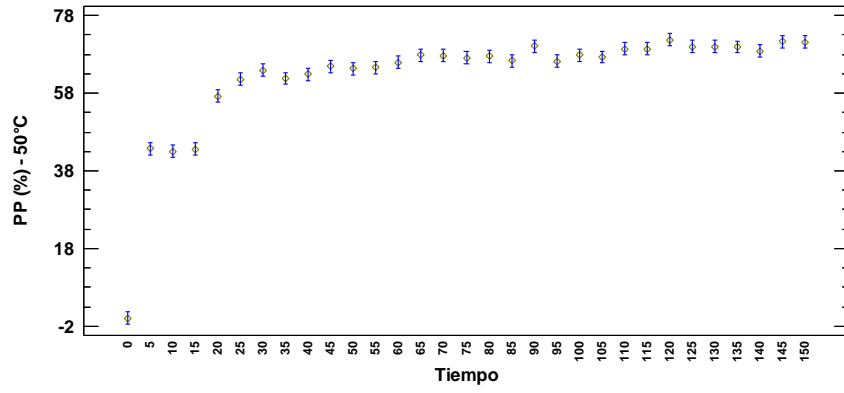


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Pérdida de peso a 50°C en DOU

Tabla Evolución de la pérdida de peso durante el pre tratamiento de deshidratación osmótica a 40°C.

Tiempo (min)	PP (%)					Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1905,56
5	37,00	31,99	21,45	30,14	30,14	30,14	5,61	18,62
10	32,99	39,83	41,54	38,12	36,41	37,78	3,29	8,71
15	41,06	42,22	49,65	41,64	43,64	43,64	3,49	8,00
20	36,75	39,55	38,15	37,35	34,98	37,35	1,69	4,53
25	42,68	45,98	51,23	45,37	41,34	45,32	3,81	8,41
30	44,42	46,95	45,68	49,54	42,75	45,87	2,58	5,62
35	50,53	56,07	45,00	50,53	49,46	50,32	3,94	7,84
40	61,95	61,59	61,15	61,56	61,43	61,54	0,29	0,47
45	56,73	54,93	58,52	55,83	56,43	56,49	1,33	2,35
50	58,66	57,45	59,86	58,05	58,46	58,50	0,89	1,53
55	61,01	61,28	60,74	56,62	59,91	59,91	1,91	3,19
60	61,00	60,16	61,83	58,51	60,15	60,33	1,23	2,04
65	62,60	65,02	59,90	61,29	64,20	62,60	2,09	3,34
70	65,01	64,84	65,03	63,35	66,84	65,01	1,24	1,90
75	64,25	60,33	64,27	64,95	67,45	64,25	2,55	3,97
80	66,47	65,39	66,02	66,78	67,67	66,47	0,85	1,28
85	64,71	64,16	67,85	62,13	66,28	65,03	2,17	3,33
90	65,15	62,90	62,28	65,65	66,56	64,51	1,84	2,85
95	66,12	64,28	63,53	62,38	66,93	64,65	1,87	2,89
100	62,42	63,44	63,16	62,07	61,02	62,42	0,96	1,53
105	67,38	67,83	65,63	66,55	69,50	67,38	1,46	2,16
110	69,53	63,69	67,30	66,84	68,88	67,25	2,28	3,38
115	66,45	65,55	65,28	68,52	67,73	66,71	1,39	2,09
120	67,52	64,88	65,97	68,25	70,98	67,52	2,34	3,46
125	70,11	70,87	69,90	68,53	71,12	70,11	1,02	1,45
130	67,55	72,88	69,63	69,29	72,13	70,29	2,18	3,10
135	66,70	71,78	66,96	70,00	72,43	69,57	2,66	3,82
140	69,98	69,98	69,04	69,24	71,65	69,98	1,03	1,47
145	68,21	69,57	67,10	69,55	72,06	69,30	1,86	2,68
150	69,46	67,17	68,48	69,60	72,60	69,46	2,00	2,88

Tabla ANOVA para PP (%) - 40°C por Tiempo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	35405,2	30	1180,17	223,64	0,0000
Intra grupos	654,367	124	5,27716		
Total (Corr.)	36059,6	154			

Pruebas de Múltiple Rangos para PP (%) - 40°C por Tiempo - Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Tiempo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	5	-4,6804E-8	X
5	5	30,1432	X
20	5	37,3532	X
10	5	37,7761	X
15	5	43,6436	X
25	5	45,3182	X
30	5	45,8668	X
35	5	50,3172	X
45	5	56,4855	X
50	5	58,4956	XX
55	5	59,9117	XX
60	5	60,3285	XX
40	5	61,5374	XX
100	5	62,4215	XXX
65	5	62,6012	XXX
75	5	64,248	XXX
90	5	64,5066	XXX
95	5	64,6466	XXXX
70	5	65,0133	XXXX
85	5	65,0286	XXXX
80	5	66,467	XXXX
115	5	66,7055	XXXXX
110	5	67,2469	XXXXX
105	5	67,3764	XXXXX
120	5	67,519	XXXXX
145	5	69,2995	XXXX
150	5	69,4634	XXX
135	5	69,5743	XXX
140	5	69,981	XX
125	5	70,1056	XX
130	5	70,295	X

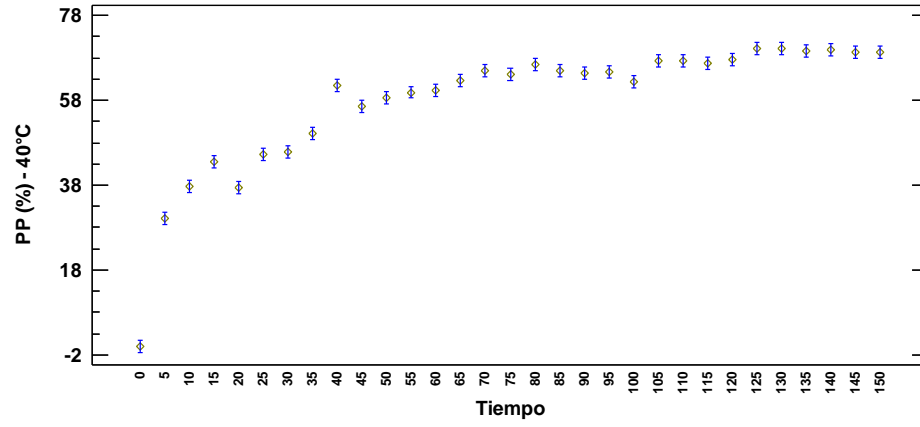


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para Pérdida de peso a 40°C en DOU

Anexo 12. Significancia de la temperatura frente al nivel de GS.

Tabla Perdida de agua (PA) para el sistema de deshidratación osmótica en las tres temperaturas tratadas para $t = 150$ minutos.

Temperatura (°C)	GS (%)
60	11,7260
60	12,4511
60	7,1264
60	12,0885
60	6,8541
50	8,3737
50	7,9763
50	6,2156
50	7,5219
50	7,0960
40	7,4700
40	8,9089
40	8,1894
40	7,1689
40	5,3377

Tabla ANOVA para GS (%) por Temperatura

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	22,9415	2	11,4708	3,32	0,0713
Intra grupos	41,4851	12	3,4571		
Total (Corr.)	64,4266	14			

Pruebas de Múltiple Rangos para GS (%) por Temperatura - Método: 95,0 porcentaje LSD

Temperatura	Casos	Media	Grupos Homogéneos
40	5	7,41503	X
50	5	7,43675	X
60	5	10,0493	X

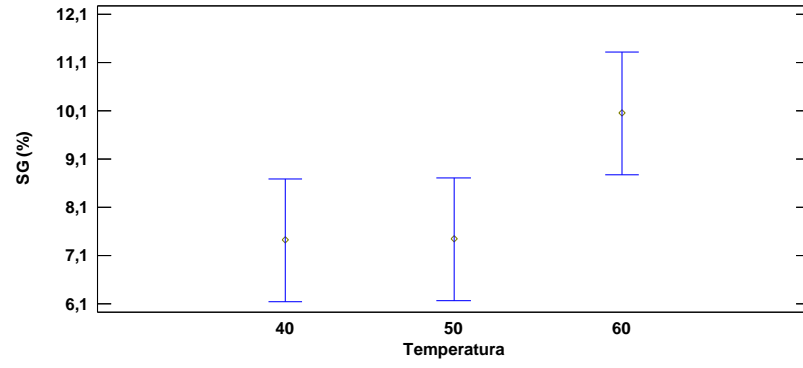


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para efecto de la temperatura sobre PA en DOU

Anexo 13. Caracterización fisicoquímica uchuva osmodeshidratada

Peso del fruto en rodajas (gr)	Actividad de agua
0,273	0,772
0,3143	0,778
0,3233	0,765
0,5007	0,742
0,3454	0,766
0,3603	0,724
0,2657	0,743
0,1561	0,775
0,2926	0,775
0,2624	0,714
0,2842	0,785
0,3811	0,736
0,2086	0,784
0,1556	0,792
0,2078	0,714
0,3116	0,756
0,3241	0,748
0,2111	0,794
0,4606	0,725
0,1704	0,753
0,224	0,746
0,1558	0,762
0,4051	0,768
0,2053	0,761
0,2915	0,728
0,2195	0,776
0,3327	0,777
0,1986	0,756
0,1544	0,741
0,3726	0,749
0,2185	0,721
0,3125	0,734
Peso Promedio	Aw promedio
0,27810625	0,755

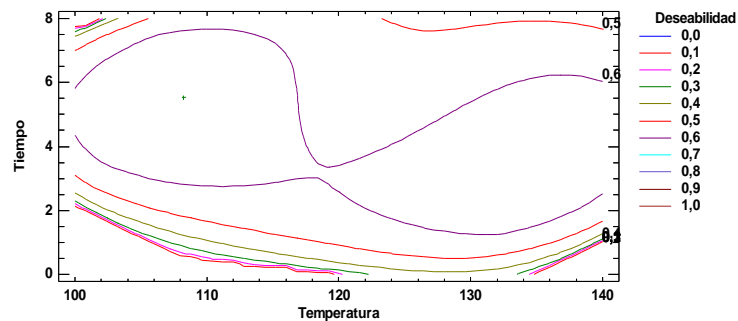
SST (°Bx)	pH	Humedad (%)
0,687484579	3,706	26,6
0,642926254	3,695	26,78
0,69011092	3,693	25,13
0,65826658	3,694	24,45
0,639164537	3,682	26,55
0,63770087		
0,708645339		
0,740280054		
0,707860718		
0,754295835		
0,704053836		
SST 0,688253593	pH 3,694	Humedad 25,902
Promedio	promedio	prom

Color			
*L	*a	*b	AE
47,87	12,57	38,56	5,840486614
49,36	14,14	40,26	7,003736245
50,05	14,41	40,27	7,651695246
48,48	12,09	37,1	6,809077774
46,86	9,64	34,8	7,949176617
48,01	11,88	36,12	6,825574345
47,8	13,74	37,04	5,667418626
48,54	19,59	47,09	11,20172236
45,501	13,47	31,43	8,083776763
Promedios			
48,05233333	13,50333333	38,07444444	7,448073844

Anexo 14. Maximización de la deseabilidad del sistema en el análisis de superficie de respuesta para la obtención de snacks de uchuva.

Tabla Desarrollo del diseño experimental en función de la deseabilidad del sistema.

Fila	Aceite	Color	Aw	Humedad	Hardness	Deseabilidad	
						Prevista	Observada
1	8,41219	9,01481	0,277	7,9712	24,8413	0,790217	0,734801
2	13,5732	8,00826	0,315	7,43623	13,5984	0,591261	0,627583
3	13,3012	8,48004	0,365	8,61122	16,5255	0,533018	0,536089
4	13,0697	4,58811	0,313	8,48287	8,6813	0,625003	0,689706
5	12,9895	14,1974	0,271	5,8364	8,2685	0,662377	0,658037
6	9,59356	4,30516	0,381	11,6912	19,6367	0,440203	0,567313
7	15,3584	8,52275	0,303	7,31769	13,2395	0,591261	0,0
8	10,9497	8,08406	0,426	15,8396	29,9717	0,461758	0,0
9	14,3089	8,57226	0,326	6,91921	14,5629	0,591261	0,549352
10	13,4884	8,31776	0,328	6,56354	13,9575	0,591261	0,625049
11	12,7996	20,8618	0,346	7,68361	24,8585	0,452504	0,0
12	13,249	8,79032	0,332	6,44533	14,3319	0,591261	0,629515
13	13,5869	7,98944	0,321	6,48731	14,039	0,591261	0,630716
14	9,16521	8,08012	0,315	7,83678	17,8205	0,577499	0,762863
15	11,0939	12,7005	0,318	5,44598	28,8445	0,678586	0,558538
16	14,7258	7,63052	0,307	6,30695	20,023	0,546191	0,497751
17	11,8834	19,1282	0,306	6,80804	25,2175	0,446716	0,425745
18	10,1394	14,2328	0,279	7,09083	14,441	0,644859	0,720835
19	13,4488	16,5325	0,289	4,71018	11,4497	0,612296	0,575163
20	8,72836	7,48047	0,404	9,37349	19,0236	0,647182	0,533519



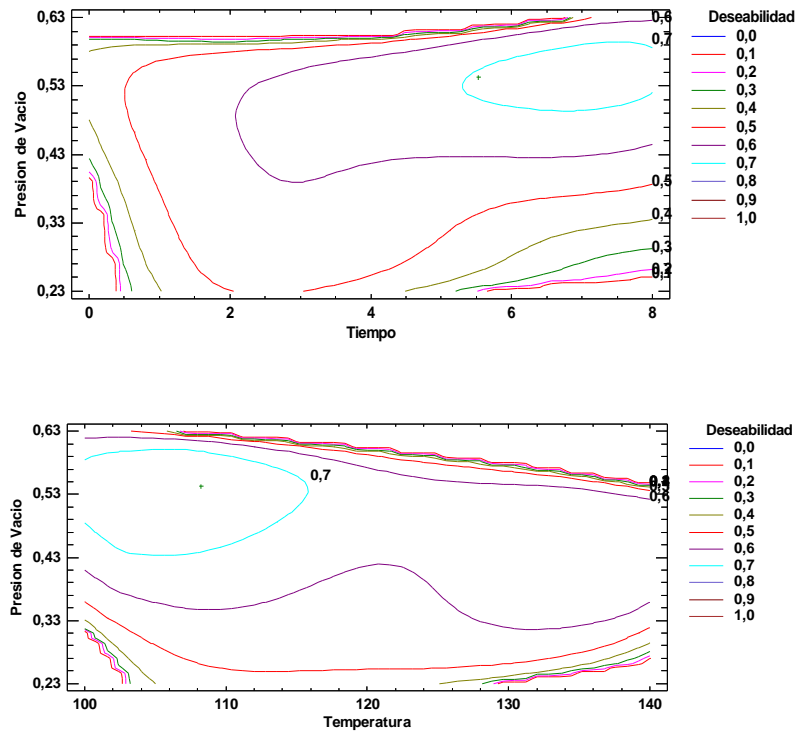


Figura Contornos de optimización del sistema para los factores empleados

**Anexo 15. Datos experimentales y estadísticos para la construcción de la cinética de
Absorción de aceite en fritura al vacío.**

Tabla Evolución de la absorción de aceite durante la fritura a vacío bajo condiciones óptimas.

Tiempo (Seg)	Contenido de aceite (%)		Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)
0	0,00	0,00	0	0	%
30	1,31	1,13	1,219	0,127279	10,43
60	3,82	3,79	3,8055	0,0212132	0,56
90	4,92	4,84	4,8798	0,0565685	1,16
120	4,89	4,87	4,882	0,0141421	0,29
150	5,12	5,10	5,1067	0,0141421	0,28
180	5,43	5,68	5,5565	0,176777	3,18
210	6,23	6,16	6,1954	0,0494975	0,80
240	7,20	7,19	7,1936	0,00707107	0,10
270	8,03	8,09	8,0584	0,0424264	0,53
300	7,97	7,75	7,8577	0,155563	1,98
330	8,49	8,47	8,478	0,0141421	0,17
360	8,63	8,75	8,687	0,0848528	0,98

Tabla ANOVA para % Aceite por Tiempo (seg)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	173,689	12	14,4741	2066,02	0,0000
Intra grupos	0,0910749	13	0,00700577		
Total (Corr.)	173,78	25			

Pruebas de Múltiple Rangos para % Aceite por Tiempo (seg) - Método: 95,0 porcentaje LSD

Tiempo (seg)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	2	0	X
30	2	1,21912	X
60	2	3,80557	X
90	2	4,87986	X
120	2	4,88235	X
150	2	5,10673	X
180	2	5,55653	X

210	2	6,19541	X
240	2	7,19368	X
300	2	7,85773	X
270	2	8,05849	X
330	2	8,4786	X
360	2	8,68719	X

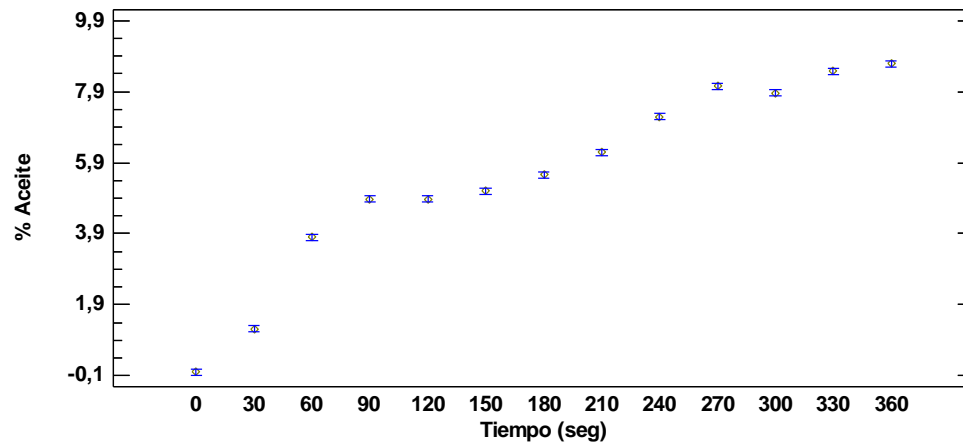


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para absorción de aceite bajo condiciones óptimas de fritura a vacío.

Anexo 16. Datos experimentales y estadísticos para la construcción de la cinética de pérdida de humedad en fritura al vacío.

Tabla Evolución de la absorción de aceite durante la fritura a vacío bajo condiciones optimas.

Tiempo (Seg)	Humedad (%)		Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)
0	25,55	26,25	25,90	0,4949	1,91
30	17,58	18,28	17,93	0,3954	2,76
60	14,94	15,64	15,29	0,3258	3,24
90	10,87	11,57	11,22	1,012	4,41
120	9,59	10,29	9,94	0,5684	4,98
150	9,09	9,79	9,44	0,4215	5,24
180	7,85	8,55	8,20	0,41	6,04
210	7,94	8,64	8,29	0,3588	5,97
240	7,07	7,77	7,42	0,845	6,67
270	7,97	8,67	8,32	0,6547	5,95
300	7,55	8,25	7,90	0,2356	6,27
330	6,47	7,17	6,82	0,2987	7,26
360	6,23	6,93	6,58	0,4956	7,53

Tabla ANOVA para Humedad(%) por Tiempo (seg)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	747,826	12	62,3189	254,36	0,0000
Intra grupos	3,185	13	0,245		
Total (Corr.)	751,011	25			

Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad(%) por Tiempo (seg) - Método: 95,0 porcentaje LSD

Tiempo (seg)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
360	2	6,57553	X
330	2	6,81745	X
240	2	7,42009	XX
300	2	7,8967	X
180	2	8,19937	X
210	2	8,28767	X
270	2	8,32242	X
150	2	9,44201	X
120	2	9,94449	X
90	2	11,2163	X
60	2	15,2938	X
30	2	17,928	X
0	2	25,9	X

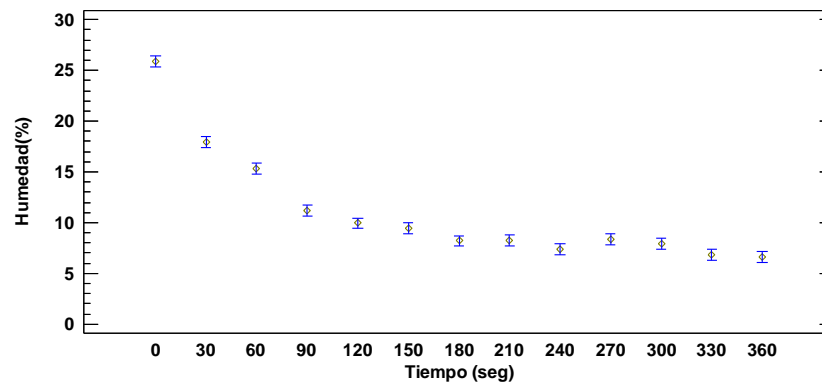


Figura Medias y 95% de Fisher LSD para absorción de aceite bajo condiciones óptimas de fritura a vacío.

Anexo 17. Datos experimentales y estadísticos en la comparación del contenido de aceite bajo condiciones atmosféricas y sub atmosféricas de muestras frescas y osmodeshidratadas; fritura atmosférica (T=170°C t =1.5min) y a vacío (T=108°C, P = 0.54 Bar, t = 1.5 min).

Tabla Comparación del contenido de aceite de muestra frescas y osmodeshidratadas sometidas a fritura atmosférica y a vacío.

Condición	Aceite (%)		Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)
FADO	7,8457	8,334	8,09025	0,345846	4,27
FAF	28,449	25,811	27,1301	1,86549	6,88
FVDO	4,92	4,84	4,88	0,0565685	1,15919
FVF	16,289	18,457	17,373	1,53301	8,82

FADO: Fritura atmosférica para muestra osmodeshidratada, FAF: Fritura atmosférica para muestra fresca, FVDO: Fritura a vacío para muestra osmodeshidratada, FVF: Fritura a vacío para muestra fresca

Tabla ANOVA para Aceite (%) por Condicion

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	602,667	3	200,889	134,98	0,0002
Intra grupos	5,95297	4	1,48824		
Total (Corr.)	608,62	7			

Pruebas de Múltiple Rangos para Aceite (%) por Condicion - Método: 95,0 porcentaje LSD

Condicion	Casos	Media	Grupos Homogéneos
FVDO	2	4,88	X
FADO	2	8,09025	X
FVF	2	17,373	X
FAF	2	27,1301	X

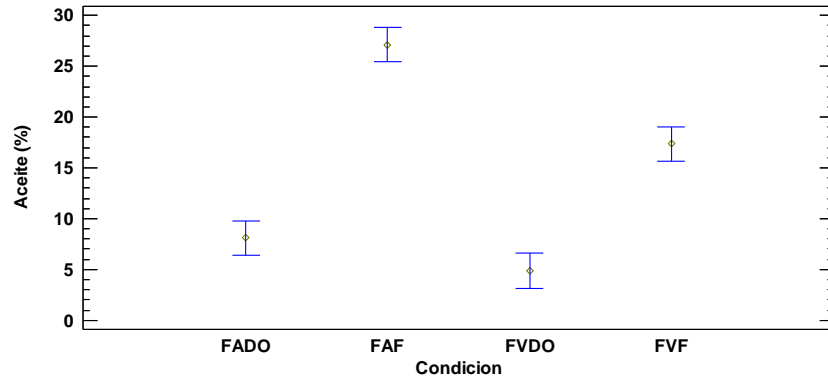


Figura Medias y 95% de Fisher LSD de comparación de absorción de aceite bajo condiciones atmosféricas y de vacío para uchuva fresca y osmodeshidratada

Anexo 18. Datos experimentales y estadísticos en la comparación del contenido de aceite bajo condiciones atmosféricas y sub atmosféricas de muestras frescas y osmodeshidratadas; fritura atmosférica (T=170°C t =1.5min) y a vacío (T=108°C, P = 0.54 Bar, t = 1.5 min).

Tabla Comparación del contenido de humedad de muestra frescas y osmodeshidratadas sometidas a fritura atmosférica y a vacío.

Condición	Humedad (%)		Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)
FADO	7,704	7,598	7,65129	0,0743148	0,97
FAF	19,862	21,408	20,6359	1,0931	5,30
FVDO	10,866	11,566	11,2163	0,494975	4,41
FVF	20,87	22,46	21,665	1,1243	5,19

FADO: Fritura atmosférica para muestra osmodeshidratada, FAF: Fritura atmosférica para muestra fresca, FVDO: Fritura a vacío para muestra osmodeshidratada, FVF: Fritura a vacío para muestra fresca

Tabla ANOVA para Humedad (%) por Condición

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	288,328	3	96,1093	141,89	0,0002
Intra grupos	2,70944	4	0,67736		
Total (Corr.)	291,037	7			

Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad (%) por Condición - Método: 95,0 porcentaje LSD

Condición	Casos	Media	Grupos Homogéneos
FADO	2	7,65129	X
FVDO	2	11,2163	X
FAF	2	20,6359	X
FVF	2	21,665	X

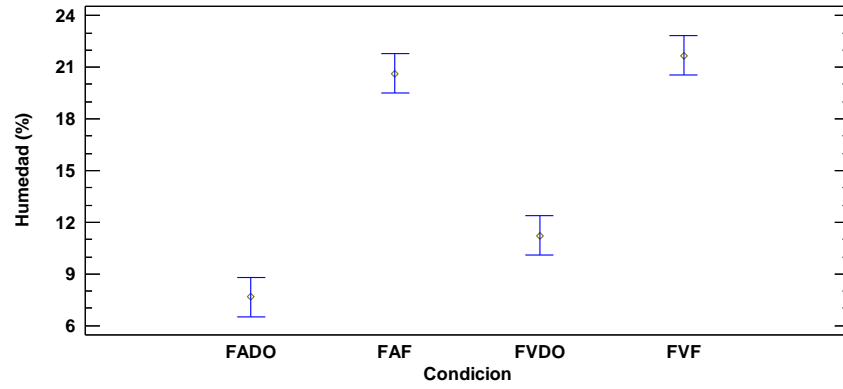


Figura Medias y 95% de Fisher LSD de comparación de pérdida de humedad bajo condiciones atmosféricas y de vacío para uchuva fresca y osmodeshidratada

Anexo 19. Formato de prueba sensorial Hedónica aplicada

Fecha: _____

INSTRUCCIONES

Frente a usted se presenta una muestra de un snack de uchuva frita. Por favor, obsérvela y pruébela. Indique el grado en que le guste o le diGusta cada atributo de la muestra, de acuerdo al puntaje.

Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría
1	Me diGusta extremadamente	6	Me gusta levemente
2	Me diGusta mucho	7	Me gusta moderadamente
3	Me diGusta moderadamente	8	Me gusta mucho
4	Me diGusta levemente	9	Me gusta extremadamente
5	No me gusta ni me diGusta		

Califique con una X o con el puntaje según corresponda:

- Olor: | ____ |
- Color: | ____ | - Similar al color original del fruto Si: __ No: __ Lo aparenta: __
- Sabor: | ____ | - Sabor similar al original del fruto: Si: __ No: __ Lo aparenta: __
- Textura: | ____ |
- Forma: | ____ | ¿Está conforme con la forma?: Si: __ / No: __ -> Esférica: __ En barra: __

Otra: _____

Considerando 1=Muy gomosa ; 5=equilibrio ; 9=Muy dura, califique la dureza del producto.

- Dureza: | ____ |

A continuación responda en base a: (1= Demasiado aceite; 9 = Bajo o excelente contenido de aceite)

- Sensación de aceite superficial: | ____ |
- Aceite en boca: | ____ |

A continuación responda en base a: (1= Nada interesado/Nada; 9= Muy interesado/Mucho)

- Cuanto le interesa el producto: | ____ |
- ¿Compraría el producto? Si: __ No: __

Sugerencias:
