

“Madre de Dios Capital de la Biodiversidad”

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**« EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL
FRUTO DE AJÍ DULCE AMAZÓNICO (*Capsicum chinense* Jacq), POR LA
METODOLOGÍA DE SUPERFÍCIE DE RESPUESTA »**

TESISTA:

Bach. Bautista Ferro Felipe

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUERTO MALDONADO – PERU

-2017-

“Madre de Dios Capital de la Biodiversidad”

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

« EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACION OSMÓTICA DEL
FRUTO DE AJÍ DULCE AMAZÓNICO (*Capsicum chinense* Jacq), POR LA
METODOLOGÍA DE SUPERFÍCIE DE RESPUESTA »

TESISTA:

Bach. Bautista Ferro Felipe

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUERTO MALDONADO - PERÚ

-2017-

DEDICATORIA

A mi familia y a mis amigos de la UNAMAD por su abnegado e incondicional apoyo brindado y que han mostrado en todo momento, contribuyendo en mi formación profesional y personal. Ayudándome así alcanzar mis objetivos.

A Dios, por guiarme en la vida, como también por perdonarme sin mirar los errores cometidos; y porque siempre está presente, salvaguardando mi salud en todo momento.

Felipe Bautista Ferro.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sentimiento de gratitud:

*A la **Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD)**, Facultad de Ingeniería, por la formación académica profesional durante los años de estudio en dicha institución.*

*Al **Ing. Javier E. Díaz Viteri (Asesor)**, por el asesoramiento y la amistad brindada en el presente trabajo de investigación y durante mi vida universitaria.*

*M. Sc. **Larry Oscar Chañi Paucar** y **Ing. Sinthia S. Quispe Lukaña (Co-asesores)**, por el asesoramiento y la amistad brindada en el presente trabajo de investigación*

*A los miembros del jurado conformado por el **Ing. Jesús Manuel Flores Arizaca** por su apoyo incondicional con la aplicación del modelamiento estadístico, **Ing. Raúl Huamán Cruz, Lic. Wilian Gerardo Lavilla Condori**, por sus valiosas sugerencias, las cuales contribuyeron al enriquecimiento del presente trabajo.*

PRESENTACIÓN

El presente trabajo tiene por finalidad dar a conocer las condiciones adecuadas de operación del proceso de deshidratación osmótica del ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq), evaluada por la metodología de superficie de respuesta (MSR). Los datos experimentales fueron obtenidos utilizando el diseño experimental Box-Behnken, ajustado a las variables independientes, temperatura (°C), concentración de sacarosa (°Brix) y relación solido/liquido (g/g). Las respuestas, ganancia de sólidos (GS), pérdida de peso (PP), pérdida de agua (PA) y humedad (H) del proceso de deshidratación osmótica fueron modeladas por la MSR. A seguir las variables respuestas fueron optimizadas simultáneamente utilizando la función de deseabilidad.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO, que consigna los antecedentes, la revisión bibliográfica de sustento y la investigación bibliográfica.

CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS, que consigna las generalidades, material biológico, materiales de laboratorio, equipos, instrumentos y reactivos. Los métodos, las técnicas, los instrumentos empleados en la investigación.

CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES, que consignan los resultados obtenidos experimentalmente en laboratorio y los resultados de los análisis estadísticos, dichos resultados son mostrados en cuadros y gráficos. Estos resultados son discutidos pertinentemente con la bibliografía disponible en el tema.

INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	12
1.1. Antecedentes	13
1.2. Generalidades: Ají dulce amazónico (<i>C. chinense</i>)	15
1.3. Variedades de Capsicum cultivadas y silvestres del Perú	16
1.3.1. <i>Capsicum annuum</i> L.	17
1.3.2. <i>Capsicum baccatum</i> L.	17
1.3.3. <i>Capsicum chinense</i>	17
1.3.4. <i>Capsicum frutescens</i> L.	18
1.3.5. <i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav.	18
1.4. Clasificación taxonómica de ají dulce (<i>C. chinense</i>)	19
1.5. Producción	19
1.6. Composición química	22
1.7. Uso potencial comercial	23
1.8. Deshidratación osmótica.	23
1.8.1. Pérdida de agua en la deshidratación osmótica	26
1.8.2. Las frutas pueden contener agua de tres tipos	26
1.8.3. Mecanismos de transferencia de masa en la deshidratación osmótica	27
1.8.4. Soluciones osmóticas	28
1.8.5. Variables de la deshidratación osmótica.	29
1.9. Optimización de procesos por método de superficie respuesta	31
1.9.1. El diseño de Box Behnken	33
CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	35
2.1. Lugar de ejecución	35
2.2. Materiales	35
2.2.1. Materia Prima	35
2.2.2. Reactivos	35

2.2.3. Equipos de laboratorio	35
2.2.4. Materiales de laboratorio	36
2.3. Metodología	38
2.3.1. Características físico-químicas	38
2.3.2. Análisis proximal de la muestra fresca	39
2.3.3. Metodología para la preparación de la muestra	39
2.3.4. Acondicionamiento de la muestra para deshidratación osmótica	42
2.3.5. Análisis por la metodología de superficie de respuestas	46
2.3.6. Optimización del proceso de deshidratación osmótica	46
CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
3.1. Caracterización física del ají dulce entero fresco	47
3.2. Caracterización proximal del ají dulce fresco y deshidratado osmóticamente	48
3.3. Diseño experimental y análisis estadístico	49
3.4. Valores para la matriz de los factores y sus niveles	50
3.5. Analisis de pérdida de peso	51
3.6. Analisis de humedad	56
3.7. Analisis de la ganancia de solidos	61
3.8. Análisis de la pérdida de agua	68
3.9. Optimización	73
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	84

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de ají dulce (<i>C. chinense</i>)	18
Cuadro 2. Evaluación de las exportaciones peruanas de <i>Capsicum</i> 2011- 2015	19
Cuadro 3. Composición de 100g de diferentes variedades de ajíes.	22
Cuadro 4. Usos y ventajas de algunos agentes osmóticos.	27
Cuadro 5. Características físicas del ají dulce (<i>C. chinense</i> Jacq)	46
Cuadro 6. Análisis proximal del ají dulce fresco (<i>C. chinense</i>).....	47
Cuadro 7. Análisis proximal del ají dulce - deshidratado	48
Cuadro 8. Matriz de diseño con variables independientes codificadas y variables respuestas	48
Cuadro 9. Matriz de las variables independientes	49
Cuadro 10. Matriz de respuestas de las variables dependientes	49
Cuadro 11. Resumen de ajuste.....	50
Cuadro 12. ANOVA superficie de respuesta modelo cúbico reducido-pérdida de peso.....	50
Cuadro 13. Coeficientes de modelo ajustado para pérdida de peso.....	51
Cuadro 14. Resumen de ajuste.....	55
Cuadro 15. Modelo secuencial suma de cuadrados	56
Cuadro 16. ANOVA de superficie de respuesta para el modelo cúbico reducido.....	56
Cuadro 17. Coeficiente de modelo ajustado para humedad.....	57
Cuadro 18. Resumen de ajuste.....	61
Cuadro 19. Modelo secuencial suma de cuadrados	61
Cuadro 20. ANOVA de superficie de respuesta reducida modelo cúbico.....	62
Cuadro 21. ANOVA de superficie de respuesta reducida modelo cúbico.....	63
Cuadro 22. Resumen de ajuste.....	67
Cuadro 23. Modelo secuencial suma de cuadrados	67
Cuadro 24. ANOVA de superficie de respuesta reducida modelo cúbico.....	68
Cuadro 25. Coeficientes de ajuste.....	69
Cuadro 26. Condiciones óptimas	73
Cuadro 27. Optimización de resultados	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ají dulce (<i>C. chinense</i>)	15
Figura 2. Principales mercados de <i>Capsicum</i> congelados	20
Figura 3. Principales mercados de <i>Capsicum</i> fresco.....	20
Figura 4. Metodología de superficie de respuesta.....	32
Figura 5. Diseño de Box- Behnken para 3 factores	33
Figura 6. Diseño c.c. con centros en las caras para k=3.....	33
Figura 7. Refractómetro digital	36
Figura 8. Campana desecadora	36
Figura 9. Balanza analítica.....	36
Figura 10. Estufa ecocell.....	37
Figura 11. Diagrama de operaciones para la preparación y acondicionamiento de la muestra	39
Figura 12. Ají dulce.....	39
Figura 13. Selección y clasificación.....	40
Figura 14. Pesado y medición	40
Figura 15. Lavado y desinfección	40
Figura 16. Diagrama de flujo para la determinación de la cinética deshidratación osmótica. 41	
Figura 17. Cortes de la muestra.....	42
Figura 18. Pesado y acondicionamiento de la materia prima.....	42
Figura 19. Acondicionamiento de la temperatura.	43
Figura 20. Deshidratación osmótica del ají duce	43
Figura 21. Acondicionamiento de la temperatura	44
Figura 22. Muestra de Ají dulce, sección longitudinal	46
Figura 23. Curva normal residual.....	53
Figura 24. Efecto de la concentración de sacarosa y temperatura sobre la pérdida de peso.. 53	
Figura 25. Efecto de la relación SO:M y temperatura sobre la pérdida de peso.....	54
Figura 27. Efecto de la concentración de sacarosa (a) relación SO:M (b) y temperatura sobre la humedad	78

RESUMEN

El ají, ocupa el primer lugar en importancia dentro de las hortalizas que se cultivan en muchos países, consumido como condimento, rico en vitaminas, minerales y fibras. El fruto de ají dulce es altamente perecible *in natura* dificultando su utilización en un tiempo prolongado, motivo por el cual es necesario desarrollar un tratamiento adecuado que permita prolongar su vida útil sin que modifique sus propiedades funcionales. La deshidratación osmótica se presenta como una alternativa que permite conservar las propiedades nutricionales y sensoriales originales de los alimentos. El objetivo abordado en este estudio fue evaluar los efectos de la temperatura (35, 40 y 45 °C), concentración de sacarosa (20, 35 y 50 °Brix) y la razón sólido:líquido (1:15, 1:20 y 1:25 g/g), en la pérdida de peso (PP) en g.100g⁻¹ base húmeda (b.h.) de muestra fresca (MF), ganancia de sólidos (GS) en g. de sólidos.100g⁻¹ b.h MF, pérdida de agua (PA) en g. agua.100g⁻¹ b.h MF y humedad en g.g⁻¹ en base seca (b.s) del ají dulce (*C. chinense* Jacp.) deshidratado osmóticamente. Adicionalmente se determinó la composición físico-química de la muestra fresca y deshidratada. Los ensayos se realizaron de acuerdo con el diseño experimental de Box-Behnken considerando tres variables independientes y como respuestas, posteriormente fueron sometidas a análisis por la metodología de superficie de respuestas (MSR). Las variables respuestas fueron optimizadas simultáneamente sin restricciones, utilizando la función de deseabilidad, maximizando la pérdida de agua y de peso, por otra parte, la ganancia de sólidos y el contenido de humedad fueron minimizadas en la deshidratación osmótica del ají dulce en solución binaria (agua y sacarosa). Los resultados de la optimización muestran que la deshidratación osmótica es más eficiente a una temperatura 36,46 °C, concentración de solución sacarosa de 50 °brix, relación solución osmótica/muestra 1/22,15 g/g. En esas condiciones fueron observadas una pérdida de agua de 77,978%, ganancia de sólidos de 11,92%, pérdida de peso de 66,048% y contenido de humedad de 0,794%. En consecuencia fue posible identificar una zona común de operación eficiente para la deshidratación osmótica del ají dulce con empleo de solución binaria sacarosa-agua.

Palabras claves: Transferencia de masa, *Capsicum chinense*, Modelamiento matemático, Diseño Box-Behnken.

ABSTRACT

The pepper occupies the first place in importance in the vegetables that are cultivated in many countries, consumed like a condiment, rich in vitamins, minerals and fibers. The sweet pepper fruit is highly perishable *in natura* and makes it difficult to use in a long time, which is why it is necessary to develop a suitable treatment that prolongs its useful life without modifying its functional properties. Osmotic dehydration is presented as an alternative to preserving the original nutritional and sensory properties of food. The objective of this study was to evaluate the effects of temperature (35, 40 and 45 °C), sucrose concentration (20, 35 and 50 °Brix) and the solid:liquid ratio (1:15, 1:20 and 1:25 g/g), in weight loss (WL) in g.100g⁻¹ wet basis (wb) fresh sample (FS), gain of solids (GS) in g.100g⁻¹ wb FS, loss of water (LW) in g.100g⁻¹ wb FS and moisture in g.g⁻¹ on a dry basis (d.b.) of sweet pepper (*C. chinense*) osmotically dehydrated. Additionally, the physicochemical composition of the fresh and dehydrated sample was determined. The assays were performed according to the Box-Behnken experimental design fitted to the three independent variables and subsequently, the response variables were subjected to analysis by the surface response methodology (SRM). On the other hand, the solids gain and the moisture content were minimized in the osmotic dehydration of the sweet pepper in binary solution (water and sucrose). The results of the optimization show that osmotic dehydration is more efficient at a temperature 36,46 °C, sucrose solution concentration 50 °Brix, osmotic solution ratio 1/22,15 g/g. Under these conditions, a water loss of 77,978%, solids gain of 11,92%, weight loss of 66,048% and moisture content of 0,794% were observed. Consequently, it was possible to identify an efficient common operating area for osmotic dehydration of sweet pepper using sucrose-water binary solution.

Keywords: Mass transfer, *Capsicum chinense*, Mathematical modeling, Box-Benhken design

INTRODUCCIÓN

El fruto del ají dulce (*C. chinense*), es ampliamente utilizada en preparaciones culinarias, especialmente en guisos, salsas y sopas. También es utilizado en la elaboración de salsas envasadas y condimentos, este último puede obtenerse después del deshidratado y posterior molienda del ají. La producción de ají dulce en la región Madre de Dios y en el resto de la Amazonia del Perú, es estacionaria, por esta razón y además por ser altamente perecible, se han buscado alternativas de procesamiento, con la finalidad de desarrollar productos con características sensoriales idénticas al producto fresco, con una vida útil mayor, posibilitando de esta manera mantener la disponibilidad del producto durante mayor tiempo. La deshidratación del ají dulce ha sido y sigue siendo una de las opciones más utilizadas para el procesamiento de esta hortaliza, este proceso con frecuencia se realiza en estufa de aire forzado, posterior a la deshidratación el ají es molido para obtener un polvo que se utiliza como condimento, uno de los aspectos negativos en este proceso es el efecto negativo de la temperatura sobre las características sensoriales. En la actualidad, la deshidratación por transferencia de masa, o también conocida como deshidratación osmótica (DO), ha sido sujeta de numerosas investigaciones, aplicándose en el procesamiento de frutas y vegetales en países en vías de desarrollo como tratamiento previo en procesos convencionales, los resultados de estas investigaciones muestran un efecto positivo en la conservación de las propiedades nutricionales, sensoriales y de estabilidad del producto final. La DO se basa en la deshidratación a través de la transferencia de masa de un soluto en solución hacia la matriz del alimento, reduciendo de esta manera la actividad del agua, el cloruro de sodio y la sacarosa son frecuentemente utilizados en la preparación de la solución osmótica. La deshidratación en general ofrece varias ventajas en comparación a productos *in natura*, entre ellas destacan, la reducción del peso, volumen y aumento de la vida útil. Los productos obtenidos por DO son más estables debido a que se reduce la actividad de agua (aa) hasta un nivel en el que se puede reducir el desarrollo de los microorganismos y la actividad enzimática. La deshidratación por osmosis es un proceso que utiliza temperaturas moderadas (20-50°C), debido a esto se puede evitar la degradación de macronutrientes y micronutrientes que son inestables a altas temperaturas, por otra parte, el uso de temperaturas moderadas en la DO contribuye en abaratar el costo de proceso de deshidratación.

El proceso de DO consiste en sumergir una fruta u hortaliza fresca en una solución con alta presión osmótica, generando así un gradiente de concentraciones de sólidos en suspensión entre el agua contenida en las frutas/vegetales y el de la solución osmótica, esto promueve dos flujos de masas, la primera es la salida del agua desde el interior de las frutas/vegetales hacia la solución osmótica, el segundo es la penetración de los sólidos contenidos en la solución osmótica hacia adentro del alimento a deshidratar. El flujo de agua que sale del alimento, es acompañado por diversos compuestos, como los ácidos orgánicos, su cantidad es despreciable, por esa razón no se consideran en los cálculos de balance de masa, pero por otro lado, la pérdida de estos compuestos puede modificar sustancialmente las características sensoriales del alimento. Siendo la deshidratación osmótica un proceso que combina el uso de soluciones hipertónicas a condiciones moderadas de temperatura, es recomendable cuando en el alimento se desea mantener las propiedades funcionales de estas como se describió la temperatura, la concentración de agente osmótico y la relación sólido-líquido son variables que influyen en el proceso de deshidratación osmótica, por lo tanto es fundamental entender la relación de estas variables y el efecto sobre la deshidratación de la materia prima, con la finalidad de determinar las condiciones más adecuadas para un proceso de deshidratación osmótica del ají dulce.

Esta investigación tuvo como objetivo general, evaluar el efecto de la temperatura, concentración de sacarosa y razón solido: liquido, sobre la deshidratación osmótica del fruto de ají dulce (*C. chinense*). Los objetivos específicos establecidos en el trabajo fueron, determinar pérdida de peso (PP), humedad normalizada (HN), pérdida de agua (PA) y ganancia de sólidos (GS) del ají Dulce a diferentes concentraciones de sacarosa (20, 35 y 50 °Brix), temperatura (35, 40 y 45 °C) y razón sólido:líquido (15:1, 20:1 y 25:1 g/g). Analizar y determinar el efecto de las variables controladas del proceso de osmodeshidratación sobre PP, HN, PA y GS, mediante la metodología de superficie de respuesta. Determinar las condiciones que permitan un proceso de deshidratación osmótica más eficiente. Caracterizar físico-químicamente el ají dulce antes y después del proceso de deshidratación osmótica.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Ayala et al. (2010), evaluaron el efecto de la aplicación de la presión de vacío y la concentración de solutos de la solución osmótica durante la deshidratación osmótica de pitahaya. Los resultados muestran que la pérdida de agua fue favorecida durante los primeros 60 min de proceso, alcanzando en este período la mayor ganancia de sólidos. En un tiempo mayor solo la concentración de la solución osmótica tuvo efecto significativo en la pérdida de agua. La deshidratación osmótica de las rodajas de pitahaya fue favorecida más por el fenómeno difusivo que por el mecanismo hidrodinámico. Los investigadores concluyeron que la osmodeshidratación de Pitahaya a presión atmosférica, puede utilizarse como un tratamiento previo en el procesamiento de esta fruta.

Bahadur Singh et al. (2007), optimizaron el proceso de deshidratación osmótica de cubos de zanahoria en solución de sacarosa por la metodología de superficie de respuesta (RSM), los experimentos se llevaron a cabo de acuerdo al diseño compuesto central. Las variables independientes para el proceso de deshidratación osmótica fueron concentraciones de solución osmótica (45-55 °Brix), temperatura (35-55°C) y tiempo de proceso (120-240 min). El análisis estadístico de los resultados mostró que todas las variables del proceso tuvieron un efecto significativo en todas las respuestas a nivel de 5% de significancia ($P < 0,05$). El proceso de deshidratación osmótica fue optimizado por la metodología de superficie respuesta, para la pérdida máxima del agua, la relación de rehidratación, la retención del color y ganancia mínima soluto. Las condiciones óptimas del proceso fueron 52,5 °Brix concentración de jarabe de sacarosa, temperatura de la solución osmótica 49°C y duración del proceso 150/min.

Bambicha et al. (2011), realizaron la optimización del proceso de deshidratación osmótica (DO) de calabacita (*Cucurbita moschata*), empleando la metodología de superficie de respuesta (MSR). La optimización multirespuestas fue realizada para maximizar la pérdida de agua (WL), maximizar la reducción de peso (WR), minimizar la

ganancia de sólidos (SG), minimizar el teor de humedad normalizada (NMC) y minimizar el cambio de color (CC). Los experimentos de DO fueron realizadas utilizando soluciones ternarias (agua/sacarosa/cloruro de sodio) con un total de 32 ensayos (n), de acuerdo con un diseño de composición Central 2³ que evaluó los efectos de las variables; concentración de sacarosa (40, 50 y 60°Brix), concentración de cloruro de sodio (3, 6 y 9 g/100g) y tiempo de ensayo (1, 2 y 3 h). El modelo matemático empleado mostro una buena correlación con los datos experimentales ($p > 0,05$), por tanto, puede emplearse para predecir el comportamiento de las variables respuestas, en el rango evaluado para las variables independientes. A partir de la optimización fue determinado que a 60°Brix, 6,39% de sacarosa, 6,39% de cloruro de sodio y un tiempo de deshidratación de 144min, es posible obtener un proceso de deshidratación osmótica más eficiente.

Tiroutchelvame et al. (2015), Evaluaron el efecto de los parámetros del proceso, tales como la concentración de sal (1-5%), la relación sólido:líquido (1:5 -1:15 g/ml), temperatura de la solución osmótica (30-50°C) y el tiempo de tratamiento de (30-180 min), los parámetros de transferencia de masa (reducción de peso, ganancia de sólidos y pérdida de agua) durante la deshidratación osmótica de rodajas de *Momordica charantia*. Se utilizó el diseño de superficie respuesta de cuatro factores de Box-Behnken. Los resultados mostraron que las variables de proceso tienen un efecto considerable sobre la deshidratación osmótica. Basado en el método de deseabilidad, las condiciones óptimas más favorables fueron la concentración de la solución osmótica de 3,5%, relación de 1:13 g/ml, temperatura de la solución osmótica de 46°C y el tiempo de deshidratación osmótica de 138 min. Los cambios micro estructurales durante la deshidratación osmótica fueron también investigados utilizando microscopía electrónica de barrido.

Navin (2013), aplicaron la deshidratación osmótica de paprika roja (*C. Annuum*) fue estudiada usando la solución de sacarosa combinadas (5 a 45g/100g) y de cloruro de sodio (0 a 15g/100g). Los coeficientes efectivos de función para agua y de soluto fueron utilizados en el método basado en el modelo de Fick. Los efectos de concentración de sacarosa, cloruro de sodio y su interacción aplicada en el agua y los coeficientes de difusión del soluto así como también en la humedad de equilibrio, están bien fundamentadas y estudiadas, usando diseño alternable compuesto y central de

experimentos. Y se encontraron las siguientes condiciones óptimas de (concentración de sacarosa y de cloruro de sodio: fueron 21,86g/100g y 2,02g/100g, respectivamente).

Ozdemir et al. (2008), La deshidratación osmótica de pimiento verde troceado (*Capsuicum annuum*) en cubitos fue optimizada a través de la metodología de superficie de respuesta. Los ensayos fueron conducidos de acuerdo al delineamiento compuesto central rotacional. Las variables controladas fueron: T (35, 40,45 °C) y un tiempo de 1 a 9 horas concentración de azúcar (25, 35 y 50°Brix) de sal de tiempo (0 a 10 g/100 g). Los resultados sugieren que las condiciones óptimas para el proceso de deshidratación osmótica son 5,5 g sal/100g y 6g sorbitol / 100g a 30°C/ 240 minutos. En estas condiciones del proceso, se obtuvieron valores para la pérdida de agua 23,3% y de ganancia de sólido de 4,1%.

Mundada (2010), La metodología de la superficie respuesta fueron parámetros de proceso para la deshidratación osmótica de arilos de granada en soluciones acuosas de sacarosa y teniendo concentraciones de 45–55 °Brix, y temperatura de 40–50 °C que fueron verificados durante el tiempo de procesamiento 60–100 min. Las ecuaciones de regresión obtenidas en este estudio sirven para determinar las condiciones óptimas de las respuestas deseadas dentro del ámbito de las condiciones aplicadas en este estudio. Las técnicas gráficas, con respecto a la metodología de superficie respuesta (MSR), fueron auxiliados en hallar condiciones óptimas de funcionamiento, que fue experimentalmente verificado y probado para ser adecuadamente reproducible. La condición óptima por la optimización numérica obtenida fue 50 °Brix de concentración sacarosa, y 40°C de temperatura, y un tiempo de 100 min de duración del proceso para conseguir una máximo %PP, %PA y un mínimo de %GS y humedad, y retención total de la antocianina.

1.2. Generalidades del ají dulce amazónico

El ají dulce amazónico, es una variedad nativa de las especies *C. chinense*, *C. annuum* y *C. frutescens*. Esta hortaliza pertenece a la familia de las solanáceas, caracterizada por su elevado contenido en vitamina C. La mayor diversidad y volumen

de producción fue observada en el oriente Venezolano especialmente en la isla de Margarita, Monagas y Sucre (Hernandez, 2010).

El ají tiene su centro de origen en las regiones con climas tropicales de América del sur, especialmente en Bolivia, Perú, Venezuela y Colombia, de donde probablemente se habría diseminado para otras partes de América. Las especies de ajíes más comerciales son *C. chinense*, cuyo cultivar “Habanero” presenta un alto contenido de capsaicina que le confiere un picante característico; *C. frutescens*, cuyo cultivar “Tabasco” es ampliamente empleado en la elaboración de salsas picantes; *C. baccatum*, conocido como ají andino, es cultivado ampliamente en zonas altiplánicas, y *C. pubescens*, cuyo cultivar, “Rocoto” es muy apreciado debido a sus características sensoriales en poblaciones altiplánicas de (Orbegoso, 1954; Ortiz, 1983; Vargas, 1985).



Figura 1. Ají dulce (*C. chinense*)

El ají dulce, al igual que todos los pimientos, tiene su centro de origen en las regiones tropicales de América. De hecho, ahora se sabe que el ají dulce, y todos los pimientos *C. chinense*, tienen su centro de origen en la Amazonía brasileña (Brown *et al.*, 2013).

1.3. Variedades de *C. chinense* cultivadas y silvestres del Perú

El ají es una de las hortalizas probablemente más empleadas en el arte culinario en muchos países del mundo. Se han identificado aproximadamente 30 especies de *Capsicum*, existen variedades no picantes como el caso del ají dulce y otras picantes como el ají habanero (García 2011). Las especies domesticadas de *Capsicum* de las

variedades conocidas en la actualidad, son: *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. pubescens*.

1.3.1. *Capsicum annuum*: En la actualidad esta especie se encuentra distribuida en todo el mundo, entre variedades domesticadas y otras que crecen de forma silvestre, los frutos de esta especie presentan una gran diversidad en cuanto a tamaños, formas, sabores, colores y grados de pungencia. Entre las variedades más conocidas se destacan el jalapeño (*C. annuum* var. *annuum*), la paprika (*C. annuum* var. *longum*) y otras ampliamente empleadas en la gastronomía (Sociedad Peruana de Gastronomía *et al.* 2009; García 2011).

1.3.2. *Capsicum baccatum* L, esta especie es oriunda de América del Sur, agrupa tanto a variedades cultivadas como silvestres. En el Perú, es una de las más cultivadas y se distingue por tener flores de color blanco o crema, donde la corola tiene usualmente un color verdoso o dorado, característica que las diferencia a las otras especies. La variedad más representativa de esta especie, es el ají amarillo o también conocida como “escabeche” (aj mirasol en estado seco), que en la actualidad está siendo exportado a diversos mercados internacionales. Otras variedades importantes de esta especie son el ají limón, el ají serranito, el ají verde y otras (Sociedad Peruana de Gastronomía *et al.* 2009; García 2011).

1.3.3. *Capsicum chinense*, sus variedades más conocidas son el ají habanero, el ají panca y el ají limo; los dos últimos son variedades nativas, empleadas en la elaboración de platos tpicos de la gastronomía Peruana. El color de los frutos es muy variable, distinguiéndose el rojo, naranja, amarillo y café. Otras variedades con gran potencial comercial pertenecientes a esta especie se cultivan en baja escala en el Perú, como el ají dulce y el mochero (Sociedad Peruana de Gastronomía *et al.* 2009; García 2011).

- **Ají Dulce Pepon:** Es una variedad que se caracteriza por ser poco picante, globoso, de color verde cuando esta inmaduro, y color rojo, morado o amarillo cuando madura. La planta de esta variedad es la más susceptible al ataque de parásitos como el trips y ácaros.

- **Ají Dulce Llanerón:** Es una variedad cultivada en Venezuela, sus frutos son alargados, de color naranja o rojo al madurar, su sabor es intenso, pudiendo ser algo picante. Sin embargo, ocasionalmente el ají de esta variedad presenta una excesiva pungencia, por lo que es rechazada por el consumidor.
- **Ají Dulce Oriental:** Se cultiva en la zona oriental de Venezuela, especialmente en los estados Sucre, Anzoátegui y Monagas. En la actualidad su cultivo se ha ampliado hasta la zona central de Venezuela. El fruto muy agradable, de sabor intenso, poco picante, de forma globosa y cuando se encuentra maduro presenta un color rojo intenso.
- **Ají Dulce Rosita:** El fruto de esta variedad presenta características similares al ají dulce oriental, de forma globoso y filos en el ápice del fruto, esto le da el aspecto de una flor de rosa. Cuando el fruto alcanza la madurez fisiológica, presenta un color rojo intenso. Un sabor picante en esta variedad de ají es con frecuencia motivo de rechazado por los consumidores, que las prefieren no picantes.

1.3.4. *Capsicum frutescens* L. Esta especie agrupa a las variedades más picantes de ají. No se ha podido confirmar su origen, pero se conoce que es cultivado desde hace mucho tiempo en Centro y Sur de América. En el Perú se han hallado restos arqueológicos de esta especie que datan desde el año 1200 a.c. La variedad más representativa es el ají charapita, su producción y comercialización.

1.3.5. *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. La variedad representativa de esta especie es el rocoto, el cual es utilizado en una gran diversidad de platos tipos en la gastronomía de Peruana, como por ejemplo, para preparar el rocoto relleno, plato típico bastante consumido en varias regiones del Perú, especialmente en las regiones altiplánicas donde este ají es cultivada ampliamente. El fruto maduro presenta un color rojo, naranja o amarillo, se comercializa a nivel local generalmente *in natura*, en pasta o en polvo. En los países de Perú y Bolivia existe una gran diversidad de rocotos, por lo que se deduce que estas zonas podrían ser el centro de origen.

1.4. Clasificación Taxonómica

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica de ají dulce (*C. chinense*)

Reino:	Vegetal
Tipo:	Fanerógama
División:	Spermatophyta
Clase:	Dicotiledónea
Subclase:	Simpétala o Gamopétala
Orden:	Solanales o Tubiflorales
Familia:	Solanaceae
Género:	Capsicum
Espécie:	<i>C. chinense</i> jacq

Fuente: Pardey, (2008).

1.5. Producción

La mayor parte de la producción de ajíes nativos es destinada para el autoconsumo, pero cuando existe un excedente en la producción, esta se destina a la comercialización en los centros de abasto locales y regionales. A nivel nacional los agentes comerciales son los mayoristas, estos se encargan de distribuir el ají a los comerciantes minoristas de las diferentes regiones del Perú, los cuales comercializan el ají en bodegas y supermercados. La estacionalidad de la producción del ají es un factor importante que influye en la variabilidad de los precios. La estacionalidad del cultivo, también constituye uno de los principales limitantes para que la producción del ají amplíe su efecto en la economía los productores rurales de ajíes nativos (Arias, López y Saavedra, 2011). En los últimos años, la exportación de productos no picantes emparentados con el ají ha tenido un importante crecimiento, como es el caso de los pimientos y las páprikas, el mercado de destino incluyen principalmente los Estados Unidos de América, España, Holanda, Alemania y Francia. Además, el boom de la gastronomía peruana a nivel internacional ha ayudado, en primera parte al crecimiento de los volúmenes de exportación de los ajíes tradicionales utilizados en nuestra cocina tradicional, en segundo lugar, también ha promovido el desarrollo de la agroindustria asociada: esto ha implicado el desarrollo de diferentes

productos derivados de los ajíes, entre los cuales se destacan las pastas, cremas, salsas, encurtidos, entre otros, estos son comercializados en los diferentes supermercados, en diferentes presentaciones. La variedad de salsas que más se exportan del Perú, se encuentran las de ají panca, ají amarillo, rocoto y culantro, así como la huancaína y la ocopa. Un aspecto negativo que acompaña a la tecnología de producción y procesamiento de ajíes en el Perú, es el deficiente estudio sobre su diversidad, producción, procesamiento y sus aplicaciones. Por otra parte, los ajíes no han recibido la promoción e inversión apropiada que permita mejorar la producción. La gastronomía Peruana desarrollada por los restaurantes y hogares en el extranjero, depende completamente de la disponibilidad de nuestros ajíes en los mercados internacionales, este mercado está en crecimiento lo que representa una gran oportunidad para ampliar las exportaciones de ajíes frescos o procesados. La gran diversidad de ajíes que el Perú tiene es un gran potencial, debido a las características particulares de cada variedad que permite un sin número de aplicaciones en la cocina, comenzando por el rocoto y el ají amarillo, que no cuentan con una denominación de origen. (Chicoma José Luis, 2009).

Los ajíes y pimientos oriundos del Perú, presentan una demanda en constante crecimiento por diferentes mercados en el mundo. La Asociación de Exportadores (ADEX) estimó que las exportaciones de capsicum sumarán US\$ 286 millones en el 2016. El presidente de ADEX en ese año, afirmó que tanto los ajíes como los pimientos producidos en el Perú tienen una buena valoración en diferentes mercados a nivel internacional, esto puede ser observado con las cifras obtenidas en el período 2011-2015, donde se puede observar que las exportaciones creció un 14% en lo referente a su valor en dólares y de 62% en kilos.

Cuadro 2. Evaluación de las exportaciones peruanas de *Capsicum* 2011- 2015

Clasificación	2011	2012	2013	2014	2015	Var. 15/14	Part. 2015
Conservas	139,623	125,037	123,679	132,591	156,839	18%	58%
Secos	96,956	121,667	92,863	90,603	99,393	10%	37%
Congelados	2,113	2,718	3,046	3,836	14,929	289%	5%
Frescos	602	531	729	809	696	-14%	0%
TOTAL	239,293	249,950	220,318	227,838	271,856	19%	100%

Fuente: Gómez (2016).

Según Eduardo Amarrortu, los ajíes y pimientos se encuentran en proceso de consolidación tanto en mercados nacionales como en mercados internacionales, debido a su gran diversidad de aplicaciones en la gastronomía. Los principales mercados consumidores de ajíes y pimientos peruanos son los Estados Unidos de América, España y México. El valor de las exportaciones de *Capsicum* procesado en conserva ascendió a los US\$ 9 millones el mes de enero del 2011. Otra presentación con gran demanda son los *Capsicum* deshidratados, el valor de las exportaciones de este producto ascendió los US\$ 8 millones en el mismo periodo, mientras que, el ají *in natura* aún no tiene una representación considerable en las exportaciones que probablemente va aumentar debido a la apertura del mercado de los Estados Unidos desde setiembre del 2011. (Saavedra, 2011)

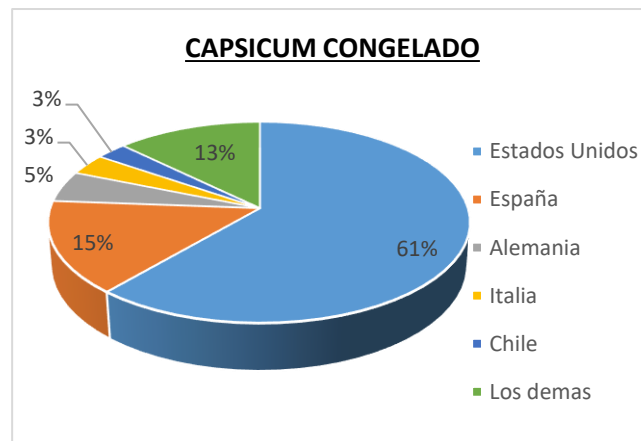


Figura 2. Principales mercados de *Capsicum* congelados

Fuente: Arias, (2011).

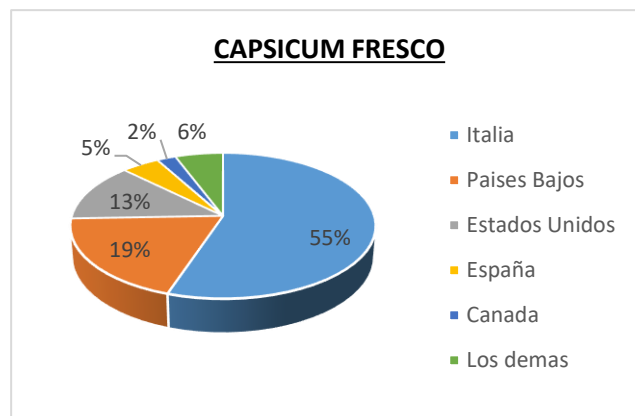


Figura 3. Principales mercados de *Capsicum* fresco

Fuente: López, (2011).

Los países de Perú y Bolivia, son reconocidos por ser el centro de origen de varias especies de *Capsicum* cultivadas en todo el mundo. Existen más de treinta especies de ajíes, entre nativos, comerciales no nativos y pimientos pertenecientes a este género, las cuales muestran una amplia gama de colores, formas, aromas, sabores y grados de pungencia (Eshbaugh, 1983) (Thampi, 2003) (Moscone, 2007). A pesar de la gran variedad de especies de ajíes que fueron identificadas, apenas cinco fueron domesticadas, de las cuales se destaca la especie *C. annuum*, cultivada y comercializada a nivel nacional e internacional.

La FAO, estimó que el Perú en 2010, consiguió producir aproximadamente 11600 toneladas de ají fresco y cerca de 135 761 toneladas de ají deshidratado, llegando a ubicarse en el tercer puesto del ranking mundial (FAOSTAT 2012). Los ajíes producidos en sistemas de agricultura familiar, son influenciadas por las condiciones climáticas de cada región de producción; que se caracterizan por una producción individual a baja escala, utilizando paquetes tecnológicos empíricos, que repercuten en el rendimiento de la producción de forma negativa.

1.6. Composición Química

Según Hernández *et al.* (2009), la sensación pungente que aportan los ajíes es debido a la presencia de por lo menos de 16 alcaloides, que son conocidos con el nombre de capsaicinoides. De éstos, la capsaicina es la que se encuentra en mayor concentración, que puede llegar a alcanzar un 85% del total de los capsaicinoides del fruto, esto dependerá de la variedad del ají. Estos alcaloides son encontrados en una mayor concentración en la parte interna del fruto (placenta, que es la estructura que contiene a las semillas). Villachica (1996) indica que la pungencia es muy variable, fluctuando entre 56 000 y 250 000 Unidades Scoville (U.S), llegando en algunas variedades a 380 000 U.S de pungencia. Para el caso de ajíes deshidratados se considera aceptable un valor de 10 000 U.S de pungencia para consumirlo puro, por otro lado, en alimentos compuestos de varios ingredientes la pungencia puede estar alrededor de 5 000 U.S de pungencia. La composición química promedio de los ajíes, según Villachica (1996), se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición de 100g de diferentes variedades de ajíes.

Componente	Valor / unidad
Agua	85,00 a 89,0 g
Valor energético	40,0 a 60,0 cal
Proteína	0,9 a 2,5 g
Grasa	0,7 a 0,8 g
Carbohidratos	8,8 a 12,4 g
Fibra	2,4 a 2,9 g
Calcio (mg)	21,0 a 31,0 mg
Fósforo	21,0 a 58,0 mg
Fierro	0,9 a 1,3 mg
Caroteno	0,9 a 1,3 mg
Riboflavina	0,11 a 0,58 mg
Niacina	1,25 a 1,47 mg
Ácido ascórbico	48,0 a 60,0 mg

Fuente: Villachica (1996).

1.7. Uso y potencial comercial

Los ajíes y pimientos tienen un sin número de posibles aplicaciones culinarias, ya sean en estado fresco o procesados. Los derivados de los ajíes y pimientos, incluyen productos congelados, secos, encurtidos, enlatados, pastas y salsas (Gonzales y Orellana, 2003). Según Restrepo *et al.*, (2007), entre las oleorresinas más empleadas en la industria alimentaria, están las del género *Capsicum*, debido a sus principios pigmentantes (colorante para queso, salchicha, mortadelas, salsa, entre otros) y pungentes (para brindar sabor y aroma). También es usado en la industria farmacéutica, donde es requerido como estimulante.

1.8. Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica es un proceso que implica la eliminación del agua de remojo en alimentos, principalmente frutas y verduras, en una solución hipertónica como el jarabe de azúcar concentrado. Dos importantes flujos en contracorriente simultánea se producen durante la deshidratación osmótica, y el flujo de agua importante de la comida

en la solución y una transferencia simultánea de soluto de la solución en la comida (Madamba 2003).

La DO es empleada como un pre-tratamiento en diversos procesos utilizados para mejorar las características sensoriales, nutricionales y funcionales de los alimentos, sin modificar (Torreggiani 1993). Las propiedades físicas y químicas del agente osmótico, como el peso molecular, el estado iónico y la solubilidad, puede influenciar en la eficiencia de la deshidratación osmótica (Rahman & Perera, 2007). La elección del soluto apropiado para la DO puede ser de acuerdo a los siguientes factores: (i) el efecto del agente osmótico sobre las características sensoriales y físico-químicas de alimento, (ii) incremento de los costos de producción, y (iii) el peso molecular del agente osmótico. Entre los agentes osmóticos usados con frecuencia está el cloruro de sodio, sacarosa, glucosa y jarabe de maíz” (Bekele & Ramaswamy, 2010).

Se ha comprobado que la velocidad de penetración de agentes osmóticos es directamente proporcional a la concentración de la solución osmótica, e inversamente proporcional al tamaño del soluto empleado (Panagiotou *et al.*, 1999; Giraldo *et al.*, 2003). Lenart & Flink (1984) observaron que una mezcla de sacarosa-cloruro de sodio como agente osmótico produce un disminución acelerada de la humedad del alimento, aunque la tasa de transferencia de agua sea similar, en comparación al efecto producido por la sacarosa pura. La utilización de soluciones osmóticas ternarias fue reportada por Singh *et al.* (2007), Alves *et al.* (2005) y Sacchetti *et al.* (2001), estos investigadores encontraron que los agentes osmóticos contribuyen en la disminución de la humedad del alimento osmodeshidratado.

La deshidratación osmótica elimina parte del agua de las frutas o verduras sumergidas en una solución hipertónica. Una fuerza impulsora para la eliminación de agua se establece a causa de una diferencia de presión osmótica entre el alimento y su solución circundante. La estructura celular compleja de los alimentos actúa como una semipermeable membrana. Durante el procesamiento osmótico, el agua fluye desde el producto en la solución osmótica, mientras que el soluto osmótico se transfiere desde la solución en el producto. La velocidad de difusión de agua de cualquier material compuesto de tal tejido depende de factores tales como la temperatura y concentración de la solución osmótica,

el tamaño y la geometría del material, relación de masa-solución a las frutas y nivel de agitación de la solución (Corzo y Gómez, 2004).

La deshidratación osmótica (DO) es una tecnología que elimina una parte del agua presente en las frutas y verduras, usando membranas semipermeables para la transferencia de la humedad en el material a una solución con una alta presión osmótica (azúcar o sal) a una cierta temperatura (Nawirska *et al* 2009, Sutar y Prasad 2011; Sutar *et al.* 2012). Mejora de la calidad es siempre un objetivo importante en los estudios de alimentos. Con el fin de acelerar la velocidad y la calidad de OD, muchos estudios han sido llevados a cabo usando vacío microondas de deshidratación osmótica (MVOD). El uso de vacío de microondas conduce a la humedad de extracción a temperaturas más bajas debido a la disminuida presión en la cavidad de microondas. Esta condición lleva a características de mejor calidad, como el color, la densidad, capacidad de rehidratación, la textura y parámetros nutricionales, así como a una mayor aceptación del producto final con respecto a la apariencia y el sabor (Changrue *et al* y Cui *et al.* 2008).

En las últimas décadas, la investigación sobre nuevas tecnologías a obtener frutos semi-procesados se ha promovido en todo el mundo, con el objetivo de reducir los costes industriales, reducir las pérdidas y satisfacer la demanda de los consumidores de frutas procesadas con características sensoriales similares al producto fresco. Por lo tanto, de acuerdo con este propósito, un número significativo de trabajos han sido publicados en el proceso de deshidratación osmótica (DO) (Dhingra *et al.*, 2008). El proceso de deshidratación osmótica se puede utilizar para evitar las pérdidas de componentes volátiles, para inhibir la polifenoloxidasas y mejorar la última, solubles en contenido de sólidos de la alimentación, como tratamiento previo a aire caliente secado (Lombard *et al.*, 2008), la congelación (Ramallo & Mascheroni, 2010).

La deshidratación osmótica consiste en la inmersión de un alimento sólido (enteros, pelados o en trozos) en una solución hipertónica por un cierto período de tiempo, haciendo que la eliminación parcial de contenido de agua con el aumento de sólidos sean simultáneos, porque del efecto de la presión osmótica para obtener productos con un contenido de humedad relativamente intermedia (20-50%), es clasificado como alimentos de humedad intermedia (Raoult-Wack *et al.*, 1991).

1.8.1. Pérdida de agua en la deshidratación osmótica:

- a) Una etapa que dura aproximadamente dos horas (dependiendo del tipo de alimento), donde existe una remoción de agua a una velocidad alta.
- b) Una etapa de dos a seis horas (dependiendo del tipo de alimento), con una remoción de agua en decrecimiento.

1.8.2. Las frutas pueden contener agua de tres tipos:

- a) Agua ligada presente en las células, y que forma soluciones con sustancias orgánicas.
- b) Agua con enlace coloidal presente en las membranas, más difícil de remover durante el proceso de secado o deshidratado.
- c) Agua de constitución o agua no ligada, que está directamente conectada con los componentes moleculares, y que también es difícil su remoción.

La temperatura y concentración de las soluciones osmóticas afectan la velocidad de pérdida de agua del producto. Al comparar el secado por aire seco, la deshidratación osmótica es más rápida, pues la eliminación del agua ocurre sin un cambio de fase. La deshidratación osmótica modifica la composición del producto y mejora sus propiedades sensoriales y nutricionales por unidad de masa. Además, disminuye la presencia de microorganismos y hongos, al mismo tiempo que protege la pigmentación de los vegetales. Aumentar el contenido de sólidos dentro de los alimentos no es un proceso de conservación, sino una etapa de tratamiento previo para operaciones de conservación y almacenaje. Si se somete un producto a deshidratación osmótica previo al secado, se puede aumentar la capacidad de los secadores y el rendimiento en la etapa final. Esto reduce la energía, y mejorará los productos naturales. La DO puede considerarse un método de conservación, que puede combinarse a otros métodos con la finalidad generar efectos de barrera más eficientes para reducir el crecimiento microbiano.

Si el beneficio de un pH bajo es combinado con otro método que disminuya la actividad de agua, se genera un efecto antimicrobiano bastante eficaz. Debe tomarse en cuenta que,

si se agrega un acidificante, éste debe añadirse de tal forma que no se vea modificado el sabor del alimento. El ácido cítrico es considerado como un acidificante natural; provee la acidez uniforme. Si el pH está por debajo de 4,6, se convierte en un inhibidor microbiano. En las frutas y verduras procesadas ayuda a optimizar el sabor, y funciona como un antioxidante para inhibir el deterioro del color y sabor debido a las reacciones enzimáticas. Además, inactiva las enzimas no deseadas, pues éstas generalmente dependen del pH.

1.8.3. Mecanismos de transferencia de masa en la deshidratación osmótica

Los mecanismos del flujo de masa en la matriz del alimento, se pueden realizar por tres vías diferentes:

- a. El transporte apoplástico (AP), se realiza en la parte externa de la membrana celular, y se observa como una difusión de moléculas en la membrana celular y en los espacios entre las células.
- b. El transporte simplástico (SP) se realiza en el interior del plasmalema, caracterizado por el flujo de moléculas entre las células por medio de microconductos celulares (Plasmodesmos).
- c. El transporte a través de la membrana, que tiene lugar a través del mecanismo osmótico, es un intercambio entre el protoplasma y el espacio libre, que comprende el espacio intercelular y la pared celular (Maguer, 1998).

La estructura de las células parenquimáticas consta de espacios intracelulares, que a la vez está constituido por vacuolas y el citoplasma. El espacio extracelular de las células vegetales se encuentra constituido por la pared celular y los espacios intercelulares, separados por la membrana plasmática que se encuentra entre los espacios celulares.

Según Fito (1994), los mecanismos que actúan en la DO se pueden clasificar en dos grupos:

- ❖ Los mecanismos que dependen de la gradiente de concentración de los solutos (pseudodifusionales), e incluyen los mecanismos osmóticos y fickiano.

- ❖ El Mecanismo Hidrodinámico (HDM), depende de la gradiente de presión y/o temperatura, los efectos capilares y la estructura del alimento a deshidratar.

1.8.4. Soluciones osmóticas

Las soluciones osmóticas o hipertónicas más usadas, son preparadas con los siguientes insumos; Cloruro sódico (NaCl_2), Sacarosa, Lactosa, Glicerol, Combinación, Glucosa y fructosa. A continuación se detallan, en el Cuadro 4, los usos y ventajas de los agentes osmóticos antes mencionados:

Cuadro 4. Usos y ventajas de algunos agentes osmóticos.

Nombre	Usos	Ventajas
Cloruro sódico	Carnes, pescado y hortalizas. Soluciones superiores al 10%	Alta capacidad de depresión de la actividad de agua (a_w)
Sacarosa	Frutas principalmente	Reduce pardeamientos y aumenta la retención de volátiles
Lactosa	Frutas principalmente	Sustitución parcial de sacarosa
Glicerol	Frutas y hortalizas	Mejora la textura
Combinación	Frutas, hortalizas y carnes	Características sensoriales ajustes, combina la alta depresión de a_w de las sales con la alta capacidad de eliminación de agua del azúcar
Glucosa y fructosa	Frutas y hortalizas	Pueden sustituir a la sacarosa por tener un efecto similar de deshidratación

Fuente: Jara, (2011).

1.8.5. Variables de la deshidratación osmótica

Las variables que afectan el proceso de deshidratación osmótica se pueden resumir a continuación:

a. La naturaleza del producto a ser tratado

La cantidad de sólidos solubles presentes en el alimento, así como la cantidad y la distribución de los espacios intercelulares del tejido, afectarán de manera

importante, a los procesos de intercambio de materia en la deshidratación (Jara 2011).

b. Geometría del producto

En general, geometrías que ofrecen mayor área de contacto benefician la transferencia de masa. Igualmente, se tienen pérdidas de masa 1, 3 veces mayores, cuando el grosor de las rodajas pasa de 10 a 5 mm. En el proceso de reducción de tamaños, se deben tomar en cuenta otros factores como: La facilidad de operación, costo y características físicas del producto final (Jara 2011).

c. Temperatura del Proceso

El incremento de la temperatura de proceso cataliza el aumento de la tasa de transferencia de masas, tanto para la pérdida de agua como para la ganancia de sólidos. El efecto negativo de aplicar temperatura para acelerar el proceso, va provocar importantes cambios en su estructura, textura y funcionalidad.

d. Razón fruta/solución:

La utilización de una alta razón fruta/solución favorece la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en la fruta. Las razones fruta/soluciones mayormente empleadas son de 1:3 y 1:5 (Jara 2011).

e. Concentración de la solución osmótica

Barat (1998) señala que la concentración de la solución osmótica, afecta en el sentido de definir la fuerza impulsora en cuanto a la transferencia de materia se refiere, así como a la viscosidad de la solución, y de la fase líquida del alimento que va aumentando su viscosidad a medida que se concentra, hasta alcanzar la de la solución osmótica en equilibrio. Concentraciones muy elevadas de la solución osmótica, pueden provocar el fenómeno conocido como encostramiento. Este fenómeno consiste en la formación de una capa superficial en el alimento, con una elevada concentración que supone una barrera en la transferencia de materia entre el producto y la solución osmótica.

f. La naturaleza del agente osmótico:

La elección del soluto de la solución osmótica se basa en los siguientes:

- Características sensoriales del producto: deben ser comestibles, con un sabor aceptable (Jara 2011).
- La masa molecular: el tamaño de la molécula del soluto en cuestión va a suponer una mayor o menor facilidad para atravesar la red tridimensional, conformada por los diferentes constituyentes que integran la estructura del alimento. En algunos casos, puede interesar el uso de solutos de elevado peso molecular, especialmente cuando se pretende evitar que haya migración del soluto hacia el interior del producto (Barbosa & Vega 2000; Casp & abril 2003).
- Es deseable que tenga alta solubilidad y baja viscosidad, además de que sea bajo el costo del soluto y que haya disponibilidad en el mercado (Barbosa & Vega 2000; Casp & Abril 2003).

g. Presión de trabajo:

Este parámetro hace referencia a los procesos que se desarrollan a presión atmosférica y al vacío (Barbosa & Vega 2000) citados por (Jara 2011). En el proceso de deshidratación osmótica intervienen variables medibles que permiten caracterizarla, las variables frecuentemente medidas son: pérdida de peso, ganancia de sólidos, pérdida de agua, tiempo de deshidratación, actividad de agua, entre otros. La disminución del agua en la matriz del alimento producirá paulatinamente un encogimiento del producto en deshidratación.

Cuando la velocidad de encogimiento es lenta, el alimento ganara una mayor cantidad de sólidos, lo que en teoría es deseable. Por otro lado, si el encogimiento es rápido, la DO será más eficiente, pero podría alterarse algunas propiedades nutricionales y sensoriales (Campos & Flores, 2012). Para el análisis de la deshidratación osmótica, se calcula la pérdida de peso y la ganancia de sólidos. La pérdida de agua se determina gravimétricamente, y se realiza un balance de masa para verificar la concordancia de las determinaciones. Los parámetros a evaluar se expresan de la siguiente forma:

PP: reducción o pérdida de peso [g.100 g⁻¹ MF]

PA: pérdida de agua [g agua.100 g⁻¹ MF]

GS: ganancia de sólidos [g sólidos.100 g⁻¹ MF]

Donde:

MF: muestra fresca inicial

La determinación de la pérdida de peso (PP), ganancia de sólidos (GS) y pérdida de agua (PA), se efectuó a través de la evaluación de las relaciones (1), (2), (3) y (4).

$$PP\% = \frac{W_i - W_t}{W_i} * 100 \quad (1)$$

$$GS\% = \frac{SS_i - SS_t}{SS_i} * 100 \quad (2)$$

$$PA\% = SG\% + WR\% \quad (3)$$

$$PA\% = \frac{M_i - M_t}{W_i} * 100 \quad (4)$$

Donde:

W_i = peso de la muestra inicial en gramos

W_t = peso de la muestra al tiempo t en gramos

SS_i = sólidos solubles iniciales (°Brix) expresados en gr. sólidos.100g⁻¹ MF

SS_t = sólidos solubles al tiempo t (°Brix_t) expresados en gr. sólidos.100g⁻¹MF.

M_i = humedad inicial expresada en gr H₂O.100 gr⁻¹MF

M_t = humedad al tiempo t expresada en gr H₂O.100 gr⁻¹MF

1.9. Optimización de procesos por método de superficie respuesta (MSR)

RSM es una colección de técnicas estadísticas para el diseño de experimentos, la construcción de modelos, la evaluación de los efectos de los factores y la búsqueda de las condiciones óptimas. Es ampliamente utilizado para estudios de optimización multivariable en varios procesos biotecnológicos, como la optimización de los medios de comunicación, proceso de condiciones, las condiciones de reacción catalizada, la oxidación, la producción, la fermentación, biosorción de metales, etc. (BEG *et al* 2002;.

Kristo & otros, 2003; Lai *et al.*, 2003; Soo *et al.*, 2004; Wang & Lu, 2005; Chang *et al.*, 2006).

En RSM, varios factores son simultáneamente variados. El enfoque multivariado reduce el número de experimentos, mejora las posibilidades de interpretación estadística, y evalúa la importancia relativa de varios factores que afectan incluso en la presencia de interacciones complejas. Se emplea para el análisis de regresión múltiple, usando datos cuantitativos obtenidos a partir de experimentos diseñados adecuadamente para resolver ecuaciones de varias variables simultáneamente. Hay varios trabajos que se han llevado a cabo en la optimización de verduras por el método de RSM (Corzo & Gómez 2004; Uddin *et al.*, 2004; Eren & Ertekin 2007; Souza *et al.*, 2007; Singh *et al.* 2007, 2008).

La MSR, es utilizada en el tratamiento de problemas de optimización de procesos, desarrollo de procesos y productos. La MSR es empleada ampliamente en investigaciones a nivel industrial, para el desarrollo de nuevas formulaciones, evaluar el efecto de variables de proceso, optimización de operaciones (Box *et al.*, 2005). Existe una gran diversidad de investigaciones que han empleado la MSR obteniendo resultados en la optimización de procesos. Corzo & Gómez (2004) evaluaron la deshidratación osmótica de melón y optimizaron el proceso por la MSR. Los investigadores Souza *et al.*, (2007), realizaron la optimización de la DO, seguido de una técnica de secado por aire caliente, consiguiendo disminuir el tiempo de deshidratado de tomates. Fernández *et al.*, (2006), determinaron las mejores condiciones para el secado de bananas. Singh *et al.*, (2010), estudiaron la optimización de la DO de rodajas de zanahorias en soluciones ternarias. Eren & Kaymak- Ertekin (2007), investigaron la deshidratación de papas en soluciones compuestas de sacarosa y cloruro de sodio.

Diseños estadísticos son herramientas poderosas que pueden ser utilizadas para dar cuenta de la principal, así como las influencias interactivas de diferentes parámetros de proceso en la deshidratación osmótica. Entre ellos, la metodología de superficie de respuesta (RSM) es una colección de ciertas técnicas estadísticas para el diseño de experimentos, la construcción de modelos, la evaluación de los efectos de los factores y la búsqueda de condiciones óptimas para respuestas deseables (Myers & Montgomery 2002).

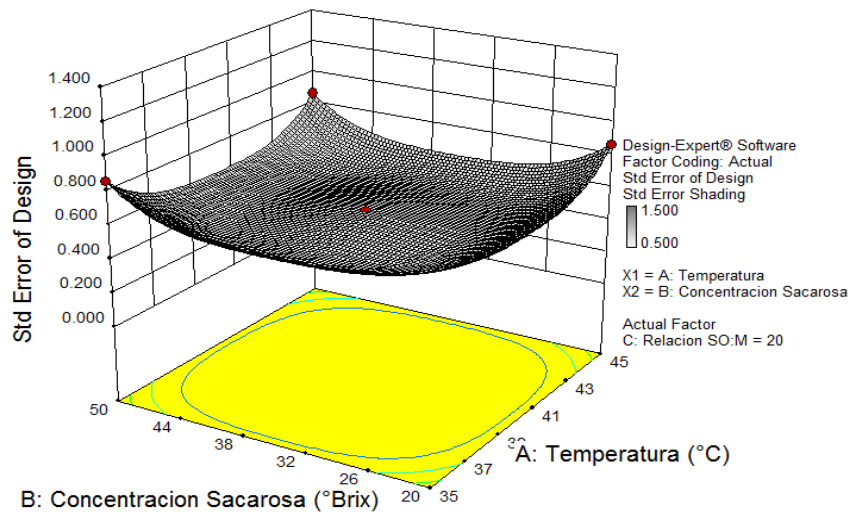


Figura 4. Metodología de superficie de respuesta
Fuente: Myers y Montgomery (2002)

1.9.1. El diseño de Box-Behnken

Los investigadores Box y Behnken han propuesto varios diseños experimentales de tres niveles para ajustar variables respuesta. El diseño Box-Behnken está constituido por una combinación de factoriales 2^k con diseños de bloques incompletos. El diseño experimental Box-Behnken es muy eficiente ya que emplea un número pequeño de ensayos experimentales, son rotables o casi rotables (Montgomery, 2002). En la Figura 5, se puede observar un diseño experimental Box-Behnken, para 3 variables, ilustrado geoméricamente. El diseño de Box-Behnken, es esférico, con los puntos experimentales localizados en la periferie de una esfera de radio $\sqrt{2}$. Así mismo, este diseño no contiene puntos en los vértices de la región cúbica creada por los límites superior e inferior de cada variable. Esto último es algo ventajoso ya que los ensayos experimentales ubicados en esta región del diseño son por lo general costosos y difíciles de realizar.

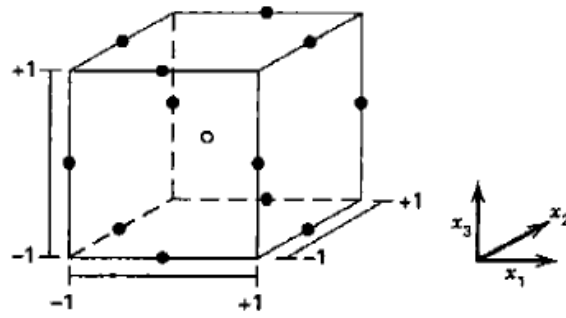


Figura 5. Diseño de Box- Behnken para 3 factores
Fuente: Myers y Montgomery (2002)

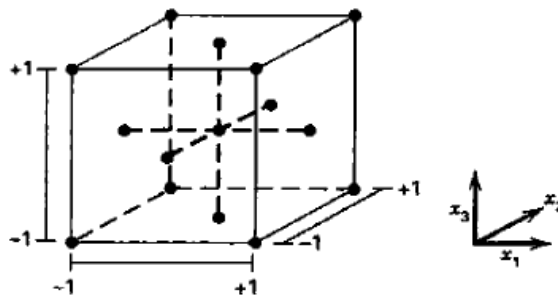


Figura 6. Diseño c.c. con centros en las caras para $k=3$
Fuente: Myers y Montgomery (2002)

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Lugar de ejecución

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de la Planta Piloto de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial, así como también en el Laboratorio de Química y Laboratorio de procesos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

2.2 Materiales

2.2.1 Materia Prima

En el presente estudio se utilizó como materia prima el ají dulce amazónico de color rojo (*C. chinense*), procedente de la Comunidad Nativa de Infierno de la provincia Tambopata, distrito Tambopata, de la Región Madre de Dios.

2.2.2 Reactivos

- ❖ Sacarosa Q.P.
- ❖ Agua bidestilada

2.2.3 Equipos de Laboratorio

- ❖ Ordenador
- ❖ Incubadora, marca MEMMERT, modelo INB-400, T°: 0-70°C
- ❖ Estufa, marca TOMOS, modelo ODHG-9053^a. T°: 0-200°C. precisión $\pm 1^\circ\text{C}$
- ❖ Balanza analítica, marca AND, OHAUS ADVENTURER, modelo AR 2140, rango: 0-210 gr., precisión $\pm 0.00001\text{gr.}$
- ❖ Agitador hidroneumático

2.2.4 Materiales de laboratorio

- ❖ Frascos de vidrio 1lt c/tapa
- ❖ Placas Petri, marca KIMBLE USA
- ❖ Beacker, marca BOECO
- ❖ Probeta 100±1 y 500±1 ml., marca: GIARDINO Italy.
- ❖ Pinzas de metal
- ❖ Micro espátulas
- ❖ Espátulas de acero inoxidable
- ❖ Cámara digital
- ❖ Guantes quirúrgicos.
- ❖ Mandil.
- ❖ Papel absorbente
- ❖ Papel para lente
- ❖ Bisturí
- ❖ Vernier
- ❖ Mandil
- ❖ Campanas desecadoras de vidrio de 5 lt
- ❖ Mascarillas.
- ❖ Lentes de seguridad, marca KAMASA.
- ❖ Cinta aislante, marca 3M.
- ❖ Bandejas, láminas o recipientes de aluminio.
- ❖ Cuchillos y tablas de picar.
- ❖ Tinas de 20 lt



Figura 7. Refractómetro Digital
Fuente: Elaboración Propia (2017).



Figura 8. Campana desecadora
Fuente: Elaboración Propia (2017).



Figura 9. Balanza Analítica
Fuente: Elaboración Propia (2017).



Figura 10. Estufa Ecocell
Fuente: Elaborado por el autor (2017)

2.3 Metodología

2.3.1 Características físico-químicas

La caracterización físico-química se realiza, en primera instancia, a la materia prima antes de efectuar el tratamiento con la SO, y está constituida por la determinación de humedad, sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) y acidez titulable. La determinación de la humedad y los sólidos solubles se realizarán periódicamente hasta que el sistema DO alcance el equilibrio, que coincide con una variación del peso \leq a 0,05%. Además, se realizarán balances de masa para verificar la concordancia con los resultados obtenidos.

Los parámetros evaluados se expresarán: en pérdida de agua (WL) [g. agua.100g⁻¹ MF], ganancia de sólidos (SG) [g.sólidos.100g⁻¹ MF], y serán determinados a partir de las ecuaciones 3 y 2, respetivamente. En el caso de la determinación, de la acidez titulable, se realizará al inicio y al final del proceso de DO. Las metodologías que se aplicarán para la determinación se describen a continuación:

- **Humedad:** Se determinó por el método de estufa, a presión atmosférica a 110 °C durante 24 horas (AOAC, 1990).
- **Vitamina C:** La acidez titulable se determinará por triplicado por el método de la AOAC (2000, 939.05.) La acidez se determinará con la muestra diluida 1:1 de pulpa de ají dulce y agua destilada. La determinación se realizará por titulación con una

solución valorada de hidróxido de sodio de 0,1 N, se transferirán 10 ml de la muestra al matraz erlenmeyer y se adicionará 4 gotas de solución de fenolftaleína. Posteriormente, se titulará hasta que se mantenga el vire al color rosa por 1 minuto. La acidez titulable es expresada como porcentaje de ácido cítrico, y es calculada por medio de:

$$\% \text{ acidez} = \frac{V_{NaOH} * N_{NaOH} * meq_{ácido} * X * 100}{V} \quad (5)$$

➤ **Sólidos solubles (°Brix):** El contenido de sólidos solubles (A.O.A.C., 2000), se realizará por triplicado. Se homogenizarán 5 g de pasta con 5 ml de agua bidestilada. Se colocaron 5 gotas en un refractómetro digital, calibrado previamente con agua bidestilada, obteniendo los °Brix en forma directa.

2.3.2 Análisis proximal de la muestra fresca

Para el análisis proximal de la muestra fresca de ají dulce amazónico, se utilizaron muestras homogéneas, clasificadas según su color (rojo). Se contrataron los servicios de un laboratorio especializado en el análisis de productos alimenticios, y las metodologías que se utilizarán son: % humedad NTP 206.011, % de proteína AOAC 935.39C, % lípidos NTP 206.017, % ceniza AOAC 935.39B, % fibra FAO 14/7, % de carbohidratos por diferencia.

2.3.3 Metodología para la preparación de la muestra

En la siguiente Figura se muestra el flujo de proceso para el proceso de acondicionamiento y preparación de la muestra.



Figura 11. Diagrama de operaciones para la preparación y acondicionamiento de la muestra

Fuente: Elaboración Propia (2017).

- a) **Recepción de la materia prima:** El fruto fresco de ají dulce será adquirido en los centros de abasto populares de la localidad de Puerto Maldonado, siendo trasladadas las muestras a las instalaciones del laboratorio de la planta piloto de Agroindustria, donde serán colocadas en tinas con capacidad de 20 litros.



Figura 12. Ají dulce

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

- b) **Selección y Clasificación:** la selección se realizó con la finalidad de separar ajíes que muestren signos de daños mecánicos, fermentación, daños por insectos, entre otros. La clasificación se realizará con el objetivo de homogeneizar las muestras para el proceso experimental, tomando en cuenta el color (rojo, verde y amarillo) y el tamaño.



Figura 13. Selección y Clasificación
Fuente: Elaboración propia (2017)



Figura 14. Pesado y medición
Fuente: Elaboración propia (2017).

c) **Lavado y Desinfectado:** Se realizó para retirar partículas de suciedad, que pudiesen presentar. El desinfectado se realizó con una solución de hipoclorito de sodio de 15 ppm. Esta operación tiene el objetivo de disminuir la carga microbiana presente en la superficie del ají dulce, que pudiese afectar el proceso de deshidratación osmótica.



Figura 15. Lavado y desinfección
Fuente: Elaboración propia (2017).

- d) **Drenado:** Terminado el tiempo de desinfección de las muestras de ají dulce, se colocarán en coladores para permitir el escurrido, con la finalidad de retirar la humedad presente en su superficie.
- e) **Pesado:** para dicha operación, se utilizará una balanza digital de precisión 0,01g, con la finalidad de registrar la cantidad de materia prima en buenas condiciones para el desarrollo de la fase experimental.

2.3.4 Acondicionamiento de la Muestra para Deshidratación Osmótica

Para el acondicionamiento de la muestra a deshidratar, se sigue el siguiente procedimiento, el cual se sintetiza en la siguiente Figura:

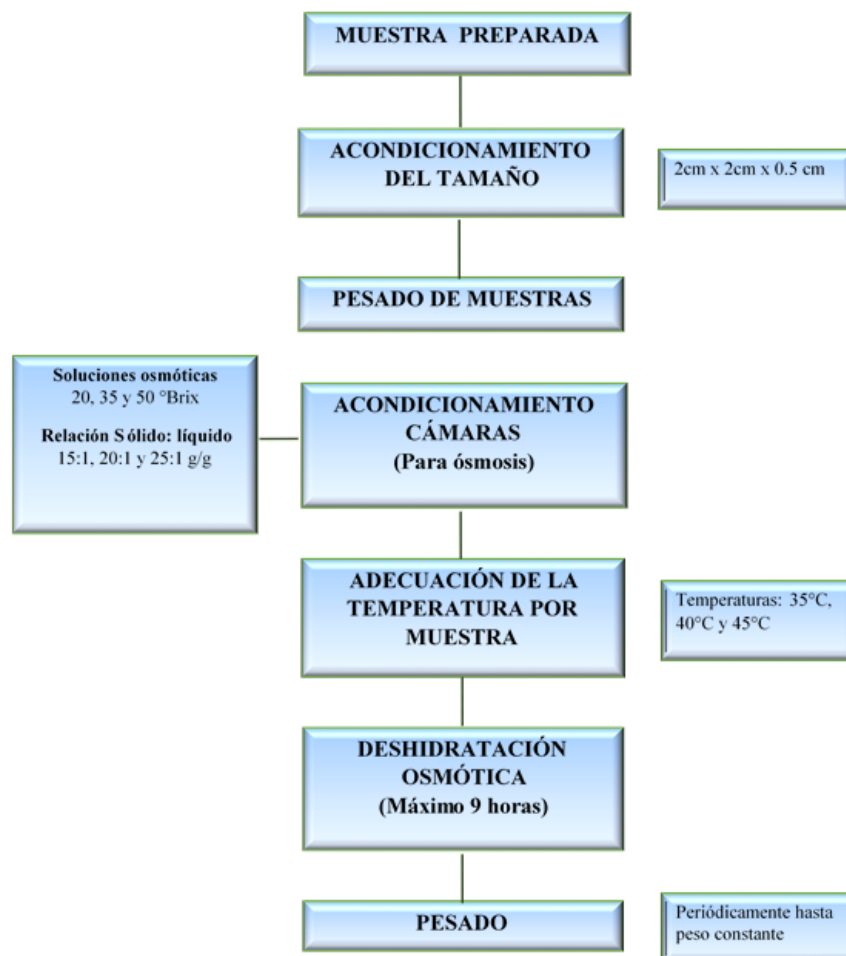


Figura 16. Diagrama de flujo para la determinación de la cinética de deshidratación osmótica

Fuente: Elaboración Propia, (2017).

Descripción del proceso experimental:

Acondicionamiento tamaño, la fruta de ají dulce se cortará en placas de 2 cm x 2 cm x 0,2 cm, con la ayuda de un bisturí y un vernier.

- a) **Pesado de muestras.** Las muestras, previamente preparadas y acondicionadas, son pesadas para determinar peso inicial (W_0) en gramos para cada tratamiento (frasco). El pesado se deberá realizar en una balanza analítica de precisión 0,001g



Figura 17. Cortes de la muestra
Fuente: Elaboración propia (2017).

- b) **Acondicionamiento de cámaras (frascos) para DO.** Se prepararán las soluciones osmóticas en las concentraciones de 20, 35 y 50 °Brix, utilizando como soluto sacarosa Q.P.; y, como solvente, se usará agua bidestilada, que se colocarán en los frascos en una proporción de SO:fruta, de 15:1, 20:1 y 25:1(g/g).



Figura 18. Pesado y acondicionamiento de la materia prima.
Fuente: Elaboración propia, (2017).

c) **Adecuación de la temperatura,** Una vez distribuidas las muestras en sus respectivas cámaras y en el número de repeticiones, se debe proceder a acondicionar la temperatura (35°C, 40°C y 45°C), que se conseguirá con la ayuda de una incubadora que cuenta con programador para graduar la temperatura, con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$.



Figura 19. Acondicionamiento de la temperatura.
Fuente: elaboración propia (2017).

d) **Deshidratación osmótica,** Dicho proceso se llevó a cabo en las condiciones antes mencionadas, hasta que el peso de las muestras sometidas a DO lleguen a un peso constante, para cada tratamiento experimental.



Figura 20. Deshidratación osmótica del ají dulce
Fuente: Elaboración Propia (2017).



Figura 21. Acondicionamiento de la temperatura
Fuente: Elaboración Propia (2017).

e) **Control del peso.** Se registró el peso (W_t) manualmente con la ayuda de una balanza analítica de precisión 0,0001 g. Este registro de pesos se realizó periódicamente hasta peso constante, o por lo menos hasta cuando la variación de peso sea de 0,05%. La evaluación de este parámetro permitió determinar la reducción o pérdida de peso (WR) [$\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ MF] utilizando la Ecuación 1.

Determinación de la pérdida de peso:

$$PP\% = \frac{W_i - W_t}{W_i} * 100 \quad (1)$$

Determinación de ganancia de sólidos y pérdida de agua:

$$GS\% = \frac{SS_i - SS_t}{SS_i} * 100 \quad (2)$$

$$PA\% = SG\% + WR\% \quad (3)$$

$$PA\% = \frac{M_i - M_t}{W_i} * 100 \quad (4)$$

2.3.5 Análisis por la metodología de superficie de respuestas

Las variables respuestas son analizadas previamente por el test de normalidad de Anderson-Darling. Para determinar, se sigue la distribución normal. En caso que no siga una distribución normal, serán transformadas para normalizarlas por la técnica de Box-Cox. Seguidamente fueron sometidos al análisis de variancia (ANOVA), para determinar diferencias significativas. Seguidamente fueron sometidas a análisis de

regresión lineal múltiple usando la metodología de superficie de respuestas. Los datos experimentales serán ajustados usando la Ecuación 5:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{1 < j}^k \beta_{ij} X_i X_j \quad (5)$$

Los análisis estadísticos se realizaron con la ayuda del Software Estadístico Design Expert. La calidad del ajuste entre los datos experimentales fueron determinada a través del coeficiente de correlación ajustado (R^2 adj) y el test de falta de ajuste ($P_{\text{lack of fit}}$).

2.3.6 Optimización del proceso de deshidratación osmótica

Se determinó la condición óptima para la deshidratación osmótica del ají dulce, para obtener la pérdida de agua y la máxima reducción de peso y ganancia de sólidos mínimo. Modelos polinomiales de tercer grado reducido, obtenidos en este estudio, se utilizaron para cada respuesta con el fin de determinar las condiciones óptimas especificadas.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización física del ají dulce entero fresco

Las muestras de ají requeridas por la investigación provinieron de la Comunidad Nativa de Infierno, Provincia de Tambopata, Región Madre de Dios.



Figura 22. Muestra de Ají dulce. Sección longitudinal
Fuente: Elaboración propia (2017).

La Caracterización física del ají dulce entero se presenta en el Cuadro mostrado a continuación.

Cuadro 5. Características físicas del ají dulce (*C. chinense*)

Característica física	Valores	Porcentaje
Largo	53,72 mm	
Diámetro menor	38,58 mm	
Diámetro mayor	44,33 mm	
Peso promedio	26,87 g	
Semilla	1,87 g	6,95%
Mesocarpio, endocarpio y epicarpio	25,00 g	93,05%
Color*	10R=6/8	

Fuente: Elaboración propia (2017)

*Elaborado a partir de la comparación con Tabla de Colores de Munsell

3.2. Caracterización proximal del ají dulce fresco y deshidratado osmóticamente

En el Cuadro 6, se observan los resultados de ají dulce fresco reportados en el Informe de Análisis desarrollado en el Laboratorio de la UNSAAC (2016). Coinciden con los reportados en la Tabla de los Alimentos Peruanos para ají dulce fresco (Instituto Nacional de Alimentación y Nutrición Instituto Nacional de Salud, 2009).

Cuadro 6. Análisis proximal del ají dulce fresco (*C. chinense*)

Análisis químico	Ají rojo	Métodos
Humedad (%)	86,4	NTP 206.011
Carbohidratos (%)	11,25	Diferencia
Grasa (%)	0,68	NTP 206.017
Proteínas (%)	0,96	AOAC 935.39C
Fibras (%)	1,44	FAO 14/7
Ceniza (%)	0,71	AOAC 935.398

Fuente: Reporte de Análisis Químico UNSAAC, (2016).

En el Cuadro 7, se puede apreciar que el ají dulce deshidratado (*C. chinense*), es un producto con bajo contenido de humedad (2,75%), con incremento en los valores de carbohidratos de 11,25% en la muestra fresca versus el 81,06% en la muestra deshidratada carbohidratos. Ello se debe a una reducción significativa del porcentaje de agua contenida en la muestra y en la ganancia de sólidos por cierta difusión del soluto de la disolución hacia el alimento durante el proceso de deshidratación osmótica tal como lo explican Zapata y Castro (1999) en el estudio de Deshidratación osmótica de frutos y vegetales. Por otro lado, Reyes *et.al.*, (2009), en estudios realizados para ají amarillo seco, reporta contenidos de humedad 16,6%. Elevados, en comparación con los resultados obtenidos en el presente estudio de investigación, para el resto de componentes. El mismo autor reporta resultados similares en: proteína 7,3%; grasa 6,3%; ceniza 5,0%; fibra 23,2%; carbohidratos 64,8%, respectivamente.

Cuadro 7. Análisis proximal del ají dulce - deshidratado

Análisis químico	Ají rojo	Métodos
Humedad (%)	2,75	NTP 206.011
Carbohidratos (%)	81,06	Diferencia
Grasa (%)	4,72	NTP 206.017
Proteínas (%)	6,46	AOAC 935.39C
Fibras (%)	10,77	FAO 14/7
Ceniza (%)	5,01	AOAC 935.398

Fuente: Reporte de Análisis de Laboratorio, UNSAAC, (2016).

3.3. Diseño experimental y análisis estadístico

Cuadro 8. Matriz de diseño con variables independientes codificadas y variables respuestas

Std	Rn	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
5	1	-1	0	-1	26,327	2,4612	13,787	40,114
2	2	1	-1	0	25,644	3,5021	10,009	35,653
1	3	-1	-1	0	43,125	2,5717	9,988	53,114
9	4	0	-1	-1	16,625	3,2653	11,989	28,613
10	5	0	1	-1	52,59	0,7741	18,252	70,842
6	6	1	0	-1	36,929	1,5167	16,583	53,512
12	7	0	1	1	52,204	1,3116	13,418	65,622
13	8	0	0	0	44,339	1,7049	12,589	56,928
11	9	0	-1	1	23,349	3,8217	8,162	31,511
8	10	1	0	1	33,022	1,1591	23,731	56,753
3	11	-1	1	0	65,409	0,7505	12,568	77,977
15	12	0	0	0	45,14	1,7332	12,82	58,136
4	13	1	1	0	43,143	0,8749	23,017	66,161
14	14	0	0	0	46,367	1,7191	13,317	59,684
7	15	-1	0	1	43,95	1,7036	14,093	58,042

X₁: Temperatura (°C), X₂: concentración Sacarosa (°Brix), X₃: Razón Solución osmótica/ají (g/g), Y₁: Pérdida de peso en g/100 g base húmeda (b.h.), Y₂: Humedad (g/g base seca), Y₃: Ganancia de sólidos (g/100 g b.h.), Y₄: Pérdida de agua (g/100 g b.h.)

Fuente: Elaboración Propia, (2017)

3.4. Valores obtenidos para la matriz de las variables independientes, respuestas y sus niveles

En el Cuadro 9, se presentan los valores obtenidos con el Diseño de Box-Behnken (Montgomery, 2002), para las variables, para evaluar los efectos de la combinación de tres variables: temperatura (35°C, 40°C y 45°C), las concentraciones de sacarosa de 20°Brix, 35°Brix y 45°Brix, y solución osmótica/Fruta de 15/1, 20/1 y 25/1 (g/g) del ají dulce, para la obtención de las variables respuesta: pérdida de peso, humedad final y ganancia de sólidos.

Cuadro 9. Matriz de las variables independientes

Factor	Nombre	Unidades	Valor de los Factores			D.E.
			Mínimo	Medio	Máximo	
X ₁ (A)	Temperatura	°C	35	40	45	3,77964
X ₂ (B)	Concentración Sacarosa	°Brix	20	35	50	11,3389
X ₃ (C)	SO:Fruta	g/g	15	20	25	3,77964

*SO: solución osmótica, D.E.: Desvío Estándar

Fuente: Elaboración propia, (2017).

Respecto al cálculo de la desviación estándar se tiene que los factores de temperatura y relación SO: Fruta, se comportan mejor que la concentración de sacarosa. En el Cuadro 10, se muestran los valores de las respuestas de las variables independientes.

Cuadro 10. Matriz de Respuestas de las variables dependientes

Rpta	Nombre	Unidad	Análisis	Mínimo	Máximo	D.E.
Y ₁	Pérdida Peso	g/100 g b.h	Polinómica	16,625	65,409	12,95
Y ₂	Humedad	g/g b.s	Polinómica	0,7505	3,8217	0,98
Y ₃	Ganancia Sólidos	g/100 g bh	Polinómica	8,1621	23,7308	4,43
Y ₄	Pérdida agua	g/100 g b.h	Polinómica	28,6135	77,9765	14,40

Rpta: Variable respuesta, D.E.: Desvío Estándar

Fuente: Elaboración propia, (2017).

En el Cuadro 10, se observa el rango de variación de las variables de respuesta, como por ejemplo, pérdida de peso, que tiene un valor mínimo de 16,625 y un valor máximo de 65,409.

3.5. Análisis de pérdida de peso

Cuadro 11. Resumen de Ajuste

Fuente	p-valor secuencial	p-valor falta de ajuste	R ² Equilibrado	R ² Predicho	
Linear	0,0039	0,0128	0,6044	0,3724	Suggested
2FI	0,6323	0,0105	0,5561	-0,1912	
Cuadrático	0,2538	0,0111	0,6644	-0,9054	
Cubico	0,0111		0,9938		Aliased

Fuente: Elaboración propia (2017).

El valor del coeficiente de determinación R² ajustado para el modelo cúbico, presenta la pérdida de peso (99.38%) de la variabilidad. Por tanto, es altamente significativo.

Cuadro 12. ANOVA Superficie de Respuesta modelo cúbico reducido-pérdida de peso

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-Valor	p-valor Prob > F
Modelo	234660	12	195,55	187,43	0,0053
X ₁ -Temperatura	0,027	1	0,027	0,025	0,8879
X ₂ -Concentración Sacarosa	1050,41	1	1050,41	1006,79	0,0010
X ₃ -Razón SO:Fruta	10,04	1	10,04	9,63	0,0901
X ₁ X ₂	5,72	1	5,72	5,49	0,1439
X ₁ X ₃	115,89	1	115,89	111,07	0,0089
X ₂ X ₃	12,64	1	12,64	12,11	0,0736
X ₁ ²	4,02	1	4,02	3,85	0,1887
X ₂ ²	0,031	1	0,031	0,030	0,8790
X ₃ ²	311,27	1	311,27	298,35	0,0033
X ₁ ² X ₂	78,36	1	78,36	75,10	0,0131
X ₁ ² X ₃	6,80	1	6,80	6,52	0,1252
X ₁ X ₂ ²	194,25	1	194,25	186,19	0,0053
Error puro	2,09	2	1,04		
Total	2348,69	14			

G.L.: Grados de libertad

Fuente: Elaboración Propia (2017).

Los experimentos se realizaron de acuerdo con el diseño compuesto central dado en el Cuadro 12, con el fin de buscar la combinación óptima de parámetros para la deshidratación osmótica de ají dulce. El modelo F-valor de 187,430 implica que el modelo es significativo, a un nivel de confianza del 95%. Así mismo, hay una posibilidad de que un 0,53% del valor F pueda desviarse.

Los resultados obtenidos del ANOVA indican que el modelo se ajusta a los datos, puesto que el p-value < 0,05, de acuerdo al Cuadro 12 (ANOVA) se observa que la influencia de la variable concentración sacarosa (B) sobre pérdida de peso es altamente significativa, como también del AC, C² A²B y AB². Las variables e interacciones que no sobrepasan el límite estadístico, tienen un aporte insignificante.

Cuadro 13. Coeficientes de modelo ajustado para pérdida de peso

Factor	Coefficiente de estimación	GL	Error de estándar	95% IC Bajo	95% IC Alto	VIF
Intercepto	45,28	1	0,59	42,74	47,82	
X ₁	-0,081	1	0,51	-2,28	2,12	2,00
X ₂	16,20	1	0,51	14,01	18,40	2,00
X ₃	1,58	1	0,51	-0,61	3,78	2,00
X ₁ X ₂	-1,20	1	0,51	-3,39	1,00	1,00
X ₁ X ₃	-5,38	1	0,51	-7,58	-3,19	1,00
X ₂ X ₃	-1,78	1	0,51	-3,97	0,42	1,00
X ₁ ²	-1,04	1	0,53	-3,33	1,24	1,01
X ₂ ²	0,092	1	0,53	-2,20	2,38	1,01
X ₃ ²	-9,18	1	0,53	-11,47	-6,89	1,01
X ₁ ² X ₂	-6,26	1	0,72	-9,37	-3,15	2,00
X ₁ ² X ₃	1,84	1	0,72	-1,26	4,95	2,00
X ₁ X ₂ ²	-9,86	1	0,72	-12,96	-6,75	2,00

X₁: Temperatura, X₂: Concentración de sacarosa, X₃: SO: fruta, G.L.: Grados de libertad, I.C.: Intervalo de confianza.

Fuente: Elaboración propia (2017).

En el Cuadro 13, se presentan los coeficientes de regresión (lineal, interacciones, cuadráticos e interacciones de los componentes cuadráticos y lineales) de los modelos matemáticos para predecir la pérdida de peso. Un alto valor absoluto para los coeficientes,

indica una importante contribución de la variable independiente sobre la predicción de la pérdida de peso. Como se observa en el Cuadro 13, el coeficiente de la variable independiente concentración sacarosa es mayor. Por tanto, el efecto de ésta sobre la respuesta es más influyente, pero también se tiene un efecto significativo de X_1X_3 , X_3^2 , $X_1^2X_2$, $X_1X_3^2$ (Los parámetros del modelo se estiman mediante el método de mínimos cuadrados).

El análisis de los datos experimentales a través de una regresión lineal, ajustando los datos a una ecuación polinómica de tercer grado, con esto se pudo determinar que existe una buena correlación de los datos experimentales con las variables en estudio ($p > 0,05$), por tanto es capaz de representar adecuadamente la variación de los datos experimentales.

a. Términos de factores codificados

pérdida de peso

$$= 45,28 - 0,081X_1 + 16,20X_2 + 1,58X_3 - 1,20X_1X_2 - 5,38X_1X_3 - 1,78X_2X_3 - 1,04X_1^2 + 0,092X_2^2 - 9,18X_3^2 - 6,26X_1^2X_2 + 1,84X_1^2X_3 - 9,86X_1X_2^2$$

El modelo matemático obtenido con valores codificados de las variables independientes, este modelo se puede utilizar para determinar valores teóricos para la pérdida de peso. A partir de esta ecuación se puede determinar el impacto relativo de los factores estudiados mediante la comparación de los coeficientes. El valor óptimo para la pérdida de peso predicho por el modelo, mediante la identificación del punto estacionario, es 45,28.

b. Términos de factores naturales

$$\begin{aligned} \text{Pérdida Peso} = & 469.2147 - 25.6707z_1 - 49.0709z_2 + 48.0586z_3 + 1.9326z_1z_2 - 1.3958z_1z_3 - 0.0237z_2z_3 \\ & + 0.2473z_1^2 + 0.35082z_2^2 - 0.36726z_3^2 - 0.01669z_1^2z_2 + 0.04756z_1^2z_3 - 8.76022 \times 10^{-3} z_1z_2^2 \end{aligned}$$

Esta ecuación canónica transformada de las variables codificadas proporciona información, a simple vista, sobre el tipo de superficie que se está observando y sobre su forma, y como los valores propios son de signos diferentes. La superficie de respuesta presenta un punto estacionario del tipo silla. La ecuación, en términos de

factores naturales, se puede utilizar para determinar valores de la pérdida de peso para el ají dulce, en los rangos de las variables en estudio. En este caso, los niveles deben ser especificados en las unidades originales para cada factor. Esta ecuación no debe utilizarse para determinar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan a escala para acomodar las unidades de cada factor y la intersección no está en el centro del espacio de diseño.

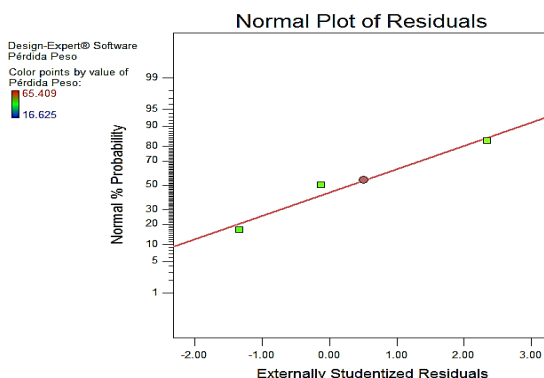


Figura 23. Curva Normal residual

Fuente: Elaboración Propia (2017).

En la gráfica de la normal residual se observa que se cumple con el supuesto de normalidad del análisis de varianza, puesto que los errores experimentales son aleatorios y se distribuyen normal e independientemente en torno a la media y desviación estándar. Al realizar las corridas para obtener la superficie de respuesta donde se combinan la temperatura y concentración de sacarosa y el efecto sobre la pérdida de peso, se tiene:

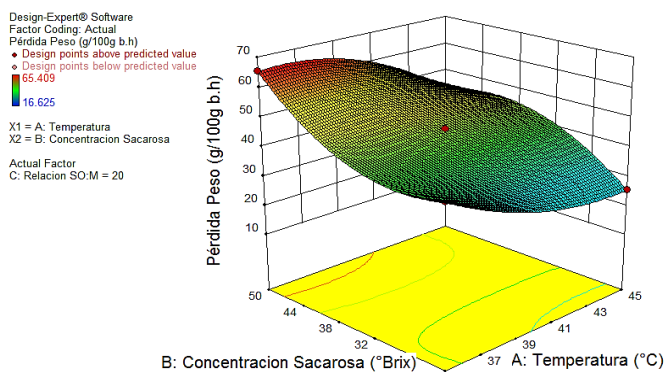


Figura 24. Efecto de la concentración de sacarosa y temperatura sobre la pérdida de peso.

Fuente: Elaboración Propia (2017).

En la Figura 24-a se observa que la pérdida de peso es mayor cuando se tiene concentración de sacarosa alta (50 °Brix) y la temperatura experimental más baja (35°C). Comportamiento similar describe Vega-Gálvez (2007) en la deshidratación osmótica de papaya (*Vasconcellea pubescens*), quienes afirmaron que la concentración de la solución osmótica influye en mayor medida que la temperatura, en la pérdida de la humedad, esto fue observado a una concentración de sacarosa de 60% y de 30°C de la solución osmótica. Respecto a la combinación de las variables Relación Solución Osmótica: Fruta (SO:M) con Temperatura tienen un efecto sobre la variable respuesta se muestra el comportamiento en la Figura 25 que se presenta a continuación:

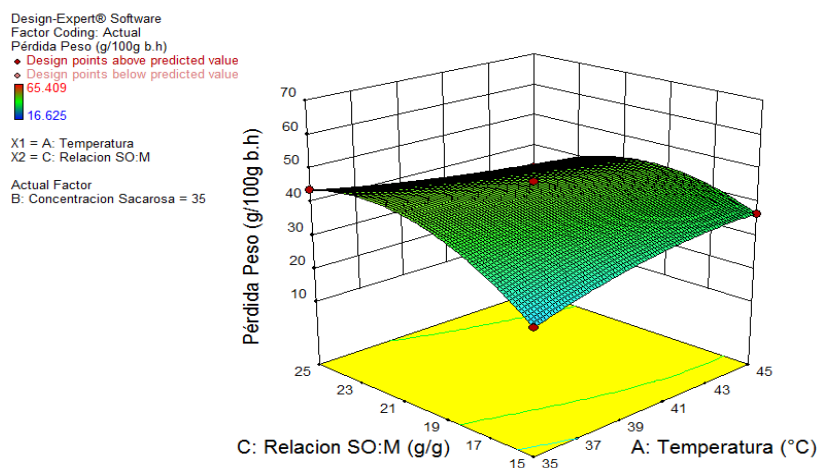


Figura 25. Efecto de la relación SO:M y Temperatura sobre la pérdida de peso
 Fuente: Elaboración Propia (2017).

En la Figura 25 la relación: SO:M y temperatura respecto a la pérdida de agua no muestra influencia significativa. El mismo comportamiento reporta Zapata *et al.*, (2002) en su estudio sobre los efectos de la concentración de solutos y la relación jarabe/ fruta sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas, donde fijó el valor de la variable jarabe. En la Figura 26, se observa que a 50°Brix y valores intermedios de relación SO:M, tienen influencia significativa sobre la pérdida de peso del producto.

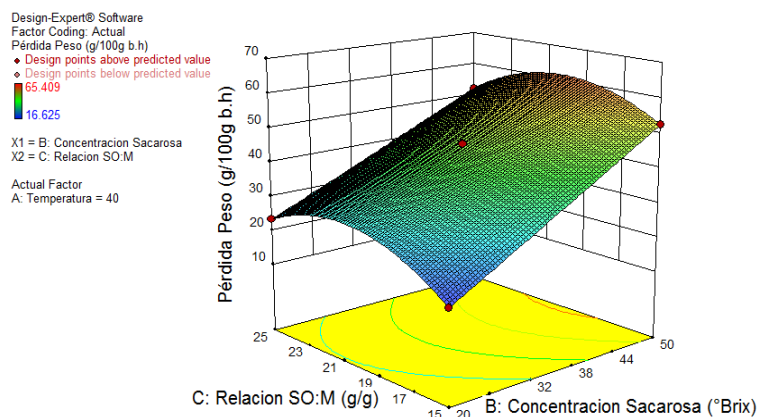


Figura 26: Efecto de la relación SO:M y concentración de sacarosa sobre la pérdida de peso.

Fuente: Elaboración propia, (2017).

En la Figura 26, se observa que la mayor pérdida de peso se registra a medida que se incrementa la concentración de Sacarosa, mostrando en la curva un efecto creciente a medida que la concentración aumenta. Sin embargo, se nota que la influencia de la Relación SO:Muestra, tiene influencia poca significativa, mostrando sus mayores efectos a concentraciones entre 19 y 21%. Efecto similar reportan Manivannani y Rajasimman (2009) en la investigación de Optimización de los parámetros de proceso para deshidratación osmótica de Beterraga en solución azucarada, afirmando además que por la forma elíptica de la superficie, presenta una mejor interacción entre las variables independientes sobre la variable respuesta.

3.6. Análisis de Humedad

Cuadro 14. Resumen de Ajuste

Fuente	p-valor Secuencial	p-valor Falta de ajuste	R ² Ajustado	R ² predicho	
Linear	0,0002	0,0007	0,7664	0,6162	Suggested
2FI	0,8705	0,0005	0,7047	0,1402	
Cuadrático	0,4734	0,0004	0,7021	-0,7018	
Cubico	0,0004		0,9998		Aliased

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

El valor del coeficiente de determinación R^2 ajustado para el modelo cúbico es de 99,98%, por lo que el modelo se ajusta bien a los datos experimentales. Por lo tanto, podría esperarse que el modelo explica el 99,98% de la variabilidad en la respuesta (humedad).

Cuadro 15. Modelo secuencial Suma de cuadrados

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F Valor	p-valor Prob > F
Media vs Total	55,56	1	55,56		
Linear vs Media	11,19	3	3,73	16,31	0,0002
2FI vs Linear	0,20	3	0,067	0,23	0,8705
Cuadrático vs 2FI	0,85	3	0,28	0,98	0,4734
Cubico vs Cuadrático	1,46	3	0,49	2425,78	0,0004
Residuo	4,004E-4	2	2,002E-4		
Total	69,26	15	4,62		

Fuente: Elaboración propia, (2017).

Cuadro 16. ANOVA de superficie de respuesta para el modelo cúbico reducido.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F Valor	p-valor Prob > F
Modelo	13,70	12	1,14	5701,71	0,0002
Z_1	0,55	1	0,55	2768,31	0,0004
Z_2	6,25	1	6,25	31231,38	< 0,0001
Z_3	0,30	1	0,30	1494,10	0,0007
Z_1Z_2	0,16	1	0,16	811,14	0,0012
Z_1Z_3	0,040	1	0,040	199,78	0,0050
Z_2Z_3	8,930E-005	1	8,930E-005	0,45	0,5730
Z_1^2	0,13	1	0,13	656,26	0,0015
Z_2^2	0,57	1	0,57	2868,21	0,0003
Z_3^2	0,12	1	0,12	595,69	0,0017
$Z_1^2Z_2$	0,038	1	0,038	190,85	0,0052
$Z_1^2Z_3$	0,61	1	0,61	3046,67	0,0003
$Z_1Z_2^2$	0,81	1	0,81	4039,81	0,0002
Error puro	4,004E-004	2	2,002E-004		
Total	13,70	14			

Z_1 : Temperatura, Z_2 : concentración sacarosa, Z_3 : SO:Fruta

Fuente: Elaboración propia, (2017).

El análisis de varianza (Cuadro 16) demuestra que el modelo de regresión es altamente significativo ($p\text{-value}=0.0002$ es mucho menor que $0,05$). Los valores de "Prob> F" menos de $0,05$, que indican los términos del modelo son significativos. Esto hace que la superficie de respuesta, reducido del modelo cúbico, tenga en la mayoría de sus términos un efecto grande, en este caso $Z_1, Z_2, Z_3, Z_1Z_2, Z_1Z_3, Z_1^2, Z_2^2, Z_3^2, Z_1^2Z_2, Z_1^2Z_3, Z_1Z_2^2$, puesto que el p -valor de estos términos son muy menores a $0,05$ y sólo la interacción de la concentración sacarosa y solución osmótica no tienen un efecto significativo sobre la humedad.

En el Cuadro 37, se presentan los coeficientes de regresión. De acuerdo a ésta, en la pendiente de la variable independiente la concentración sacarosa es mayor. Por tanto, el efecto de ésta sobre la respuesta es más influyente.

Cuadro 17. Coeficiente de modelo ajustado para humedad

Factor	Coefficiente de Estimación	GL	Error estándar	95% CI Bajo	95% CI Alto	VIF
Intercepto	1,72	1	8,170E-003	1,68	1,75	
Z_1	-0,37	1	7,075E-003	-0,40	-0,34	2,00
Z_2	-1,25	1	7,075E-003	-1,28	-1,22	2,00
Z_3	0,27	1	7,075E-003	0,24	0,30	2,00
Z_1Z_2	-0,20	1	7,075E-003	-0,23	-0,17	1,00
Z_1Z_3	0,100	1	7,075E-003	0,070	0,13	1,00
Z_2Z_3	-4,725E-003	1	7,075E-003	-0,035	0,026	1,00
Z_1^2	-0,19	1	7,364E-003	-0,22	-0,16	1,01
Z_2^2	0,39	1	7,364E-003	0,36	0,43	1,01
Z_3^2	0,18	1	7,364E-003	0,15	0,21	1,01
$Z_1^2Z_2$	0,14	1	0,010	0,095	0,18	2,00
$Z_1^2Z_3$	-0,55	1	0,010	-0,60	-0,51	2,00
$Z_1Z_2^2$	0,64	1	0,010	0,59	0,68	2,00

Z_1 : Temperatura, Z_2 : concentración sacarosa, Z_3 : SO:Fruta
Fuente: Elaboración propia, (2017).

a. Términos de Factores Codificados

$$\begin{aligned} \text{Humedad} = & 1.72 - 0.37 x_1 - 1.25 x_2 + 0.27 x_3 - 0.20 x_1 x_2 + 0.100 x_1 x_3 - 4.725 \times 10^{-3} x_2 x_3 \\ & - 0.19 x_1^2 + 0.39 x_2^2 + 0.18 x_3^2 + 0.14 x_1^2 x_2 - 0.55 x_1^2 x_3 + 0.64 x_1 x_2^2 \end{aligned}$$

El modelo matemático obtenido con los factores codificados, este modelo es capaz de predecir valores estimados de las variables respuestas en el rango de las variables en estudio. El valor predicho por el modelo sobre el punto estacionario (óptimo), es 1.72. Cuando el modelo es graficado, es posible determinar el tipo de superficie, a través del punto estacionario.

b. Términos de Factores Naturales

$$\begin{aligned} \text{Humedad} = & 91.9063 - 4.8013 Z_1 + 2.0752 Z_2 - 7.4598 Z_3 - 0.07175 Z_1 Z_2 + 0.35746 Z_1 Z_3 - 0.06792 \times 10^{-5} Z_2 Z_3 \\ & + 0.06792 Z_1^2 - 0.02086 Z_2^2 + 7.1892 \times 10^{-3} Z_3^2 + 3.686 \times 10^{-4} Z_1^2 Z_2 - 4.4182 \times 10^{-3} Z_1^2 Z_3 - 5.6529 \times 10^{-4} Z_1 Z_2^2 \end{aligned}$$

Esta ecuación canónica transformada de las variables codificadas, proporciona información a simple vista sobre el tipo de superficie que se está observando, y sobre su forma.

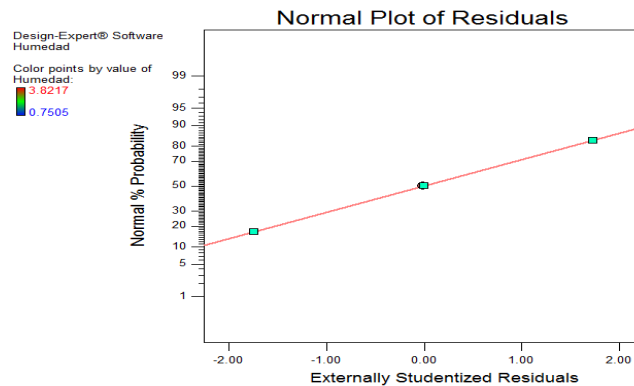


Figura 26: Curva Normal Residual para la variable respuesta Humedad
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la gráfica de la normal residual se observa que se cumple con el supuesto de normalidad del análisis de varianza, puesto que los errores experimentales son aleatorios y se distribuyen normal e independientemente en torno a la media y desviación estándar. Al realizar las corridas para obtener la superficie de respuesta

donde se combinan la temperatura y concentración de sacarosa y el efecto la humedad, se tiene:

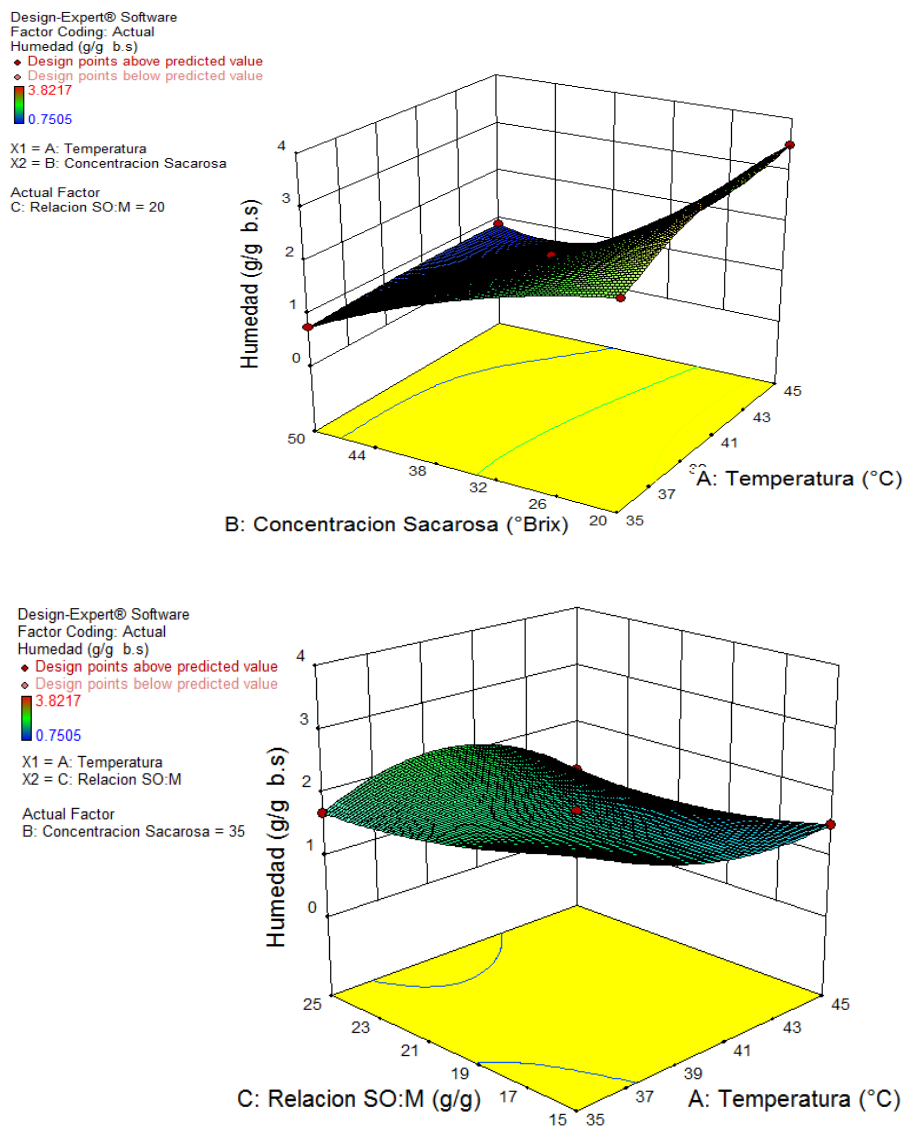


Figura 26. Efecto de la Concentración de Sacarosa (a) Relación SO:M (b) y temperatura sobre la humedad
 Fuente: Elaboración Propia (2017).

En la Figura 27 (a), se observa el comportamiento de la concentración de sacarosa y la temperatura de proceso sobre el aumento o disminución de la humedad, teniéndose que los menores valores de humedad se alcanzan a mayores concentraciones de sacarosa y menores valores de temperaturas. Ello indica que la concentración de sacarosa tiene un efecto significativo en la pérdida de humedad.

La forma elíptica de la superficie de respuesta mostrada en la Figura 27 (a), indica buena interacción de las dos variables temperatura y concentración. En el caso de la Figura 27(b), se muestra que una mayor concentración de sacarosa en la relación SO:M provoca niveles de humedad más bajos. Comportamiento similar obtuvieron Manivannan y Rajasimman (2009) para deshidratado osmótico de Beterraga.

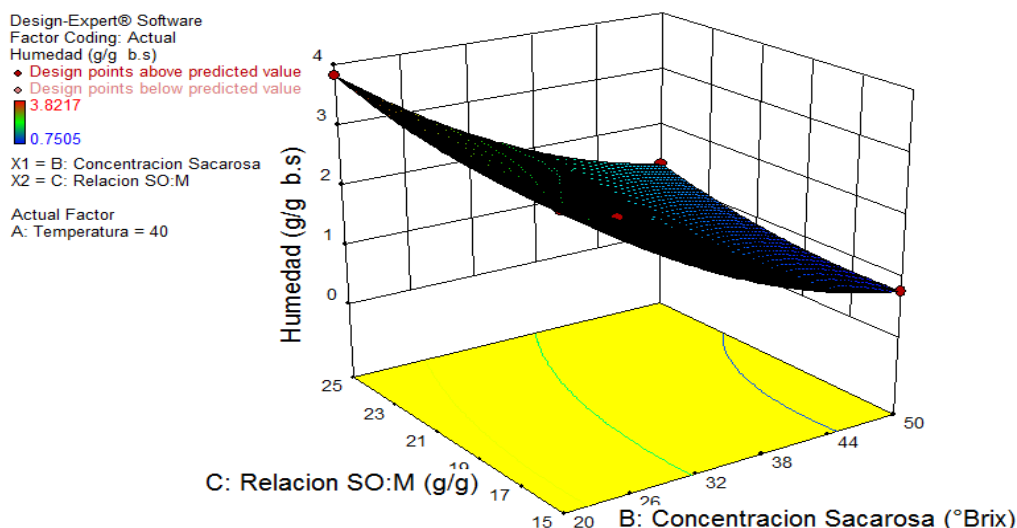


Figura 28. Efecto de temperatura y concentración de sacarosa y relación SO:M sobre la humedad

Fuente: Elaboración Propia, (2017)

En la Figura 28, se observa que la concentración de sacarosa tiene mayor influencia en la obtención del menor contenido de humedad, la cual se obtiene en los parámetros de 50°Brix. Se observa, además, que la Relación SO:M tiene poca influencia, la cual se mantiene casi constante.

3.7. Análisis de ganancia de sólidos

La mayor ganancia de sólidos del ají dulce se puede observar cuando es sometida en una solución osmótica de 50°Brix, en un periodo de 9 horas. En estas condiciones de proceso, se puede conseguir una ganancia de sólidos aproximadamente de 11,92%. Si bien es cierto la ganancia de sólidos va depender de la estructura del tejido vegetal del alimento en deshidratación (Kowalska & Lenart, 2001), pero la tasa de difusión aumentará con el incremento de la concentración de la sacarosa en periodos largos. Pero por otro lado, una elevada concentración de sacarosa provocará una ganancia de sólidos muy rápida,

saturando las capas celulares del tejido en deshidratación, esta ganancia rápida de sólidos podrá producir daños a los tejidos del alimento, que influirá en gran medida en las características sensoriales, físicas y nutricionales del alimento.

Cuadro 18. Resumen de Ajuste

Fuente	p-valor secuencial	p-valor falta de ajuste	R² ajustado	R² Predicho	
Linear	0,0214	0,0105	0,4542	0,1031	Suggested
2fi	0,3343	0,0104	0,4977	-0,4378	
Cuadrático	0,2224	0,0117	0,6419	-1,0324	
Cubico	0,0117		0,9930		aliased

Fuente: Elaborado propia (2017).

El valor del coeficiente de determinación R^2 ajustado para el modelo, es muy alto 99,30%, por lo que se defiende la alta significancia del modelo. Por lo tanto, podría esperarse que el modelo explique el 99,30% de la variabilidad en la ganancia de sólido, indicando además un buen ajuste entre los valores experimentales y predichos.

Cuadro 19. Modelo secuencial Suma de cuadrados

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Media cuadrado	F-valor	p-valor prob>F	
Media vs total	3062,29	1	3062,29			
linear vs media	157,60	3	52,53	4,88	0,0214	suggested
2fi vs linear	39,14	3	13,05	1,32	0,3343	
Cuadrático vs 2fi	43,91	3	14,64	2,07	0,2224	
Cubico vs Cuadrático	35,01	3	11,67	84,33	0,0117	aliased
Residual	0,28	2	0,14			
Total	3338,24	15	222,55			

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

Cuadro 20. ANOVA de superficie de respuesta reducida modelo cúbico

Fuente	Suma de Cuadrado	GL	Media cuadrado	F-valor	p-valor prob > F
Modelo	275,67	12	22,97	166,00	0,0060
Z_1 – temperatura	38,65	1	38,65	279,29	0,0036
Z_2 – concentración sacarosa	33,17	1	33,17	239,69	0,0041
Z_3 – razón SO:fruta	18,75	1	18,75	135,51	0,0073
Z_1Z_2	27,19	1	27,19	196,44	0,0051
Z_1Z_3	11,70	1	11,70	84,57	0,0116
Z_2Z_3	0,25	1	0,25	1,83	0,3086
Z_1^2	23,82	1	23,82	172,13	0,0058
Z_2^2	8,91	1	8,91	64,36	0,0152
Z_3^2	9,45	1	9,45	68,28	0,0143
$Z_1^2Z_2$	2,07	1	2,07	14,95	0,0608
$Z_1^2Z_3$	32,46	1	32,46	234,56	0,0042
$Z_1Z_2^2$	0,48	1	0,48	3,48	0,2029
Error puro	0,28	2	0,14		
Total	275,95	14			

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

Los resultados obtenidos del ANOVA indican que el modelo se ajusta a los datos, puesto que el $p\text{-value} < 0,05$. De acuerdo al Cuadro 20 (ANOVA), se observa que la influencia de la variable temperatura (Z_1) sobre ganancia de sólido es altamente significativa, como también del Z_2 , Z_3 , Z_1Z_2 , Z_1Z_3 , Z_1^2 , Z_2^2 , Z_3^2 , $Z_1^2Z_3$. Las variables e interacciones que no sobrepasan el límite estadístico tienen un aporte insignificante. Se puede mejorar el modelo reduciendo algunos términos insignificantes del modelo. En el Cuadro 21, se presentan los coeficientes de regresión (lineal, interacciones, cuadráticos e interacciones de los componentes cuadráticos y lineales) de los modelos matemáticos para predecir la ganancia de sólido. Un alto valor absoluto para los coeficientes, indica una importante contribución de la variable independiente sobre la predicción de la ganancia de sólido.

Cuadro 21. ANOVA de superficie de respuesta reducida modelo cúbico

Factor	Coefficiente estimada	GL	Estándar Error	95% IC Bajo	95% IC Alto	VIF
Intercepto	12,91	1	0,21	11,98	13,83	
Z_1 – Temperatura	3,11	1	0,19	2,31	3,91	2,00
Z_2 Concentración sacarosa	2,88	1	0,19	2,08	3,68	2,00
Z_3 – Relación SO:Fruta	-2,17	1	0,19	-2,97	-1,36	2,00
Z_1Z_2	2,61	1	0,19	1,81	3,41	1,00
Z_1Z_3	1,71	1	0,19	0,91	2,51	1,00
Z_2Z_3	-0,25	1	0,19	-1,05	0,55	1,00
Z_1^2	2,54	1	0,19	1,71	3,37	1,01
Z_2^2	-1,55	1	0,19	-2,39	-0,72	1,01
Z_3^2	1,60	1	0,19	0,77	2,43	1,01
$Z_1^2Z_2$	1,02	1	0,26	-0,11	2,15	2,00
$Z_1^2Z_3$	4,03	1	0,26	2,90	5,16	2,00
$Z_1Z_2^2$	-0,49	1	0,26	-1,62	0,64	2,00

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

En el Cuadro 21, se observa que el cuadrado de la temperatura y la solución osmótica es mayor. Por tanto, el efecto de esta variable sobre la respuesta es más influyente, pero también se tiene un efecto significativo de Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_1Z_2 , Z_1^2 . (Los parámetros del modelo se estiman mediante el método de mínimos cuadrados). Se obtuvo un buen ajuste de los datos experimentales para ganancia de sólido a una ecuación polinomial de tercer grado ($p > 0,05$), que predice adecuadamente estas variables de proceso. Los modelos que relacionan las variables de proceso evaluados con la ganancia de sólido son representados por las ecuaciones.

a. Términos de Factores Codificados

$$\begin{aligned} \text{Ganancia Sólido} = & 12.91 + 3.11 x_1 + 2.88 x_2 - 2.17 x_3 + 2.61 x_1x_2 + 1.71 x_1x_3 - 0.25 x_2x_3 \\ & + 2.54 x_1^2 - 1.55 x_2^2 + 1.60 x_3^2 + 1.02 x_1^2x_2 + 4.03 x_1^2x_3 - 0.49 x_1x_2^2 \end{aligned}$$

El modelo matemático polinomial en términos de factores codificados se puede utilizar para realizar predicciones sobre las posibles respuestas en el rango de evaluados para cada estudiado. Por defecto, el nivel alto de cada factor se codifica con el signo positivo

(+) acompañado del número uno (1) y el nivel bajo se codifica con el signo negativo (-) acompañado del 1. La ecuación obtenida con valores de los niveles codificados de cada factor es útil para evaluar el efecto relativo de los factores estudiados mediante la comparación de los coeficientes de correlación del modelo. Al graficar la ecuación se obtiene la superficie de respuesta, con la cual se puede visualizar el efecto de las variables en estudio sobre las respuestas experimentales.

b. Términos de Factores Naturales

$$\begin{aligned} \text{Ganancia Sólido} = & -891.148 + 48.5374 Z_1 + 2.4702 Z_2 + 45.9559 Z_3 - 0.1517 Z_1 Z_2 - 2.5099 Z_1 Z_3 - 3.35667 \times 10^{-3} Z_2 Z_3 \\ & - 0.63794 Z_1^2 + 0.01055 Z_2^2 + 0.06399 Z_3^2 + 2.71267 \times 10^{-3} Z_1^2 Z_2 + 0.03223 Z_1^2 Z_3 - 4.3644 \times 10^{-4} Z_1 Z_2^2 \end{aligned}$$

Esta ecuación canónica transformada de las variables codificadas, proporciona información a simple vista sobre el tipo de superficie que se está observando y sobre su forma, y cómo los valores propios son de signos diferentes; el punto estacionario es un punto de silla. Las siguientes gráficas muestran los efectos de los tres factores analizados sobre la ganancia de sólido.

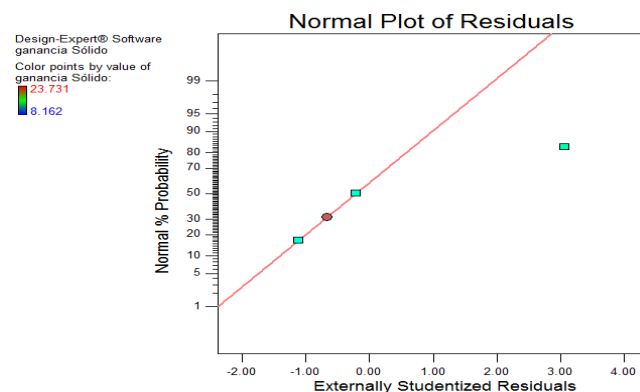


Figura 29. Curva Normal Residual para la variable respuesta Ganancia de sólidos

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la gráfica de la normal residual se observa que se cumple con el supuesto de normalidad del análisis de varianza, puesto que los errores experimentales son aleatorios y se distribuyen normal e independientemente en torno a la media y desviación estándar. Al realizar las corridas para obtener la superficie de respuesta, se

combinan la temperatura y concentración de sacarosa y el efecto sobre la ganancia de sólidos:

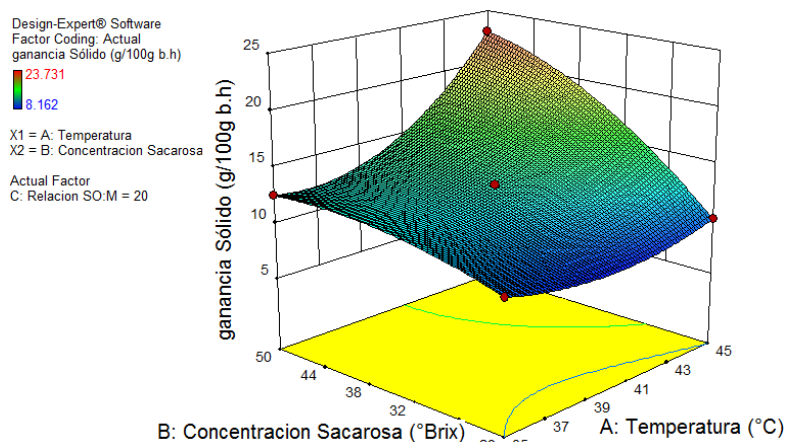


Figura 30. Efecto de la concentración de sacarosa y temperatura sobre la ganancia de solidos

Fuente: Elaboración Propia, (2017)

En la Figura 30, se observa que, a una temperatura de 50°C y una concentración de 50°Brix de concentración de Sacarosa, se obtienen los más altos valores de ganancia de sólidos. Parámetros similares obtuvieron Vega- Gálvez *et al.*, (2007) para la Deshidratación Osmótica de la papaya chilena (*Vasoncella pubescens*), cuyos parámetros óptimos fueron 60% de concentración de sacarosa y 30°C. Dichas condiciones aceleran la salida de humedad y la ganancia de sólidos solubles.

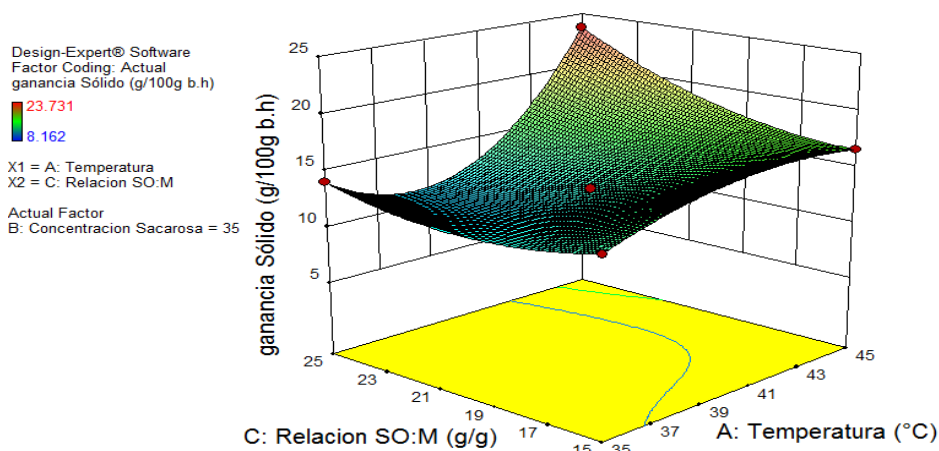


Figura 31. Efecto de la relación SO:M y temperatura sobre la ganancia de sólidos

Fuente: Elaboración propia, (2017)

En la Figura 31, se observa que tanto la relación de relación SO:M y Temperatura contienen influencia significativa sobre la ganancia de sólidos. En la Figura, los mayores valores de ganancia de sólidos se obtienen a una temperatura de 45°C y una relación SO:M de 25.

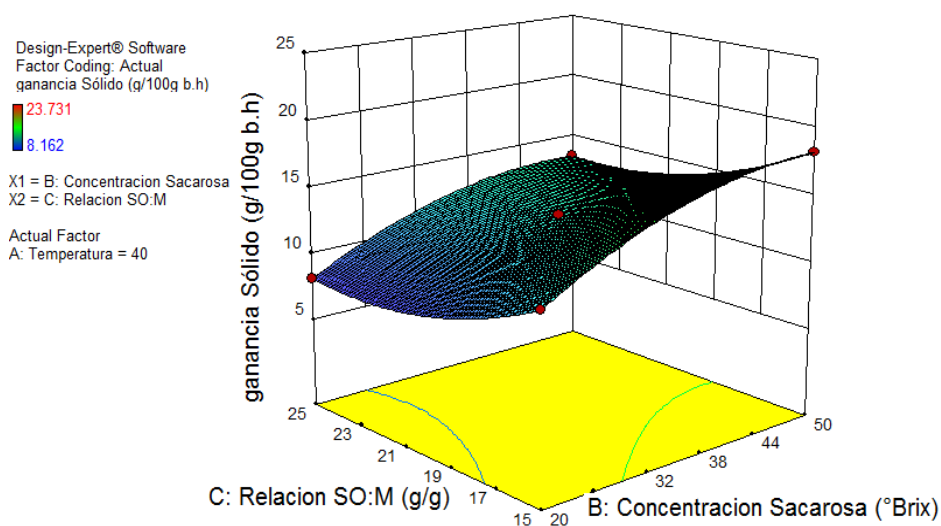


Figura 32. Efecto de la relación SO:M y concentración de sacarosa sobre la ganancia de sólidos

Fuente: Elaboración propia, (2017)

Se observa que el efecto cuadrático causa la estimación de la superficie de respuesta al exhibir la curvatura. La naturaleza de las curvas de superficie de respuesta muestra la interacción entre las variables. La forma elíptica de la curva indica una buena interacción de las dos variables, y la forma circular indica que no hay interacción entre las variables. De las Figuras se observa que la naturaleza elíptica del contorno en gráficos tridimensionales de superficie de respuesta, representa las interacciones mutuas de todas las variables. Hubo una interacción significativa relativa entre cada dos variables, y había un rendimiento máximo predicho como se indica por la superficie confinada en la elipse más pequeña en los diagramas de contorno.

3.8. Análisis de la pérdida de agua

Cuadro 22. Resumen de Ajuste

Fuente	P-valor secuencial	P-valor falta de ajuste	R² equilibrado	R² Predicho	
Linear	0,0007	0,0260	0,7134	0,5360	Suggested
2fi	0,7816	0,0198	0,6531	0,0214	
Cuadrático	0,4178	0,0167	0,6703	-0,8657	
Cubico	0,0167		0,9908		Aliased

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

El valor del coeficiente de determinación R^2 ajustado para el modelo cúbico, es muy alto: 99,08 %, por lo que se defiende la alta significancia del modelo. Por lo tanto, se puede decir que el modelo matemático obtenido es capaz de explicar el 99,08% de la variación de las respuesta (pérdida de agua).

Cuadro 23. Modelo secuencial Suma de cuadrados

Fuente	Suma de cuadrado	GL	Cuadrado medio	F- Valor	P-Valor Prob > F	
Media vs Total	44027,97	1	44027,97			
Linear vs Media	2249,72	3	749,91	12,61	0,0007	Suggested
2FI vs Linear	78,37	3	26,12	0,36	0,7816	
Cuadrático vs 2FI	233,71	3	77,90	1,14	0,4178	
Cubico vs Cuadrático	338,04	3	112,68	59,04	0,0167	Aliased
Residual	3,82	2	1,91			
Total	46931,62	15	3128,77			

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

Cuadro 24. ANOVA de Superficie de Respuesta Reducida modelo cúbico

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrado	F - Valor	p-valor Prob > F
Modelo	2899,84	12	241,65	126,62	0,0079
Z_1 – Temperatura	36,66	1	36,66	19,21	0,0483
Z_2 – Concentración Sacarosa	1456,95	1	1456,95	763,39	0,0013
Z_3 – Ratio SO:Fruta	1,35	1	1,35	0,71	0,4891
Z_1Z_2	7,97	1	7,97	4,17	0,1778
Z_1Z_3	53,93	1	53,93	28,26	0,0336
Z_2Z_3	16,48	1	16,48	8,63	0,0989
Z_1^2	7,95	1	7,95	4,17	0,1780
Z_2^2	8,20	1	8,20	4,30	0,1739
Z_3^2	213,92	1	213,92	112,09	0,0088
$Z_1^2Z_2$	54,96	1	54,96	28,80	0,0330
$Z_1^2Z_3$	68,98	1	68,98	36,14	0,0266
$Z_1Z_2^2$	214,10	1	214,10	112,18	0,0088
Erro puro	3,82	2	1,91		
Total	2903,65	14			

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

Los resultados obtenidos del ANOVA indican que el modelo se ajusta a los datos, puesto que el $p\text{-value} < 0,05$. De acuerdo al Cuadro 24 (ANOVA), se observa que la influencia de la variable concentración sacarosa (Z_2) sobre pérdida de agua, es altamente significativa, como también del Z_1 , Z_2 , Z_1Z_3 , Z_3^2 , $Z_1^2Z_2$, $Z_1^2Z_3$, $Z_1Z_2^2$. Las variables e interacciones que no sobrepasan el límite estadístico tienen un aporte insignificante. En el Cuadro 25, se presentan los coeficientes de regresión (lineal, interacciones, cuadráticos e interacciones de los componentes cuadráticos y lineales) de los modelos matemáticos para predecir la pérdida de agua. Un alto valor absoluto para los coeficientes indica una importante contribución de la variable independiente sobre la predicción de la pérdida de agua.

Cuadro 25. Coeficientes de ajuste

Factor	Coefficiente estimada	GL	Error estándar	95% IC Bajo	95% IC Alto	VIF
Intercepto	58,25	1	0,80	54,82	61,68	
Z_1 – Temperatura	3,03	1	0,69	0,055	6,00	2,00
Z_2 –Concentración Sacarosa	19,08	1	0,69	16,11	22,06	2,00
Z_3 – Relación SO:Fruta	-0,58	1	0,69	-3,55	2,39	2,00
Z_1Z_2	1,41	1	0,69	-1,56	4,38	1,00
Z_1Z_3	-3,67	1	0,69	-6,64	-0,70	1,00
Z_2Z_3	-2,03	1	0,69	-5,00	0,94	1,00
Z_1^2	1,47	1	0,72	-1,63	4,56	1,01
Z_2^2	-1,49	1	0,72	-4,58	1,60	1,01
Z_3^2	-7,61	1	0,72	-10,71	-4,52	1,01
$Z_1^2Z_2$	-5,24	1	0,98	-9,45	-1,04	2,00
$Z_1^2Z_3$	5,87	1	0,98	1,67	10,08	2,00
$Z_1Z_2^2$	-10,35	1	0,98	-14,55	-6,14	2,00

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

Como se observa en el Cuadro 22 el coeficiente de la variable independiente concentración sacarosa es mayor. Por tanto, el efecto de esta variable sobre la respuesta es más influyente, pero también se tiene un efecto significativo de Z_3^2 , $Z_1^2Z_2$, $Z_1^2Z_3$, $Z_1Z_2^2$. (Los parámetros del modelo se estiman mediante el método de mínimos cuadrados). Se obtuvo un buen ajuste de los datos experimentales para pérdida de agua a una ecuación polinómica de tercer grado ($p > 0,05$), que predice adecuadamente esta variable de proceso. Los modelos que relacionan las variables de proceso evaluadas con la pérdida de agua, son representados por las ecuaciones.

a. Términos de Factores Codificados

$$\begin{aligned} \text{Pérdida Agua} = & 58.25 + 3.03 x_1 + 19.08 x_2 - 0.58 x_3 + 1.41 x_1x_2 - 3.67 x_1x_3 - 2.03 x_2x_3 \\ & + 1.47 x_1^2 - 1.49 x_2^2 - 7.61 x_3^2 - 5.24 x_1^2x_2 + 5.87 x_1^2x_3 - 10.35 x_1x_2^2 \end{aligned}$$

El modelo matemático polinomial en términos de factores codificados se puede utilizar para realizar predicciones sobre las posibles respuestas en el rango de evaluados para cada estudiado. Por defecto, el nivel alto de cada factor se codifica con el signo positivo (+) acompañado del número uno (1) y el nivel bajo se codifica con el signo negativo (-) acompañado del 1. La ecuación obtenida con valores de los niveles codificados de cada factor es útil para evaluar el efecto relativo de los factores estudiados mediante la comparación de los coeficientes de correlación del modelo. Al graficar la ecuación se obtiene la superficie de respuesta, con la cual se puede visualizar el efecto de las variables en estudio sobre las respuestas experimentales.

b. Términos de Factores Naturales

$$\begin{aligned} \text{Pérdida Agua} = & -424.1839 + 22.9509 Z_1 - 46.59359 Z_2 + 94.0557 Z_3 + 1.7809 Z_1 Z_2 - 3.9054 Z_1 Z_3 - 0.02706 Z_2 Z_3 \\ & - 0.3917 Z_1^2 + 0.36125 Z_2^2 - 0.30447 Z_3^2 - 0.01397 Z_1^2 Z_2 + 0.04698 Z_1^2 Z_3 - 9.19689 \times 10^{-3} Z_1 Z_2^2 \end{aligned}$$

Esta ecuación canónica transformada de las variables codificadas muestra información suficiente sobre el tipo de superficie, los signos de los coeficientes muestran que la superficie que forma es del tipo punto estacionario es un punto de silla.

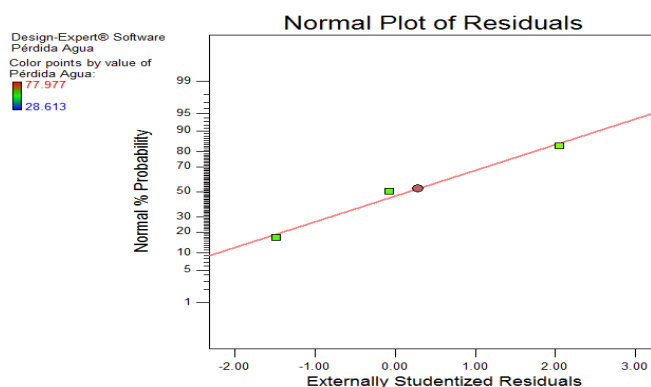


Figura 33. Curva Normal Residual para la variable respuesta Pérdida de agua

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la gráfica de la normal residual se observa que se cumple con el supuesto de normalidad del análisis de varianza, puesto que los errores experimentales son aleatorios y se distribuyen normal e independientemente en torno a la media y

desviación estándar. Se observa que el efecto cuadrático causa la estimación de la superficie de respuesta al exhibir la curvatura.

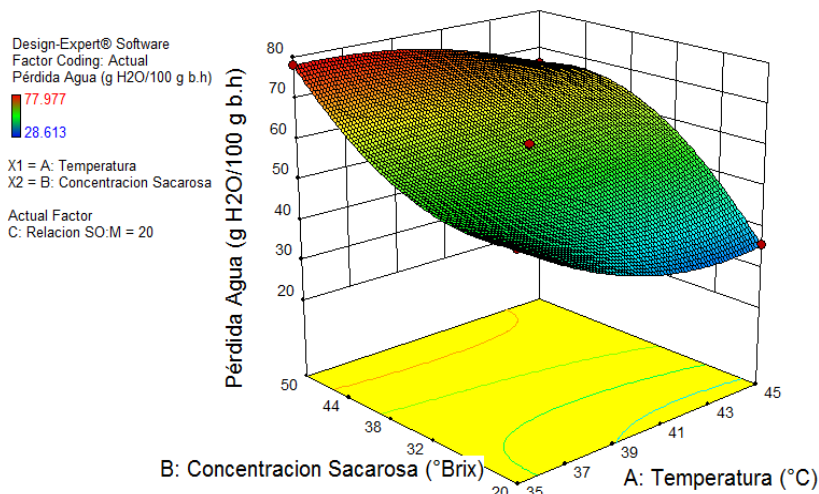


Figura 34. Efecto de la concentración de Sacarosa y temperatura sobre la pérdida de agua

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 34, se observa que el incremento de concentraciones de sacarosa y menor temperatura provoca una mayor pérdida de agua.

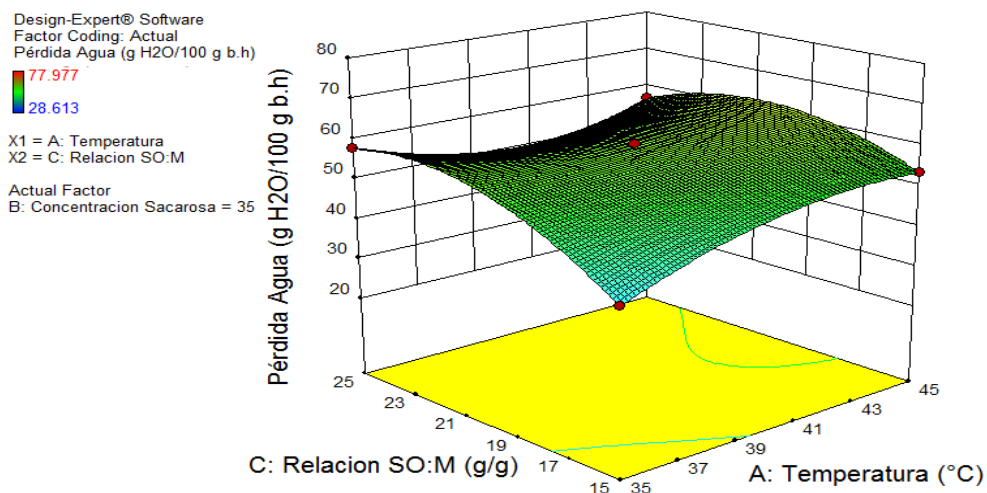


Figura 35. Efecto de la concentración de sacarosa y temperatura sobre la pérdida de agua

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 35, la Relación OS:M y temperatura presenta un efecto poco significativo en la pérdida de agua.

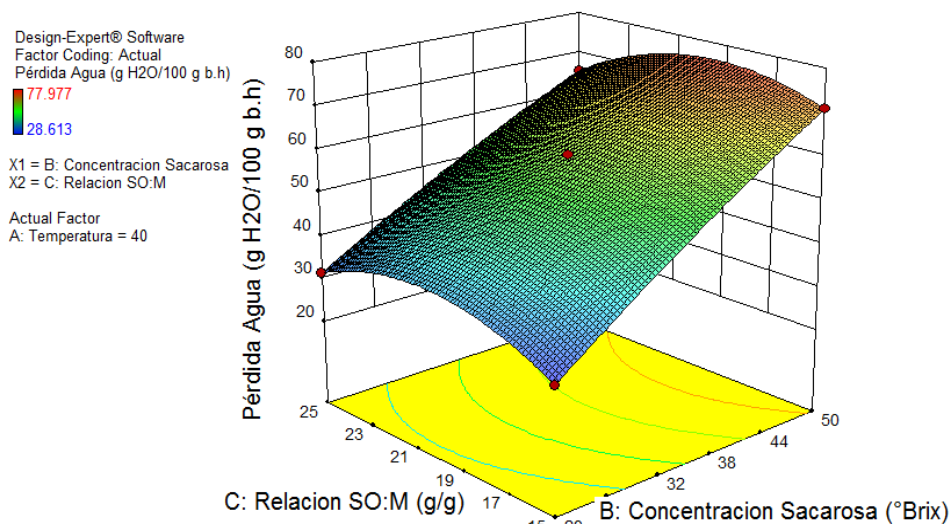


Figura 35. Efecto de la Concentración de Sacarosa y Temperatura sobre la pérdida de agua

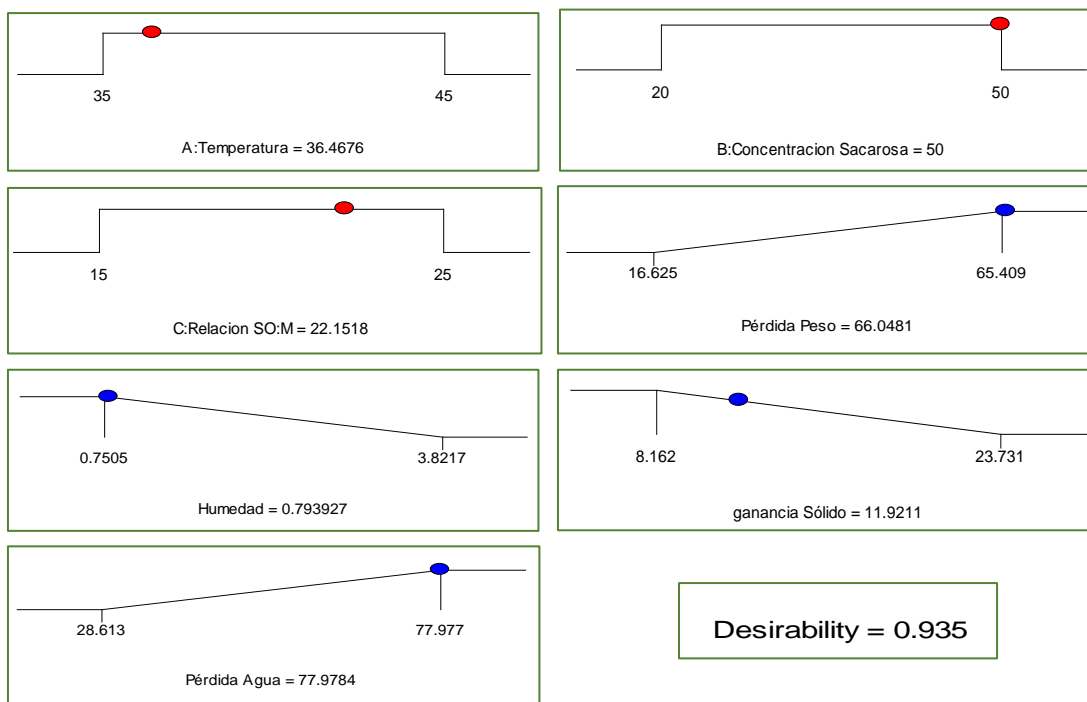
Fuente: Elaboración Propia (2017).

La naturaleza de las curvas de superficie de respuesta muestra la interacción entre las variables. La forma elíptica de la curva indica una buena interacción de las dos variables, y la forma circular indica que no hay interacción entre las variables. De las Figuras, se observa que la naturaleza elíptica del contorno en gráficos tridimensionales de superficie de respuesta representa las interacciones mutuas de todas las variables. Hubo una interacción significativa relativa entre cada dos variables, y había un rendimiento máximo predicho, como se indica por la superficie confinada en la elipse más pequeña en los diagramas de contorno.

3.9. Optimización

Las condiciones óptimas para la deshidratación del ají dulce (*C. chinense*) variedad “Rosita”, fueron determinadas para obtener una máxima pérdida de agua y pérdida de peso, una mínima ganancia de sólido y contenido normalizado de humedad, aplicando el Software Design Expert. El diseño experimental de Box-Behnken y la metodología de superficie respuesta. Fueron encontradas las siguientes condiciones óptimas de procesamiento, Temperatura 36,46 °C; concentración de solución de sacarosa 50 °Brix;

relación SO: Muestra 22:15 (g/g) y tiempo procesamiento de 9hr.de inmersión, de los cuales se obtuvieron las siguientes respuestas optimas del proceso: PA = 77,978%, PP = 66,048%, GS = 11,921%, H= 0,94%. Para identificar las condiciones óptimas se consideraron las variables independientes temperatura, concentración de la solución osmótica, relación sólido: liquido.



Cuadro 26. Condiciones Óptimas

Restricciones						
Nombre	Gol	LI	LS	PI	PS	Importancia
X ₁ (A):Temperatura	Rango	35	45	1	1	3
X ₂ (B): Concentración sacarosa	Rango	20	50	1	1	3
X ₃ (C):Relación SO:M	Rango	15	25	1	1	3
Pérdida Peso	Maximizado	16,62	6,40	1	1	5
Humedad	Minimizado	0,750	3,82	1	1	3
Ganancia Solido	Minimizado	8,162	23,73	1	1	4
Pérdida Agua	Maximizado	28,61	77,97	1	1	5

LI: Límite inferior, LS: Límite superior, PI: Peso inferior, PS: Peso superior

Fuente: Elaboración propia (2017).

El análisis de varianza ha demostrado que los efectos de todas las variables de proceso, incluyendo el tiempo, la temperatura, la concentración de la solución y la relación de solución a la muestra, fueron estadísticamente significativas. Se obtuvieron modelos polinomiales de tercer grado reducidos para las 4 respuestas y 15 tratamientos. Las condiciones óptimas encontradas fueron; temperatura 36,46°C; concentración de solución de sacarosa 50 °Brix; relación SO: Muestra 22:15 (g/g) y tiempo de procesamiento de 9hr.de inmersión. En las condiciones optimizadas permiten obtener una pérdida de agua de 77,978%, ganancia de sólidos del 11,921%, pérdida de peso de 66,048% y contenido de humedad normalizada de 0,794%. Bambicha *et al.*, (2011), reportaron condiciones óptimas para el proceso de deshidratación osmótica de calabacita; 60°Brix, solución de NaCl a 6,38% (g/100g de sacarosa) y tiempo de proceso de 144min, en esas condiciones de operación consiguieron una pérdida de agua de 54,48%, ganancia de sólido del 9,05%, pérdida de peso de 48,59% y humedad de 0,787. Los valores obtenidos son semejantes a los obtenidos por Mayor *et al* (2007), quienes concluyeron que para obtener una mínima ganancia de sólidos en el alimento, se debe adicionar pequeñas cantidades de cloruro de sodio en la solución osmótica con la finalidad de reducir el potencial osmótico, lo que promoverá la salida del agua y de esta manera la ganancia de sólidos se la adecuada. La concentración de sacarosa fue muy significativa sobre los parámetros, en el estudio efectuado por Mayor *et al* (2007), determinaron que un aumento en la concentración de sal y azúcar contribuye a una eficiente deshidratación del alimento, debido a la gradiente de concentraciones, lo que promovió un elevado flujo de masas entre el alimento y la solución osmótica.

Por otra parte, según el investigador José Eduardo Zapata (2012), aplicó el método de superficie de respuesta para estudiar el efecto de temperaturas y de concentración sacarosa. Para la deshidratación osmótica de láminas de mango (Tommy Atkins) y se evaluó en términos %pp y%GS %H los resultados indicaron efectos significativos en el rango de condiciones evaluadas 25 °C y 45 °C. Los niveles máximos de los parámetros cinéticos se consiguieron después de cuatro horas de proceso, con una temperatura de 45 °C y %PP 4,62 ,%pw 53,04 y una GS de 6,0%, respectivamente.

Por otro lado según el investigador Badwaik, (2012), la optimización de las variables de proceso, fueron verificadas en un determinado tiempo. Se hizo utilizando una gráfica

superpuesta para encontrar las condiciones óptimas y conseguir los mejores resultados para la deshidratación osmótica de brotes de bambú. La optimización se hizo para encontrar un máximo WL y un mínimo de ganancia de sólidos GS, obtenidos de brotes de bambú. De las gráficas superpuestas, fueron encontradas las condiciones óptimas para las diferentes variables de proceso y las concentraciones de las soluciones osmóticas fueron encontradas con una concentración de jarabe en 50° Brix, y con una temperatura 34,09– 44,54 °C, y para verificar el tiempo de transferencia de masa de la solución es, 7,64–104,48 min, en un intervalo de este tiempo se encontraron las condiciones óptimas de la deshidratación osmótica de brotes de bambú, y se encontraron las siguientes parámetros 34,99–38,58% para WL, 10,60–11,99 para SG, 0,99–6.

Por otro lado, según el investigador Javier R. Arballo (2011), quien aplicó la optimización de deshidratación osmótica (OD) de frutas y verduras con estructuras diversas, que fueron estudiadas. Con diferentes concentraciones de sacarosa (20–60 °Brix) y con tiempo de procesamiento (0–24 h) fueron usadas. El modelo de Magee fue apropiado para predecir pérdida de agua (WL), mientras el modelo de Azuara acomodó datos para la ganancia de sólidos (SG) y representó más exactamente la evolución del proceso completo cerca del equilibrio. Las ecuaciones polinómicas para cada WL, SG y (WR) – por kiwi y pera. Las variables de la cinética fueron usadas con regresión lineal múltiple y fueron acomodadas para un rango seleccionado de datos experimentales en un tiempo de (30–240 min y, 20–60 °Brix). Un algoritmo completo de solución para la función atractivo que fue codificado con Matlab paquete 7.2 (Mathworks, Natick, MASSACHUSETT, USA) con el objetivo de optimizar el proceso osmótico en términos de WL, SG y WR; Las condiciones óptimas fueron encontradas para cada fruta, y una zona común óptima que fue identificada para OD y el tiempo necesario de proceso fue de 114 a 240 min y la concentración de sacarosa fue de 54 y 60 °Brix.

Cuadro 27. Optimización de resultados

N°	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	D	
1	36,468	50,00	22,152	66,048	0,794	11,921	77,978	0,935	S
2	36,455	50,00	22,115	66,083	0,792	11,927	78,019	0,935	
3	36,508	50,00	22,088	66,055	0,797	11,913	77,977	0,935	
4	36,431	50,00	22,071	66,130	0,789	11,936	78,076	0,935	
5	36,395	50,00	22,128	66,123	0,786	11,945	78,077	0,935	
6	36,418	49,99	22,228	66,035	0,790	11,934	77,977	0,935	
7	36,431	50,00	22,013	66,163	0,788	11,939	78,112	0,935	
8	36,386	50,00	22,277	66,028	0,787	11,944	77,980	0,935	
9	36,405	50,00	21,960	66,212	0,785	11,950	78,172	0,935	
10	36,338	50,00	22,008	66,237	0,779	11,969	78,215	0,935	
11	36,412	50,00	21,908	66,232	0,785	11,952	78,194	0,935	
12	36,360	50,00	21,893	66,277	0,780	11,968	78,255	0,935	
13	36,278	50,00	22,033	66,268	0,773	11,989	78,265	0,935	
14	36,271	50,00	21,837	66,361	0,771	12,000	78,370	0,934	
15	36,656	50,00	21,852	66,065	0,807	11,900	77,978	0,934	
16	36,569	50,00	22,060	66,020	0,803	11,899	77,930	0,934	
17	36,421	50,00	21,619	66,334	0,784	11,975	78,321	0,934	
18	36,277	50,00	21,527	66,440	0,771	12,022	78,472	0,934	
19	36,049	50,00	21,699	66,527	0,751	12,087	78,621	0,934	
20	36,044	50,00	21,651	66,538	0,750	12,091	78,636	0,934	
21	36,040	50,00	21,587	66,549	0,751	12,095	78,652	0,934	
22	36,042	50,00	22,800	65,862	0,751	12,132	77,995	0,933	
23	35,993	50,00	21,069	66,525	0,754	12,150	78,683	0,933	
24	36,174	50,00	20,934	66,436	0,768	12,121	78,568	0,932	
25	36,836	50,00	21,155	66,122	0,810	12,003	78,142	0,932	
26	36,273	50,00	20,631	66,285	0,777	12,159	78,457	0,931	
27	35,913	50,00	23,023	65,732	0,734	12,247	77,977	0,931	
28	36,712	50,00	20,106	65,826	0,800	12,300	78,143	0,927	
29	35,361	50,00	19,983	65,600	0,763	12,452	78,056	0,926	
30	35,655	50,00	23,436	65,441	0,694	12,545	77,979	0,925	
31	35,000	50,00	21,254	66,595	0,666	12,644	79,237	0,923	
32	37,293	50,00	23,113	63,938	0,917	11,723	75,670	0,910	
33	36,919	50,00	23,958	62,940	0,916	11,832	74,771	0,898	
34	35,041	50,00	24,482	64,297	0,561	13,703	77,975	0,896	
35	35,000	20,06	22,699	46,122	2,420	10,687	56,802	0,611	

X₁: Temperatura (°C), X₂: concentración Sacarosa (°Brix), X₃: Razón Solución osmótica/ají (g/g), Y₁: Pérdida de peso en g/100 g base húmeda (b,h.), Y₂: Humedad (g/g base seca), Y₃: Ganancia de sólidos (g/100 g b,h.), Y₄: Pérdida de agua (g/100 g b,h.), S: Seleccionado, D: Deseabilidad,

Fuente: Elaborado por el autor (2017),

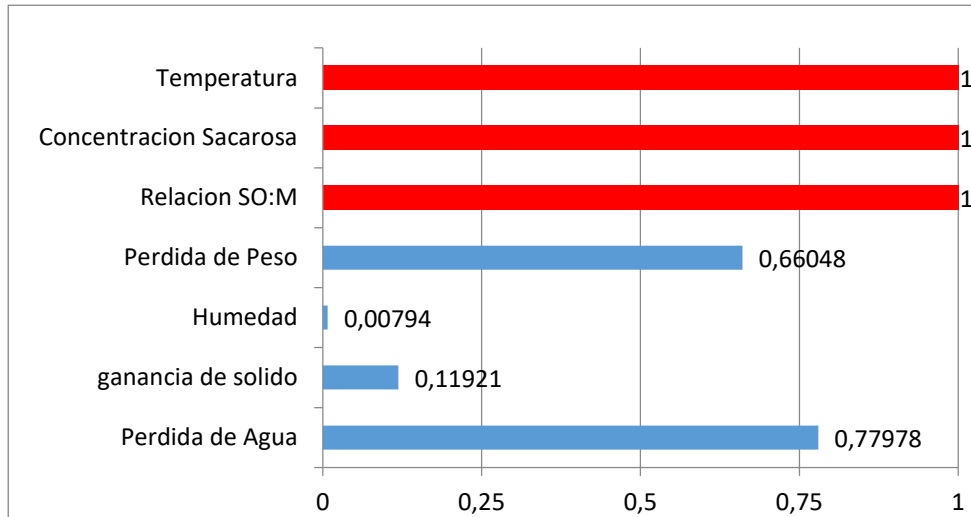


Figura 27: Deseabilidad
Fuente: Elaborado por el autor (2017),

CONCLUSIONES

En este estudio, la metodología RSM se utilizó para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento que producen la máxima pérdida de agua y la pérdida de peso, minimizar la ganancia de sólido y contenido de Humedad, El análisis de varianza ha demostrado que los efectos de todas las variables de proceso, incluyendo la temperatura, la concentración de azúcar y la relación de solución a la muestra, fueron estadísticamente significativas,

Se obtuvieron modelos polinómicos de tercer orden reducido para las 4 respuestas, Las condiciones óptimas encontradas fueron: temperatura 36,46 °C; concentración de solución de sacarosa 50 °Brix; relación SO:Muestra 22:15 (g/g), Las condiciones corresponden a una pérdida de agua de 77,978 %, ganancia de sólidos del 11,921%, pérdida de peso de 66,048% y contenido de humedad normalizada de 0,794%, en consecuencia, fue posible identificar una zona común de operación óptima para la deshidratación osmótica del ají dulce, con empleo de soluciones ternarias,

RECOMENDACIONES

Llevar a cabo un estudio para determinar la vida útil del ají dulce durante su almacenamiento a las condiciones sugeridas en este trabajo,

Realizar estudios para determinar los efectos del proceso de deshidratación osmótico sobre la composición de micronutrientes, macronutrientes y metabolitos secundarios,

Ampliar los estudios de deshidratación osmótica para ajíes dulces en diferentes estados de maduración (verde, rojo y amarillo),

BIBLIOGRAFÍA

Ade-Omowaye, B, R, (D, 2002,), *Osmotic dehydration behavior of red paprika (capsicum annum L.)*, *J, Food Sci*, 67, 1790–1796,

Ayala, A, I, (2010), *Cinéticas de deshidratación osmótica de pitahaya*, Colombia: Universidad vol, 35 N° 7,

Bambicha, R, R, (2011), *optimizacion del proceso de deshidratación osmótica de*, Argentina : Universidad Nacional la Plata ISSN: 0718-8706,

Bekele, & Ramaswamy, (2010), *Yendo más allá de la deshidratación osmótica convencional para la ventaja de la calidad y el ahorro energético*, EJUST, 1, 1-15,

Campos & Flores, (2012), *Deshidratación osmótica de placas de chayote (Sechium edule)*, México: Universidad Veracruzana Tesis,

Corzo & Gómez, (2004), *Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology*, pp, 213–219,

Cui, (2004), *Efecto de microondas al vacío secado en el carotenoides retención de zanahoria rodajas y clorofila retención de chinacebollino hojas*,

DA, A, (2011), *Análisis de la cadena de Valor de los Ajíes Escabeche (Capsicum, Perú: La Molina*,

Eshbaugh, (1983), *The genus Capsicum (Solanaceae)* , *Bothalia* 14: 845-848,

Derringer, G., & Suich, R, (1980), *Simultaneous Optimization of Several Response Variable*, California : California University,

Fito, (1994), *Modelling of vacuum osmotic dehydration of food* , *Eng* 22:313-328,

Genina Soto, P, (2002), *Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas*, Estados Unidos: Vol, 21, pg, 321 – 324,

L., B, (2013), *Los Paleobiolinguistics de ají casero (Capsicum spp.)*, *Etnobiología Letters, Sociedad de Etnobiología*, Volumen: 4: 1-1,

M., O, (2002), *Processing factors affecting the osmotic dehydration of diced green peppers*, vol, 37, pp,497-502,

Maguer, L, (1998), *Estimation of total water vapour content from split-windows radiance measurements*,

Maran, (2007), *Calidad de los productos osmo-congelado*, Reino Unido: Sección 2,187-196,

Mayor, (2007), *Vías de clathrin endocitosis independiente*, India: Centro Nacional de Ciencias Biológicas, Campus UAS-GKVK, Bangalore 560065,

MONTES, M, (2008), *Modelling the kinetics of thin-layer yam (dioscorea rotundata) drying*, Colombia : unal ISSN 0120-5609,

Moscone, (2007), *The evolution of chili peppers (Capsicum – Solanaceae)*, ISHS 745: 137-170,

Nawirska, (2009), *cinética de secado y parámetros de calidad de las rebanadas de calabaza deshidrataron utilizando diferentes métodos*, pp, 12-14,

Orbegoso, A, (1954), *Reseña del Cultivo, identificación botánica y comparativo de rendimiento en fresco de variedades de ají Escuela Nacional de Agricultura*, Perú: La Molina ,

Ortiz, R, (1983), *Utilización de descriptores en la caracterización de líneas de Capsicum*, Perú: UNA,

R, G, (2011), *Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de Capsicum chinense Jacq, y su relación con el desarrollo de Bemisia tabaci Genn, Trop, Subtrop, Agroecosyst*,14:1039-1045,

Rahman, & Perera, (2007), *El secado y la conservación de los alimentos*, Manual de conservación de alimentos Rahman, MS ed, segunda edición, pag, 403-432,

Raoult, & Wack, (1994), *Recent advances in the osmotic dehydration of foods*, Trends Food Sci, Technol,5: 255-260,

Rastogi, & Raghavarao, (1997), *Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration*, pp, 429–440,

S., B, (2007), *Mass transfer kinetics and determination of effective diffusivity during convective dehydration of pre-osmosed carrot cubes*, J, food, Estados unidos: J 79: 459–470,

Saavedra, H, (2011), *Análisis de la cadena de Valor del Ají Charapita (Capsicum, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina*,

Sacchetti, (2001), *Los efectos combinados salados en la sacarosa en argén del masstransfer Kinetics*,

Saurel, R, (1994), *Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I, Fresh plant tissue* , Francia : Universite' de Montpellier 11,

Singh, (2007), *Aspectos nutricionales de la extrusión de alimentos: una revisión*,

Taiwo, B, (2007), *Efectos de los pre-tratamientos sobre la contracción y propiedades texturales de batatas fritas*, Estados Unidos: Pp: 283-321,

Thampi, (2003), *A glimpse of the world trade in Capsicum*, En: Krishna De, A, (Eds.), Pp: 16-24,

Tiroutchelvame, D, (2015), *Retracted: Optimization of Mass Transfer Parameters during Osmotic Dehydration of Momordica Charantia Slices*, India: Karunya University, Coimbatore,

Tocci, & Mascheroni, (2008), *Algunos Propert térmicas s del fresco y osmóticamente kiwi deshidratado arriba y debajo de la temperatura inicial de congelación*, vol, 88, No, 1, pp,20-27,

TORREGGIANI, (1993), *Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing*, Estados Unidos : p, 59-68,

WA, L, (2011), *Análisis de la Cadena de Valor del Rocoto (Capsicum pubescens)*, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina,

Wang, (2005), *Drying characteristics & drying quality of carrot using a two-stage microwave process*

ANEXOS

Anexo 1: Tipos de ajíes producidos por región en el Perú

LAS REGIONES DEL AJÍ

Los ajíes se cultivan en todas las regiones del Perú. Sus características especiales se reflejan en la gastronomía típica de cada lugar.

AMARILLO
Ají muy aromático, con forma de vaina y de color anaranjado.
Ubicación: se cultiva en toda la costa, desde Lambayeque hasta Tacna.
Gastronomía: ají de gallina, causa limeña, cau cau, arroz con pollo.

ROCOTO DE MONTE
De tamaño grande. Carnoso, jugoso y de color rojo.
Ubicación: se cultiva mayormente en la selva central, de donde se lleva a Arequipa para el rocoto relleno.
Gastronomía: rocoto relleno.

ARNAUCHO
Ají pequeño muy picante, semejante al limo pero un poco más grueso, de colores amarillo, rojo, blanco o morado.
Ubicación: Norte Chico (Ibarra, Huacho, Supe y Casma).
Gastronomía: cebiche.

CHARAPITA
Pequeño, muy picante y de color mayormente amarillo.
Ubicación: toda la sierra, principalmente San Martín.
Gastronomía: ají de cocoma, patarashca, patacones, tacacho, juane.

ROCOTO SERRANO
Es el ají que crece a mayor altura en los Andes, de tamaño mediano, fuerte picor, forma parecida al pimiento y de color rojo, amarillo o anaranjado.
Ubicación: toda la sierra, especialmente Arequipa.
Gastronomía: solterito, escribano, cebador, torreja, adobo, caucho, chupe, tarza, almendrado, ocapa, batido, chaque.

MUCHERO
Originario del valle de Moche, de aroma cítrico, de mediano tamaño, parecido al ají limo y de color amarillo o verde.
Ubicación: La Libertad.
Gastronomía: cebiche a la trujillana, cangrejo reventado, shímbar.

PANCA
Ají colorado que se ha dejado secar al sol. Tiene un suave sabor picante y un color rojo oscuro.
Ubicación: costa central del Perú.
Gastronomía: chupe, adobo, escabeche, patita con maní, carapucra con soya seca, pachamanca y panhuela.

LIMO
Ají de tamaño mediano y bastante picante, aromático y de color amarillo, verde, rojo o lila.
Ubicación: Lambayeque, Piura y Tumbes.
Gastronomía: principalmente cebiche y tiradito.

CEREZO
Ají pequeño, redondo, similar en forma y en color a la cereza, bastante picante y de color rojo cuando está maduro.
Ubicación: Lambayeque.
Gastronomía: espesado, sudado, apatadito, arroz con pato, chingurito, causa ferreñafana, cabrito con frijoles, sopa de choros, pepián de pavita, chimpico.

MIRASOL
Ají amarillo que ha pasado por un proceso de secado al sol, tras lo cual recibe este nombre. Aromático y de sabor concentrado.
Ubicación: Ancash, Lima, Arequipa, Moquegua y Tacna.
Gastronomía: aderezos y guisos.

PÍPI DE MONO
Ají pequeño, de sabor intenso, muy picante y de color rojo.
Ubicación: Originario de la montaña, pero se siembra muy bien en la costa.
Gastronomía: salsas y encurtidos.

AJÍES EN EL MUNDO
Lo cultivan mayormente pequeños productores, sin embargo, en algunas regiones como el sur de Estados Unidos, lo hacen en grandes extensiones. Es la principal especia en el mundo.

■ Principales países productores de ají. ■ Regiones con alto consumo de ají.

GASTRONOMÍA
El ají, en sus diferentes variedades, tiene una presencia muy fuerte en la gastronomía de todo el Perú. Su cultivo y uso ancestrales lo han hecho imprescindible en la sazón regional peruana.

Amarillo | Cau cau

Limo | Cebiche

Charapita | Patarashca

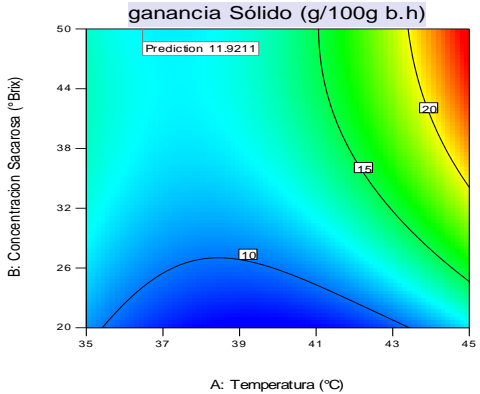
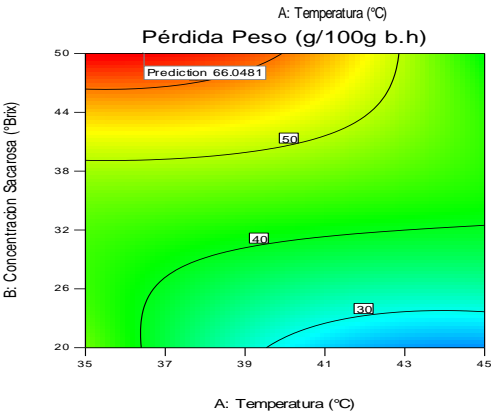
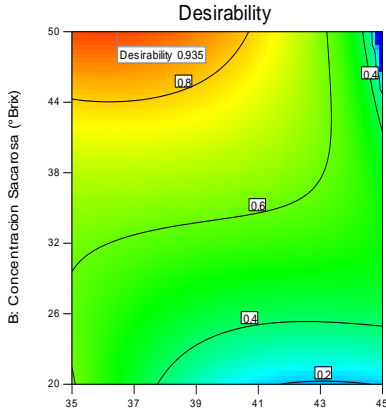
Rocoto serrano | Escribano

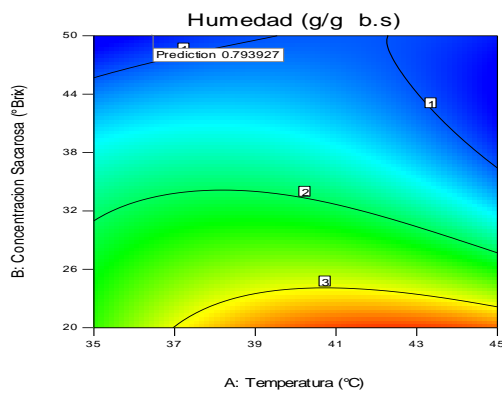
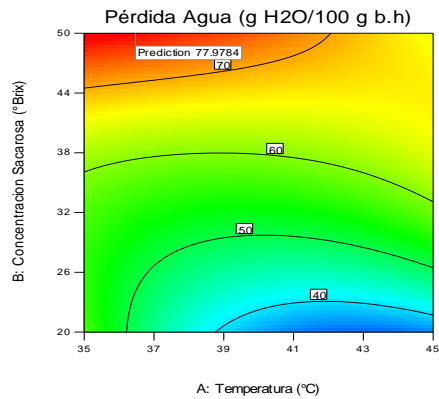
Mirasol | Tamales

Panca | Adobo de chuncho

Fuente: Programa de Horticultura, UNALVI | Infografía: Creatix

Anexo 2: Optimización sin restricciones y multirespuestas

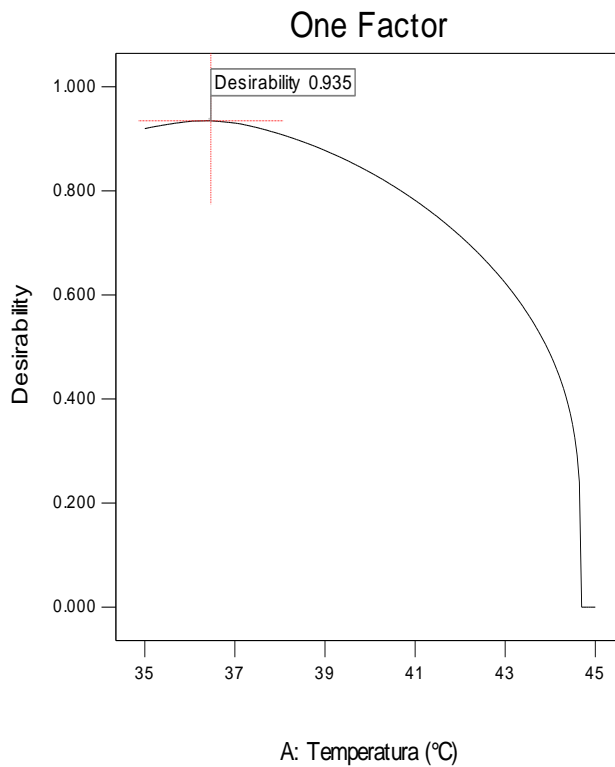




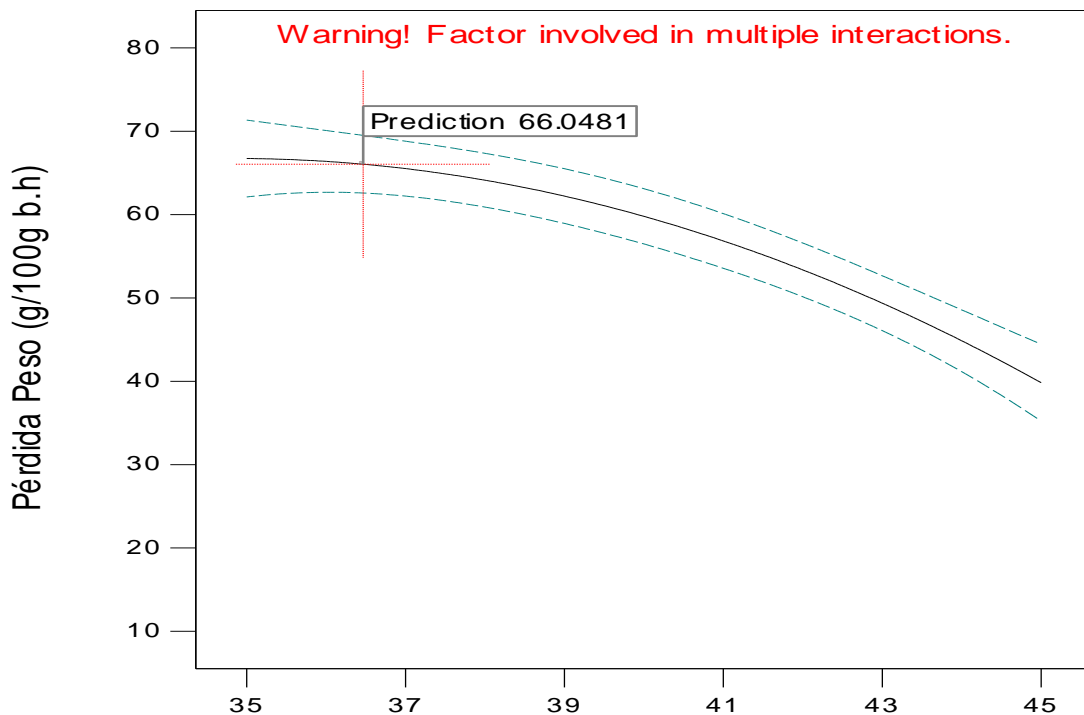
Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual
All Responses

X1 = A: Temperatura

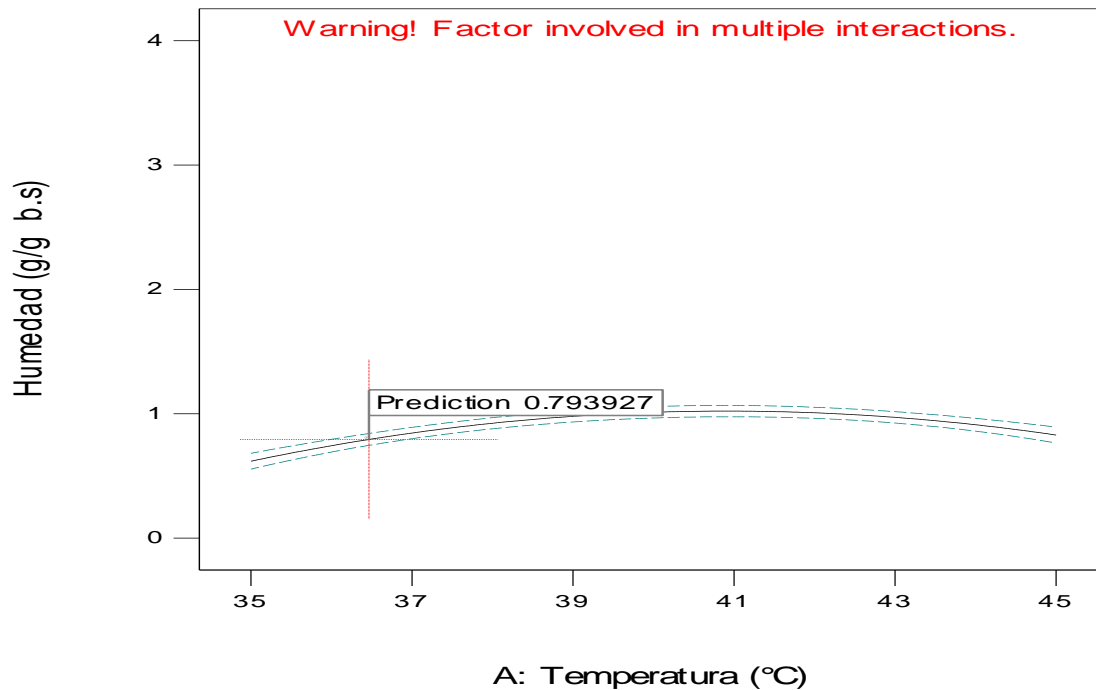
Actual Factors
B: Concentracion Sacarosa = 50
C: Relacion SO:M = 22.1518



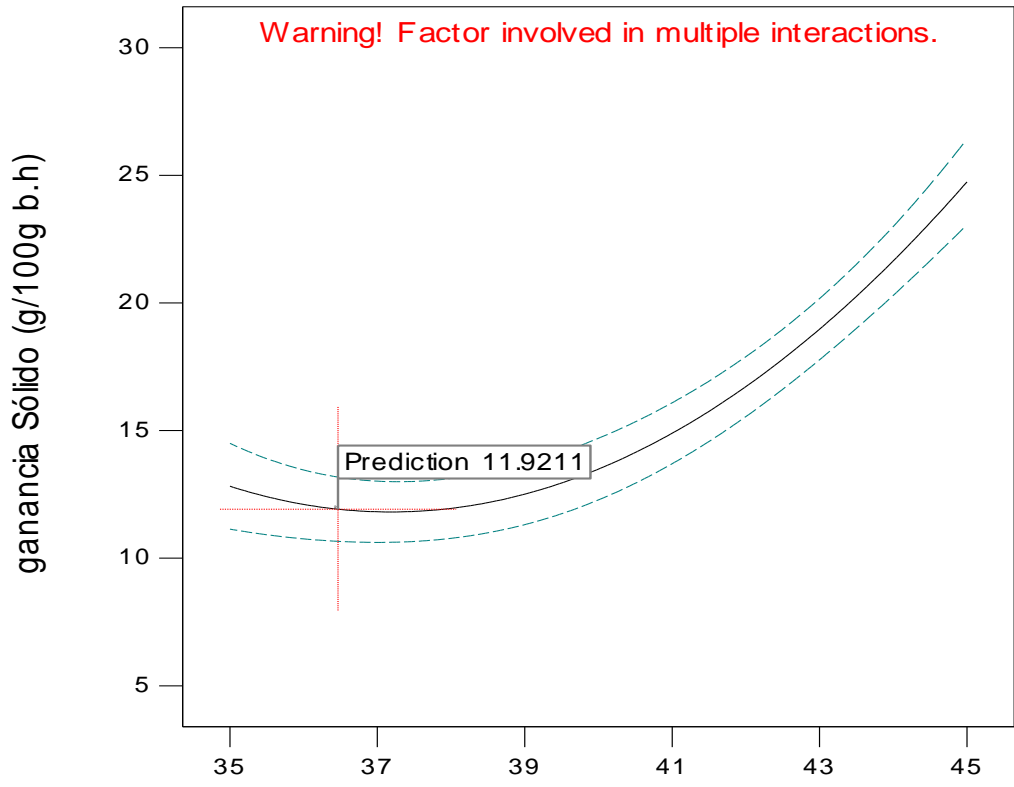
One Factor



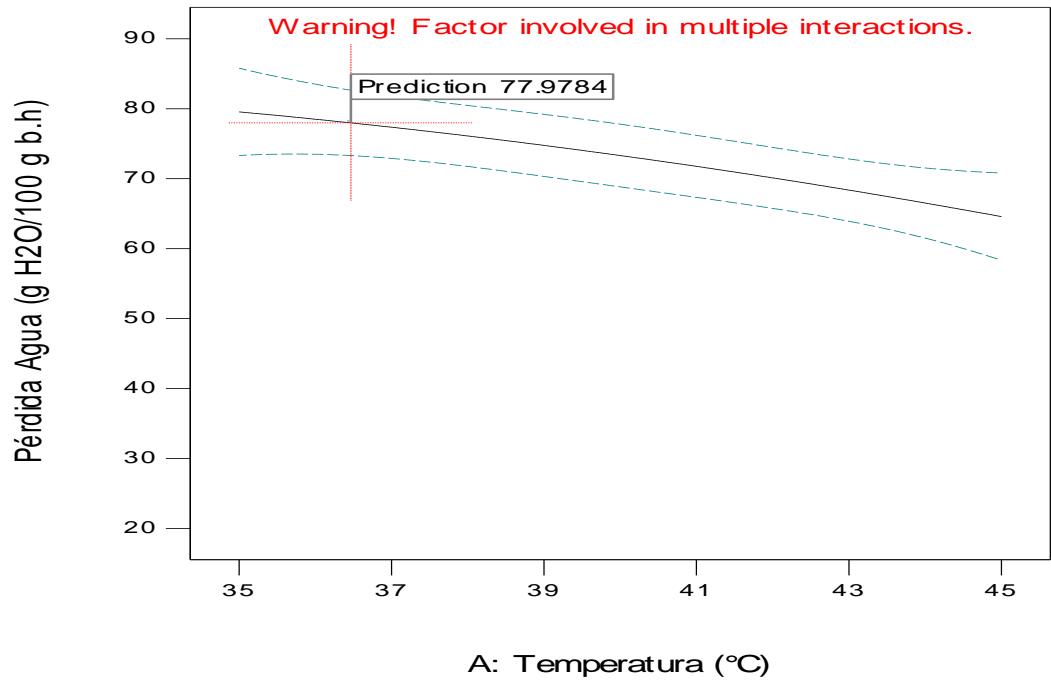
One Factor



One Factor



One Factor



A: Temperatura (°C)

Anexo 3, Iteraciones entre las variables independientes para encontrar las condiciones optimizadas,

Number of Starting Points: 113

Temperatura (°C)	Concentración Sacarosa (°Brix)	Relación SO:M
45	50	20
45	35	15
40	50	25
40	20	25
40	35	20
45	35	25
40	50	15
40	20	15
45	20	20
35	35	15
35	35	25
35	50	20
35	20	20
36,4808	21,6243	18,9093
36,6447	25,7892	16,5289
35,121	42,0628	20,2535
35,7406	33,9425	22,4844
35,1094	48,0234	21,7229
36,5194	28,3291	19,2689
41,5732	37,7427	22,932
38,1014	48,376	17,2209
41,2405	24,3955	19,6602
41,1529	26,3358	15,8465
37,0255	26,7299	20,9116
37,7775	30,8709	19,4983
41,3672	29,5232	21,4593
40,0769	28,9596	20,7704
39,0185	37,2439	19,8227
43,5548	23,0491	22,1463
41,6005	42,0663	21,1889
36,5825	31,4437	24,3967
40,1864	40,2968	22,3176
41,769	43,2002	23,0052
39,9902	34,7615	18,8373
43,7185	21,7739	17,2633
38,3049	35,4497	22,4815
36,1282	45,9237	21,6784

42,4889	29,0192	19,8639
37,4953	47,6817	16,8925
44,9156	37,1796	19,5582
42,9397	24,9164	21,0824
42,3411	37,4188	23,0973
35,9105	49,3341	24,3935
40,9039	24,4717	23,8853
42,1029	24,8628	16,065
35,2026	28,2939	20,557
35,9427	47,0437	18,7358
42,8808	44,3067	23,2793
41,3409	25,7944	24,1859
41,5683	30,502	17,3067
39,9998	32,1216	22,4411
43,8045	43,3937	16,5842
41,1876	29,3976	20,601
37,5392	36,1239	20,0915
39,6697	24,3263	16,2742
37,2901	41,8231	21,0931
37,1599	46,4346	15,8502
39,6947	20,5117	17,8616
41,3543	47,3161	16,7383
43,6645	32,3196	16,7055
38,8633	33,5445	21,3864
39,8356	26,6493	15,4575
38,0899	49,1212	24,9462
38,8263	33,8412	24,681
41,6195	49,9606	15,8932
37,9369	45,8726	20,1216
38,2085	47,7664	22,5814
44,8361	46,5656	21,298
38,9647	26,3771	17,6852
42,3287	46,267	21,1261
39,3168	40,9864	17,1949
44,2911	39,4766	20,9608
39,9698	44,5791	18,5532
41,3402	46,8424	15,1054
44,442	21,8121	17,1646
44,6595	27,9255	18,6311
43,0278	32,0002	18,9696
39,5487	23,8468	15,7411
36,8168	40,8281	23,3103
37,5122	43,8732	21,0433

37,5074	29,129	15,6575
37,1995	31,7699	15,9822
41,379	27,3408	22,4141
37,23	29,602	16,5078
39,6469	33,4677	23,6741
39,8873	42,1678	21,5158
40,7719	38,6961	15,254
44,3595	35,6123	24,553
41,6746	21,6548	16,7288
42,7391	42,3563	20,3165
38,4023	27,2487	24,6736
41,181	37,418	21,9708
42,9325	48,9297	23,6974
35,9761	45,0525	17,4029
41,8987	34,5765	17,4834
35,1217	46,0436	20,8721
42,607	33,9741	15,9817
41,0289	25,5459	23,3098
42,1934	24,7192	20,7641
37,586	46,175	19,2754
37,0573	41,2907	20,9849
35,41	22,6292	19,3967
41,1821	36,3561	15,9997
38,3592	33,6031	21,5934
36,2801	46,4796	15,4964
37,0934	24,4832	19,9702
43,6716	43,125	23,0178
41,2222	30,9306	20,9648
44,2837	43,4661	16,5963
38,3488	32,1442	17,7482
39,1113	36,3896	16,4329
44,3322	28,2449	19,1561
41,9297	44,5055	17,5138

Fuente: Elaborado por el autor (2017),

Anexo 4: Registro fotográfico,



Anexo 5: Certificaciones de análisis químico de las muestras



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
INFORME DE ANÁLISIS NRO563-16-IAQ

SOLICITANTE: FELIPE BAUTISTA FERRO
 MUESTRA : AJI DULCE FRESCO
 VARIEDAD : ROSITA
 FECHA : 0/05/08/2016

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

Humedad %	86.40	NTP 206.011
Proteína %	0.96	AOAC 935.390
Grasa %	0.68	NTP 206.017
Ceniza %	0.71	AOAC 935.39B
Fibra %	1.44	FAO 14/7
Carbohidratos %	11.25	Diferencia

Cusco, 15 de Agosto 2016




UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
INFORME DE ANÁLISIS NRO564-16-IAQ

SOLICITANTE: FELIPE BAUTISTA FERRO
 MUESTRA : AJI DULCE DESHIDRATADO
 VARIEDAD : ROSITA
 FECHA : 0/05/08/2016

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

Humedad %	2.75	NTP 206.011
Proteína %	6.46	AOAC 935.390
Grasa %	4.72	NTP 206.017
Ceniza %	5.01	AOAC 935.39B
Fibra %	10.77	FAO 14/7
Carbohidratos %	81.06	Diferencia

Cusco, 15 de Agosto 2016

