

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias  
Alimentarias**



**TESIS.**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**GANANCIA DE SÓLIDOS, PÉRDIDA DE AGUA Y TEXTURA  
DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL YACÓN  
(*Smallanthus sonchifolius*) EVALUADO A DIFERENTES  
PRESIONES Y TEMPERATURAS**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER: NÚÑEZ MEJÍA, Edith María de los Angeles**

**ASESOR: ING. SANGAY TERRONES, Max Edwin**

**CAJAMARCA- PERÚ**

**-2018-**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En Cajamarca a los 20 días del mes de Diciembre del año 2018, se reunieron en el ambiente 2H-205 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del jurado designados por Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 534-2018-FCA-UNC, Fecha 14 de noviembre del 2018, con el objetivo de evaluar la sustentación de la Tesis titulada: **“GANANCIA DE SÓLIDOS, PÉRDIDA DE AGUA Y TEXTURA DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EVALUADO A DIFERENTES PRESIONES Y TEMPERATURAS”**, la misma que fue sustentada por el Bachiller en **INDUSTRIAS ALIMENTARIAS, NÚÑEZ MEJÍA EDITH MARÍA DE LOS ANGELES**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las doce horas y catorce minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición de la Tesis, formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado; el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad con el calificativo de dieciseis (16) con fines de Titulación correspondiente.

Por lo tanto, el graduando queda expedito para que se le expida el Título Profesional correspondiente.

A las trece horas y cuarentaidos minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 20 de Diciembre de 2018.

-----  
**Dr. Juan Francisco Seminario Cunya**

**PRESIDENTE**

-----  
**Ing. José Gerardo Salhuana Granados**

**SECRETARIO**

-----  
**Ing. Jimmy Oblitas Cruz**

**VOCAL**

-----  
**Ing. Max Edwin Sangay Terrones**

**ASESOR**

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de investigación a Dios, por haber estado conmigo a cada paso que doy, por darme fuerzas y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres que son el pilar fundamental de mi vida. Que, con su amor, paciencia, confianza siempre me apoyaron. A mis hermanos que con su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso siempre han estado conmigo con sus consejos y palabras de aliento. A todos los ingenieros que me apoyaron y guiaron siempre para continuar con este trabajo de investigación.*

***Edith María de los Angeles Núñez Mejía***

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Max Sangay Terrones, mi asesor un especial agradecimiento porque confió en mí, por su orientación, sus consejos y apoyo que me brindo durante la realización del trabajo de investigación.

Al Ing. Misael Humberto Valdez Yopla mi más amplio agradecimiento por su valiosa dirección y apoyo en la parte estadística de mi trabajo de investigación para así llegar a la conclusión de la misma.

A la Universidad Nacional de Cajamarca escuela académico profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias y a todos los docentes, por formarme con excelencia, ética y profesionalismo.

***Edith María de los Angeles Núñez Mejía***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	11
ABSTRAC .....	12
1. INTRODUCCIÓN .....	13
1.1. Problema de la investigación .....	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Objetivo de la investigación .....	17
1.3.1. Objetivos específicos.....	17
1.4. Hipótesis de la investigación .....	17
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	18
2.1. Antecedentes de la investigación .....	18
2.2. Bases teóricas.....	20
2.2.1. Definición del yacón ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> ).....	20
2.2.2. Deshidratación osmótica .....	24
2.2.3. Deshidratación osmótica con pulsos de vacío.....	31
2.2.4. Impregnación al vacío .....	32
2.2.5. Deshidratación osmótica y métodos combinados.....	37
2.2.6. Transferencia de masa .....	38
2.2.7. El agua en los alimentos .....	38
2.2.8. Ventajas de la deshidratación osmótica para la industria .....	40
2.2.9. Metodología de superficie de respuestas. ....	41
3.1.1. Diseño Box-Behnken.....	41
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	42
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	42
3.2. Materiales.....	42
3.2.1. Material biológico. ....	42
3.2.2. Material de campo .....	42

3.2.3.	Material y equipo de laboratorio .....	43
3.3.	Metodología .....	44
3.3.1.	Trabajo de laboratorio .....	44
3.3.2.	Trabajo de gabinete .....	57
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	59
4.1.	Determinación de ganancia de sólidos en las rodajas de yacón .....	59
4.1.1.	Análisis de varianza (ANOVA) para la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón durante la deshidratación osmótica. ....	59
4.1.2.	Análisis de Pareto para la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón .....	60
4.1.3.	Optimización de la ganancia de sólidos solubles en el proceso de osmodeshidratación de las rodajas de yacón .....	61
4.1.4.	Variación de la ganancia de sólidos en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón. ....	64
4.2.	Determinación de la humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas .....	66
4.2.1.	Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de pérdida de humedad en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón .....	66
4.2.2.	Análisis de Pareto para la pérdida de humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas .....	68
4.2.3.	Optimización del porcentaje de pérdida de humedad en el proceso de osmodeshidratación de las rodajas de yacón .....	69
4.2.4.	Variación de humedad en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón	72
4.3.	Determinación de pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas .....	73
4.3.1.	Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de pérdida de agua en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón .....	73
4.3.2.	Análisis de Pareto para la pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas .....	75
4.3.3.	Optimización del porcentaje de pérdida de agua en el proceso de osmodeshidratación de las rodajas de yacón .....	76

4.3.4. Variación del porcentaje de pérdida de agua en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón.....	78
4.4.1. Análisis de Varianza (ANOVA) para textura en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón.....	81
4.4.2. Análisis de Pareto para la textura en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.....	82
4.4.3. Optimización de la textura en el proceso de osmodeshidratación de las rodajas de yacón .....	82
4.4.4. Variación de la textura en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón	85
5. CONCLUSIONES.....	87
6. RECOMENDACIONES.....	88
7. BIBLIOGRAFÍA.....	89
8. ANEXOS .....	94
Análisis de textura para los diferentes tratamientos. ....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición química del yacón en tres estados de madurez .....	21
<b>Tabla 2.</b> Composición de carbohidratos del yacón en tres estados de madurez .....	22
<b>Tabla 3.</b> Usos y ventajas de algunos solutos osmóticos comúnmente utilizados en la deshidratación osmótica. ....	27
<b>Tabla 4.</b> Variables y niveles para el diseño experimental. ....	45
<b>Tabla 5.</b> Matriz del diseño experimental para la deshidratación osmótica .....	45
<b>Tabla 6.</b> Diseño experimental para la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón adaptado de (Rojas 2015) .....	49
<b>Tabla 7.</b> Análisis de varianza (ANOVA) del diseño de superficie de respuesta Box-Behnken, para la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón .....	60
<b>Tabla 8.</b> Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para el porcentaje de ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón osmodeshidratadas .....	63
<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza (ANOVA) del diseño de superficie de respuesta Box-Behnken, para la pérdida de humedad .....	67
<b>Tabla 10.</b> Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para el porcentaje de pérdida de humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas .....	71
<b>Tabla 11.</b> Análisis de varianza (ANOVA) del diseño de superficie de respuesta Box-Behnken, para la pérdida de agua .....	74
<b>Tabla 12.</b> Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para el porcentaje de pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas .....	78
<b>Tabla 13.</b> Análisis de varianza (ANOVA) del diseño de superficie de respuesta Box-Behnken, para textura. ....	81
<b>Tabla 14.</b> Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para la textura en las rodajas de yacón osmodeshidratadas .....	84



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.</b> Representación esquemática del mecanismo hidrodinámico de un poro ideal con impregnación al vacío (Cortés 2014) .....	35
<b>Figura 3.</b> Base teórica del mecanismo hidrodinámico de un poro ideal (Cortés 2014). .....	36
<b>Figura 4.</b> Flujograma de la deshidratación osmótica del yacón. Adaptado de (Vilca 2015). .....	52
<b>Figura 5.</b> Pelado de las raíces de yacón.....	54
<b>Figura 6.</b> Corte de la raíz de yacón en rodajas. ....	54
<b>Figura 7.</b> Equipo acondicionado para la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón.....	55
<b>Figura 8.</b> Toma de muestras de las rodajas e yacón.....	55
<b>Figura 9.</b> Pesado de las muestras después de ser sometidas a deshidratación osmótica .....	56
<b>Figura 10.</b> Desecación de las muestras en estufa.....	56
<b>Figura 11.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón osmodeshidratadas .....	61
<b>Figura 12.</b> Diagrama de superficie de respuesta para la ganancia de sólidos en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.....	62
<b>Figura 13.</b> Ganancia de sólidos para las rodajas de yacón a diferentes concentraciones, presiones de vacío y temperatura con respecto al tiempo .....	64
<b>Figura 14.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la pérdida de humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas. ....	69
<b>Figura 15.</b> Superficie de respuesta para optimizar el porcentaje de pérdida de humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas .....	70
<b>Figura 16.</b> Pérdida porcentual de humedad para las rodajas de yacón a diferentes concentraciones, presiones de vacío y temperatura con respecto al tiempo .....	72
<b>Figura 17.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.....	76
<b>Figura 18.</b> Superficie de respuesta para optimizar el porcentaje de pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas. ....	77
<b>Figura 19.</b> Pérdida porcentual de agua, para las rodajas de yacón a diferentes concentraciones, presiones de vacío y temperatura con respecto al tiempo. ....	79

<b>Figura 20.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para la textura en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.....	82
<b>Figura 21.</b> Diagrama de superficie de respuesta para la textura en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.....	83
<b>Figura 22.</b> Carga de activación para la rotura de las rodajas de yacón a diferentes concentraciones, presiones de vacío y temperatura .....	85

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C=30°Brix, T=40°C, y P=200mbar .....	94
<b>Anexo 2.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C=20°Brix, T=30°C, P=200mbar .....	94
<b>Anexo 3.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C=40°Brix, T=30°C y P=200mbar .....	94
<b>Anexo 4.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C=30°Brix, T=40°C y P=200 mbar .....	95
<b>Anexo 5.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 40°Brix, T=50°C y P=200mbar .....	95
<b>Anexo 6.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 20°Brix, T=40°C y P=100mbar .....	95
<b>Anexo 7.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 40°Brix, T=40°C y P=100mbar .....	96
<b>Anexo 8.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix, T=40°C y P=200mbar .....	96
<b>Anexo 9.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 20°Brix, T=40°C y P=300mbar .....	97
<b>Anexo 10.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 40°Brix, T=40°C y P=300mbar .....	97
<b>Anexo 11.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix, T=30°C y P=100mbar .....	97
<b>Anexo 12.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix, T=50°C y P=100mbar .....	98
<b>Anexo 13.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix, T=30°C y P=300mbar .....	98
<b>Anexo 14.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix, T=30°C y P=300mbar .....	98
<b>Anexo 15.</b> Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix, T=40°C y P=200mbar .....	99
<b>Anexo 16.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=40°C y P= 200mbar después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	99

<b>Anexo 17.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 20 °Brix, T=30°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	100
<b>Anexo 18.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 40 °Brix, T=30°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	101
<b>Anexo 19.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 20 °Brix, T=50°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	102
<b>Anexo 20.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 40 °Brix, T=50°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	103
<b>Anexo 21.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 20 °Brix, T=40°C y P= 100 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	104
<b>Anexo 22.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 40 °Brix, T=40°C y P= 100 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	105
<b>Anexo 23.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=40°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	106
<b>Anexo 24.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 20 °Brix, T=40°C y P= 300 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	107
<b>Anexo 25.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 40 °Brix, T=40°C y P= 300 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	108
<b>Anexo 26.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=30°C y P= 100 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	109
<b>Anexo 27.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=50°C y P= 100 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	110
<b>Anexo 28.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=30°C y P= 300 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	111
<b>Anexo 29.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=50°C y P= 300 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	112
<b>Anexo 30.</b> Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=40°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica .....	113
<b>Anexo 31. Panel de fotos de investigación .....</b>	<b>115</b>

## RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la ganancia de sólidos, pérdida de agua, humedad y textura durante la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*), aplicando diferentes presiones con pulsos de vacío de 100, 200, 300 mbar y temperaturas de 30, 40, 50 °C. La deshidratación osmótica se realizó en rodajas de yacón de 0.3 cm. de espesor y 5 cm de diámetro; se deshidrató osmóticamente, utilizando como agente osmótico, sacarosa. El proceso se realizó aplicando las presiones, por cada 10 minutos, luego se restableció a presión atmosférica por otros 10 minutos, en un tiempo de 2:30 horas. La relación muestra/solución fue de 1:5, usando soluciones de 20, 30 y 40 °Brix. Las condiciones optimizadas a través de la metodología de superficie de respuesta muestran que se puede obtener una ganancia de sólidos de 24.44 °Brix con concentración de solución osmótica de 40°Brix, aplicando temperatura de 50°C y presión de pulsos de vacío de 248.22 mbar, una pérdida de agua máxima de 48.89% con concentración de solución osmótica de 40°Brix, con temperatura de 50°C y presión de 102 mbar, una humedad máxima de 29.51 % con concentración de solución osmótica de 40 °Brix, con temperatura 48.70 °C y presión de pulsos de vacío de 110.8 mbar. Para la textura óptima de cada rodaja de yacón se necesitó carga máxima de 1913.06 g. con concentración de 20°Brix aplicando temperatura de 49.99°C y presión de 101.887 mbar.

**Palabras claves:** Deshidratación osmótica, concentración, temperatura, pulsos al vacío, yacón.

## **ABSTRAC**

The objective of the research work was to evaluate the gain of solids, loss of water, moisture and texture during the osmotic dehydration of the yacon slices (*Smallanthus sonchifolius*), applying different pressures with vacuum pulses of 100, 200, 300 mbar and temperatures of 30, 40, 50 ° C. The osmotic dehydration was carried out in slices of yacón of 0.3 cm. of thickness and 5 cm of diameter; It was dehydrated osmotically, using as an osmotic agent, sucrose. The process was carried out applying the pressures, for every 10 minutes, then it was restored to atmospheric pressure for another 10 minutes, in a time of 2:30 hours. The sample / solution ratio was 1: 5, using solutions of 20, 30 and 40 ° Brix. Optimized conditions through the response surface methodology show that a solids gain of 24.44 ° Brix can be obtained with an osmotic solution concentration of 40 ° Brix, applying a temperature of 50 ° C and vacuum pulse pressure of 248.22 mbar , a maximum water loss of 48.89% with an osmotic solution concentration of 40 ° Brix, with a temperature of 50 ° C and a pressure of 102 mbar, a maximum humidity of 29.51% with an osmotic solution concentration of 40 ° Brix, with a temperature of 48.70 ° C and vacuum pulse pressure of 110.8 mbar. For the optimum texture of each slice of yacon, a maximum load of 1913.06 g was needed. with concentration of 20 ° Brix applying temperature of 49.99 ° C and pressure of 101.887 mbar.

**Key words:** Osmotic dehydration, concentration, temperature, vacuum pulses, yacon.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país productor de frutas y hortalizas debido a su gran diversidad climatológica, lo que ayuda a la siembra de una gran diversidad de productos como por ejemplo el yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es una planta andina, de agradable sabor dulce y refrescante. Esta característica se debe a que el yacón almacena sus carbohidratos principalmente en forma de fructooligosacáridos (oligofructanos), es una raíz que tiene muchas ventajas que podrían explotarse.

Desde hace algunos años la agroindustria viene enfrentando el desafío de prolongar la vida útil de una creciente diversidad de frutas y vegetales. Una de las alternativas es la deshidratación osmótica (D.O). Ésta es una tecnología de preservación que reduce las pérdidas poscosecha y proporciona una opción para transformarla, utilizando materiales comerciales y de fácil adquisición. El proceso aumenta en cierta forma la vida útil del alimento, pero no lo preserva (Pérez 2016)

Durante el proceso de deshidratación por osmosis se observan dos tipos básicos de transferencia de masa que ocurren simultáneamente: Salida de agua libre del producto a la solución hipertónica y salida de soluto de la solución para ingresar al producto. A través de esta transferencia es posible introducir una cantidad de un principio activo, un agente conservante, o cualquier otro soluto de interés nutricional capaz de conferir al producto una mejor calidad sensorial. (Barbosa et al. 2000)

La mayor resistencia a la transferencia de masa en los productos deshidratados osmóticamente se localiza en la membrana celular semipermeable. A través de la cual es posible la transferencia de agua, sales, y azúcares (sacarosa). Las variables de proceso que son, concentración de la solución osmótica, el tipo de soluto, la temperatura, la presión, los tiempos de residencia, el tipo de tejido, han sido estudiadas extensamente ya que todas tienen una considerable influencia en la velocidad de la transferencia de masa. (Rastogi et al. 2002)

Se ha estudiado el comportamiento de transferencia de masa al aplicar pulsos de vacío, temperaturas y concentraciones diferentes, durante la

deshidratación osmótica, que bajo estas condiciones establece la pérdida de agua del producto, la humedad, la absorción de solutos externos y como modifica la textura. Los tratamientos osmóticos han sido generalmente aplicados para la remoción de agua; pero también esto es posible para que el alimento se impregne de compuestos que podrían modificar sus propiedades, sensoriales o funcionales y así poder obtener productos de mejor calidad.



## 1.1. Problema de la investigación

El agua es el principal componente de los alimentos. Ésta ayuda a mantener su frescura, sabor, textura y color. Además de conocer el contenido de agua o humedad de un alimento es imprescindible conocer si el agua está disponible para ciertas reacciones bioquímicas, enzimáticas, microbianas, o bien interactuando con otros solutos presentes en el alimento como proteínas, carbohidratos, lípidos y vitaminas (Lemus et al. 2006)

El yacón es una de las raíces comestibles con mayor contenido de agua. Según diversos autores, entre el 83 y 90 % del peso seco de las raíces es agua. En términos generales los carbohidratos representan alrededor del 90 % del peso seco de las raíces recién cosechadas, de los cuales entre el 50 y 70 % son fructooligosacáridos (FOS). El resto de carbohidratos lo conforma la sacarosa, fructosa y glucosa (Seminario et al. 2003)

El agua es uno de los componentes mayoritario de los alimentos y además afecta directamente a la calidad y seguridad, ya que controla muchos de los cambios fisicoquímicos y bioquímicos. Por ello, eliminar el agua es el principio más importante de la Deshidratación Osmótica (DO). Por la cantidad de agua que contiene el yacón es bastante susceptible a la deshidratación cuando sus raíces son cosechadas y almacenadas por largos periodos de tiempo, éstas como consecuencia de la deshidratación pierden peso y adquieren una apariencia rugosa, menos atractiva para el consumidor (Duque et al. 2007)

El Perú, tiene todas las condiciones necesarias para la producción de yacón, por ello se hace necesario realizar investigación para desarrollar técnicas de conservación. Los métodos convencionales de conservación en ocasiones pueden causar deterioro de los atributos sensoriales y también la degradación de las propiedades nutricionales. Por ello, en las últimas décadas, se ha desarrollado una gran diversidad de métodos de procesamiento que permiten obtener productos con apariencia fresca y con un alto valor nutricional (Duque et al. 2007)

La deshidratación osmótica (DO), permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en unas soluciones hipertónicas de

azúcares y/o sales, sin dañar el alimento y afectar desfavorablemente su calidad. A medida que deshidratamos osmóticamente el alimento, se producen cambios en la composición y propiedades del mismo tales como propiedades ópticas y mecánicas, dependiendo de las condiciones del proceso y de las características del producto (Duque et al. 2007)

El yacón es muy susceptible a deshidratación por lo que para prolongar la vida útil y conservación se tiende a utilizar técnicas de procesamiento que conserven las características sensoriales y fisicoquímicas similares a las del fruto fresco. El presente estudio plantea profundizar tecnologías de conservación de yacón, sometiéndolo a deshidratación osmótica con diferentes temperaturas y presiones a pulsos de vacío con la finalidad de evaluar la ganancia de sólidos, pérdida de agua, humedad, y su textura final.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la ganancia de sólidos, pérdida de agua, humedad y textura, durante la deshidratación osmótica del yacón (*Smallanthus sonchifolius*), evaluados a diferentes presiones y temperaturas?

### **1.3. Objetivo de la investigación**

- Determinar la ganancia de sólidos, pérdida de agua, humedad y textura en la deshidratación osmótica (DO) del yacón (*Smallanthus sonchifolius*), evaluados a diferentes presiones de 100, 200, 300 mbar y temperaturas de 30, 40, 50 °C.

#### **1.3.1. Objetivos específicos**

- Evaluar la ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica del yacón.
- Evaluar el porcentaje de agua que se pierde durante la deshidratación osmótica de yacón
- Evaluar el porcentaje de humedad durante la deshidratación osmótica del yacón.
- Evaluar la textura durante la deshidratación osmótica del yacón

### **1.4. Hipótesis de la investigación**

**Ho.** El empleo de las diferentes presiones y temperaturas ejerce un efecto positivo sobre la ganancia de sólidos, pérdida de agua, humedad y textura en la deshidratación osmótica del yacón.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1. Antecedentes de la investigación

Ventura *et al.* (2003), optimizaron un proceso de deshidratación osmótica de yacón observando un máximo de pérdida de humedad y una mínima incorporación de sólidos. Fueron estudiadas las tasas de concentración de sorbitol entre 53 y 73 °Brix temperaturas de 30 y 45 °C, tiempo de proceso entre 60 y 180 minutos. Las condiciones optimizadas a través de la metodología de superficie de respuesta fueron de 30 y 33 °C para la temperatura del proceso, concentración de la solución de 63 a 69 °Brix y tiempo de 84 a 89 minutos, a esas condiciones se obtuvieron pérdidas de humedad del orden de 53 a 55 % e incorporación de sólidos de 6,02 a 6,46 %.

Ordóñez y López (2002) plantearon industrializar manzanas osmodeshidratadas en rodajas con solución de sacarosa de 65 °Brix, por 4 horas a temperaturas de 20, 30 y 40 °C. Se estudió los parámetros de reducción de peso, de agua y ganancia de sólidos. Luego de la deshidratación, se secó el producto con aire caliente a 70 °C. Se realizaron pruebas fisicoquímicas antes y después del proceso de deshidratación osmótica y secado. Los resultados fueron que la presión y la temperatura influyeron en la deshidratación osmótica de rodajas de manzana. La evaluación sensorial no indicó diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, el producto obtenido a una temperatura de 40 °C, tuvo mejor aceptación. En general, la deshidratación osmótica mejoró los atributos de los productos.

Carhuajulca (2016), en su estudio de deshidratación osmótica utilizaron trozos de papaya de 7\*7mm y 10\*10mm, estos fueron sometidos a un proceso de osmodeshidratación usando como agente edulcorante: la sacarosa en medio acuosa final 72 °Brix, a temperatura final de 100°C y 12 horas de inmersión por cambio. Los resultados estadísticos mostraron que los trozos de 7\*7mm tienen mayor capacidad osmodeshidratante y el menor trozos de 10\*10mm. Los análisis cinéticos indicaron que la máxima transferencia de masa ocurre en las primeras cuatro horas del proceso y la máxima pérdida de masa del producto que fue alcanzada es de 32 % con un contenido de humedad final

en los frutos de papaya osmodeshidratada de 41,3. El tiempo de proceso y la relación materia prima/solución se determinaron mediante pre-ensayos, siendo 12 horas y relación 1:1 y 1:2. Se definieron las condiciones óptimas de proceso como método de deshidratación osmótica directa, la concentración de la solución osmótica a 72 % sacarosa con pH de 4.00 - 4.50 para la aplicación a nivel laboratorio de la deshidratación de la papaya (*Carica papaya*).

Gavidia *et al.* (2013), analizaron el efecto sinérgico (fructo-oligosacárido y sacarosa) en distintas combinaciones de soluciones a concentraciones de 30, 35 y 40 °Brix; con temperaturas de 30, 40, y 50 °C sobre la humedad, ganancia de sólidos solubles y aceptabilidad general en términos de sabor y apariencia. Se evaluó la cinética de humedad y la ganancia de sólidos en función a dichas temperaturas de proceso durante 14 horas. Se realizó análisis sensorial con la prueba Mann-whitney para determinar la mayor aceptabilidad dando como mejor resultado el tratamiento con 40 °Brix y 30 °C. También se encontró que en las muestras pertenecientes a dicho tratamiento hubo mayor ganancia de sólidos solubles, el menor % de humedad fue el tratamiento con 40 °Brix y 50 °C. Igualmente, la mayor difusividad efectiva promedio se realizó en el tratamiento con 40 °Brix y 50 °C.

Sousa *et al.* (2005), evaluaron la deshidratación osmótica del mango. Utilizó mango cortado en cubos de 3 cm, en inmersión en solución de sacarosa en la proporción fruta: jarabe (1:4) sometidas a deshidratación osmótica a 65 °C por 5 horas, en tres diferentes concentraciones de sacarosa 45, 55 y 65 °Brix a presión atmosférica y al vacío (660 mmHg). Obtuvieron los siguientes resultados en la deshidratación osmótica sometido a presión atmosférica el mejor ensayo fue con sacarosa a 55 °Brix durante 4 horas, el producto presentó un contenido de humedad al final del ósmosis de 61,52 % y posteriormente secado convencionalmente en estufa hasta un contenido de humedad de 18,63 %, esta operación se realizó durante 16 horas. El tratamiento osmótico realizado al vacío el mejor ensayo fue a la concentración de 65 °Brix, por 2 horas, presentó un contenido de humedad después del ósmosis de 62,21 %, el secado en estufa se realizó durante 14 horas obteniendo el producto final una humedad de 18,69 %

## **2.2. Bases teórica**

### **2.2.1. Definición del yacón (*Smallanthus sonchifolius*)**

El yacón, es una planta perteneciente a la familia de las Asteraceae (también denominada Compositae) género *Smallanthus* (Seminario et al. 2003). Las raíces del yacón son semejantes a las raíces del camote y sus características dependen de las condiciones del suelo, localidad y demás condiciones agrónomas. Consecutivo a esto, Seminario et al. (2003). Plantean el promedio de peso en la producción de raíces entre 2 y 4 kg por planta, si se lleva un manejo Agronómico adecuado

#### **2.2.1.1. Propiedades del yacón**

La raíz tiene un alto contenido en fructooligosacaridos (FOS) (polímeros de fructosa), la mayoría de las propiedades atribuidas a los FOS han sido comprobadas solo en roedores (ratas y hámster). La evidencia científica disponible sustenta el reconocimiento de los FOS como fibra dietética y como prebióticos. Un prebiótico se define como un alimento no digerible que afecta favorablemente la salud del hospedero (es decir del consumidor) al estimar selectivamente la proliferación de un grupo de bacterias benéficas en el tracto digestivo, mejorando así el balance intestinal (Seminario et al. 2003)

Igualmente, el yacón mejora la asimilación del calcio en el organismo; sintetiza las vitaminas de complejo B, las cuales son las encargadas de mantener en buenas condiciones el sistema nervioso y cuida la salud mental; otra propiedad del yacón es que fortalece el sistema inmunológico; reduce significativamente el nivel de colesterol, triglicéridos y glucosa en la sangre; además de contrarrestar el estreñimiento. Su consumo crónico reduce la pérdida de calcio y fósforo en los huesos (Rojas 2015)

Tradicionalmente el yacón es consumido como fruta fresca o como puré, teniendo un sabor muy similar al puré de manzana. Sin embargo, debido al aumento de la demanda de este producto se está

consumiendo de formas tan diversas como pasas de yacón las cuales son producto de la deshidratación al ambiente de este tubérculo, hojuelas, jarabe de yacón, té de yacón y harina de yacón. Asimismo, el yacón ha incursionado en la cocina andina a través de postres entre los cuales podemos encontrar la torta, helado, cóctel y mermelada de yacón, entre otros derivados (Rojas 2015)

### 2.2.1.2. Composición fisicoquímica

Diversos estudios revelan que entre el 83 y 90 % del peso fresco de las raíces es agua, los carbohidratos representan alrededor del 90 % del peso seco de las raíces, de las cuales entre 50 y 70 % son fructooligosacáridos (FOS), el resto de carbohidratos lo conforman: sacarosa, fructosa y glucosa (Seminario et al. 2003)

Las raíces reservantes acumulan, además: potasio, compuestos polifenólicos derivados del ácido cafeico, sustancias antioxidantes como ácido clorogénico y triptófano y varias fitoalexinas con actividad fungicida; el contenido de proteínas y vitaminas es bastante bajo. La mejor época de coleccionar la raíz es entre las semanas 31 y 35 después de la siembra, porque se obtiene mayor cantidad y concentración de fructooligosacáridos (Seminario et al. 2003)

En la Tabla 1, se observa la composición química del yacón en tres estados de madurez

**Tabla 1.** Composición química del yacón en tres estados de madurez

A: en floración, B: dos meses luego de la floración y C: cuatro meses luego de la floración. b.s: base seca (Chirinos Gallardo 1999)

<b>Características (%)</b>	<b>Primera Cosecha (A)</b>	<b>Segunda Cosecha (B)</b>	<b>Tercera Cosecha (C)</b>
<b>Humedad</b>	81.8	82.32	81.34
<b>Grasa(b.s)</b>	0.24	0.23	0.17
<b>Proteína (b.s)</b>	2.69	2.77	2.63
<b>Carbohidratos (b.s)</b>	89.95	91.96	94.15
<b>Fibra bruta (b.s)</b>	4.08	3.37	1.34
<b>Cenizas (b.s)</b>	3.04	2.65	1.81

<b>Sólidos solubles (° Brix)</b>	14.2	15.4	16.2
<b>pH</b>	6.43	6.61	6.60
<b>Acidez (exp. ácido cítrico)</b>	0.293	0.297	0.30
<b>Azúcares reductores (exp.glucosa b.s)</b>	5.5	7.54	30.79

En cuanto a la concentración de azúcares se incrementa desde el interior de la raíz hacia la superficie, por ello, se debe tener cuidado en retirar la cáscara con el menor contenido de pulpa posible ya que la mayor concentración de azúcares se localiza en las zonas periféricas de la raíz. Por otro lado, la cáscara es la parte de la raíz en la que se concentra la mayor cantidad de los compuestos responsables del pardeamiento (Manrique et al. 2005)

Los valores de glucosa, fructuosa y sacarosa, varían de acuerdo al tiempo de cosecha. Mientras mayor sea el grado de madurez mayor es la cantidad de fructuosa y glucosa en la raíz, resaltando el contenido de fructuosa, por ser unidad fundamental de los oligofructanos tal como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Composición de carbohidratos del yacón en tres estados de madurez

<b>Carbohidratos (B.S)</b> <b>%</b>	<b>Primera</b> <b>Cocecha (A)</b>	<b>Segunda</b> <b>Cocecha (B)</b>	<b>Tercera</b> <b>Cocecha</b> <b>(C)</b>
<b>Glucosa</b>	0.72	1.89	3.41
<b>Fructosa</b>	5.60	8.25	26.93
<b>Sacarosa</b>	4.81	6.11	2.90
<b>Oligofructanos</b>	78.3	74.66	59.61

A: en floración,

B: dos meses luego de la floración y

C: cuatro meses luego de la floración. b.s: base seca (Chirinos Gallardo 1999)

Los fructooligosacáridos (FOS), también conocidos como oligofructanos u oligofructosa, pertenece a una clase particular de azucares conocidos con el nombre de fructanos. La estructura fundamental es un esqueleto de unidades de fructosa unidades entre sí por los enlaces glucosídicos  $\beta$  (1-2). La unión  $\beta$  (1-2) es muy resistente y el organismo humano no posee las enzimas para romperlas, por lo tanto, los FOS pasan por el tracto digestivo sin



metabolizarse. Si bien, otras plantas también contienen fructanos (achicoria, dalia, ajo, cebolla, trigo, plátano), el yacón los posee en la forma de FOS, en alta proporción (Seminario et al. 2003)

Después de una semana en almacenamiento a temperatura ambiente, el contenido de FOS puede disminuir en un 30 a 40 %. Así, con el fin de obtener productos con el mayor contenido posible de FOS es necesario procesar las raíces inmediatamente después de la cosecha o refrigerarlas para disminuir la tasa de degradación de la oligofructosa (OF). Por otro lado, la costumbre tradicional de solear (exponer al sol) las raíces por unos días para que se vuelvan más dulces, acelera el proceso de conversión de la oligofructosa en azúcares simples. Para evitar la degradación de la OF en el procesamiento, es preferible no exceder temperaturas superiores a 120 °C (Seminario et al. 2003)

### **2.2.1.3. Manejo pos cosecha**

Las raíces se exponen al sol por unos pocos días con la finalidad de que se hagan más dulces para el consumo. Probablemente las raíces se vuelven más dulces porque se deshidratan (pierden alrededor del 40 % de su peso fresco) y porque una parte importante de los FOS se convierten en azúcares simples. Esto sugiere que, para obtener el máximo beneficio de los FOS, la mejor forma de consumir yacón sería en forma fresca (Seminario et al. 2003)

Sin embargo, se ha determinado que la concentración de FOS en las raíces soleadas es la misma, e incluso ligeramente superior, que en las raíces frescas. Ello se debe a que la proporción de FOS que se convierte en azúcares simples es compensada por la deshidratación de las raíces. Algunos productos procesados basados en la deshidratación y el soleado (como las pasas y las hojuelas de yacón) pueden ser una alternativa viable para el desarrollo de productos que requieran de una tecnología no muy sofisticada y de fácil implementación en zonas rurales (Seminario et al. 2003)

Como consecuencia de la deshidratación, las raíces pierden peso y adquieren una apariencia rugosa que las hace menos atractivas para el consumidor. Lo más recomendable para evitar una deshidratación rápida es cosechar las raíces y ponerlas inmediatamente en un lugar fresco y con sombra. Si las raíces no se van a comercializar directamente después de la cosecha y se van a almacenar por un periodo corto de tiempo, es preferible hacer el embalaje con las raíces sucias (con tierra) (Seminario et al. 2003)

De esta manera, la tierra adherida a las raíces puede ayudar a que la deshidratación sea más lenta. Sin embargo, en el almacenamiento se sabe que el yacón es perecible debido a dos factores principales: la alta temperatura y la baja humedad relativa. La humedad atmosférica alta ayuda a minimizar la pérdida de peso, sobre todo en combinación con el frío, pero puede acelerar la pudrición a temperaturas altas. Así mismo determinaron que la pérdida de peso y la perecibilidad de las raíces disminuyen significativamente si se usan temperaturas de refrigeración (5 a 6 °C) durante el almacenamiento (Seminario et al. 2003)

### **2.2.2. Deshidratación osmótica**

A la deshidratación osmótica se lo conoce como la concentración de alimentos mediante la inmersión del producto en una solución hipertónica ya sea azúcar, sal u otros, que tienen una presión osmótica mayor que la del alimento, el agua pasa de alimento a la solución debido a la influencia del gradiente de la presión osmótica (Brennan 2008)

La deshidratación osmótica de alimentos incluye dos tipos de transferencia de masa. La difusión del agua del alimento a la solución y la difusión de solutos de la solución al alimento. En el primer tipo, la fuerza conductora de la transferencia de masa es la diferencia de presión osmótica, mientras que en la segunda es la diferencia de concentraciones (Barbosa et al. 2000)

Las pérdidas de agua por parte del alimento, en el proceso de secado osmótico se puede dividir en dos periodos: (1) un periodo, de alrededor de

2 horas, con una alta velocidad de eliminación de agua y (2) un periodo, de 2 a 6 horas, con una velocidad decreciente de eliminación de agua. La velocidad inicial de pérdidas de agua no es sensible a la circulación de la solución osmótica (Barbosa et al. 2000)

La temperatura y concentración de la solución osmótica afectan la velocidad de pérdida de agua del producto. La duración del proceso debe ser lo más corta posible para conseguir una buena deshidratación. En un tratamiento osmótico se consiguen unas pérdidas rápidas de agua durante las primeras 2 horas. Una interrupción temprana del proceso osmótico provoca una considerable cantidad de agua eliminada sin una gran captación de azúcar (Barbosa et al. 2000)

#### **2.2.2.1. Proceso de ósmosis.**

La deshidratación osmótica de alimentos ofrece algunas ventajas potenciales para la industria de procesado de alimentos. El contenido en humedad que se consigue con este sistema de deshidratación no es tan bajo como para que el producto acabado pueda ser considerado comercialmente estable. Por tanto, un producto deshidratado osmóticamente, normalmente, debe ser sometido a algún otro proceso adicional (generalmente métodos de secado por aire, congelación al vacío), para que pueda ser considerado estable desde el punto de vista comercial, a no ser que el tratamiento osmótico se haya realizado como un pre tratamiento previo al enlatado, congelado, u otro tratamiento de mínimo procesado. (Barbosa et al. 2000)

#### **2.2.2.2. Mecanismo de la deshidratación osmótica**

Cuando un alimento sólido se sumerge en una solución de solutos de concentración elevada, se establece un gradiente de presión osmótica entre el alimento y la solución (que se llama solución osmótica). Las células del alimento actúan como membrana semipermeable que permiten tanto la entrada de soluto como la salida de agua de las mismas. La transferencia de masa durante la deshidratación osmótica se efectúa por difusión, debido al gradiente de concentración de un

componente determinado entre el alimento y la solución osmótica. (Barbosa et al. 2000)

### **2.2.2.3. Factores que influyen en la velocidad de transferencia de masa en el proceso de la deshidratación osmótica**

#### **A. Características del producto.**

Un factor determinante sobre la velocidad de transferencia es la naturaleza, la estructura y/o geometría del tejido a deshidratar que está dada por la especie, la variedad y el estado de madurez. La amplia variación de la estructura física de la fruta, afecta al comportamiento osmótico y al estado final de los productos deshidratados osmóticamente (Torres et al. 2006)

La gran variabilidad observada entre las diferentes frutas está en su mayor parte relacionada con la diferente compactación del tejido, el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles, tamaño, espesor y distribución de los espacios intercelulares, la presencia de gas, la relación entre las diferentes fracciones pécticas. Se ha observado que diferencias en la estructura de la materia prima, especialmente porosidad, afectan a los mecanismos de transporte implicados en la deshidratación osmótica, de forma que cuanto mayor es la porosidad de la fruta mayor es la ganancia de sólidos (Torres et al. 2006)

#### **B. Naturaleza de solutos en la solución**

El tipo de agente osmótico es un factor muy importante que determina la velocidad de difusión. En general, el agente osmótico de bajo peso molecular, penetra más fácilmente en la célula de la fruta en comparación con agente osmótico de elevado peso molecular (Phisut 2012)

Los sólidos utilizados para la deshidratación osmótica poseen diferencias en su estructura química, peso molecular, polaridad y permeabilidad, por lo que presentan diferentes interrelaciones con la membranas o componentes del alimento, que se reflejan en la

velocidad de transferencia de masa y, por tanto, en la capacidad de cada soluto para provocar pérdida de agua y ganancia de soluto por parte del alimento.

Los solutos utilizados más a menudo para la deshidratación osmótica son cloruro de sodio, sacarosa, lactosa, jarabe con alta concentración de fructosa, sorbitol, glicerol (Phisut 2012)

La elección del soluto o solutos de la solución osmótica está basada en tres factores muy importantes:

- \_ Las características sensoriales del producto
- \_ El coste del soluto
- \_ La masa molecular del mismo (Barbosa et al. 2000)

En la Tabla 3, se muestra los usos y ventajas de algunos agentes osmóticos.

**Tabla 3.** Usos y ventajas de algunos solutos osmóticos comúnmente utilizados en la deshidratación osmótica

Nombre	Usos	Ventajas
Cloruro de sodio	Carnes y verduras	Alta capacidad de depresión de la actividad de agua
Sacarosa	Frutas principalmente	Reduce pardeamiento y aumenta retención de volátiles
Lactosa	Frutas principalmente	Sustitución parcial de sacarosa
Glicerol	Frutas y verduras	Mejora la textura
Combinación	Frutas, verduras y carnes.	Características sensoriales ajustadas, combina la alta capacidad de depresión de la actividad de agua de las sales con

**Fuente:** (Barbosa et al. 2000)

---

alta capacidad de eliminación de agua del azúcar.

---

### **C. Concentración de los solutos en las soluciones osmóticas**

Una variable interesante a evaluar es la concentración del agente osmótico que puede influir sobre la transferencia de masa durante un tratamiento osmótico prolongado, el aumento de las concentraciones de soluto ocasiona un aumento de los porcentajes de pérdida de agua y ganancia de sólidos en los resultados de la transferencia de masa. Además, ésta concentración tiene una influencia considerable en la viscosidad de la solución y por ende en el movimiento que puede tener las moléculas durante el proceso (Phisut 2012)

A medida que transcurre la deshidratación osmótica y los solutos van penetrando al alimento, la solución va disminuyendo su concentración de solutos, lo cual reduce de modo gradual el gradiente osmótico y, así, la velocidad de transferencia de masa. Cuando se utilizan grandes volúmenes de solución en relación con la masa de producto, el gradiente de concentración no disminuye notablemente, por lo que la velocidad de transferencia del soluto no se ve afectada, sin embargo, esto puede incrementar los costos de proceso (Phisut 2012)

### **D. Temperatura de la solución osmótica**

La temperatura de proceso es una de las variables que más afecta el proceso de deshidratación osmótica. Un aumento en la temperatura acelera la remoción de agua y la penetración de la sustancia osmótica al interior del tejido. Sin embargo, la relación entre el agua eliminada y la sustancia osmótica que penetra tiene un valor constante. Además, el efecto de la temperatura en la cinética osmótica depende del tipo de sustancia osmótica utilizada (Barbosa et al. 2000)

No obstante, la influencia de la temperatura no es uniforme en cualquier intervalo. Temperaturas comprendidas entre 20 y 40 °C son consideradas como las más óptimas porque no afectan la integridad de

los tejidos, preservan la calidad nutricional del producto y son las de mayor interés a nivel económico. Por debajo de 40 – 50 °C las membranas celulares mantienen su funcionalidad limitando el transporte.

Por encima de estas temperaturas la desnaturalización y la pérdida de la actividad biológica celular hacen el transporte mucho más rápido, pero tiene un efecto negativo sobre la estructura del tejido de la fruta y por tanto sobre su textura, así como sobre el sabor y el aroma afirman que el empleo de bajas temperaturas y elevadas concentraciones osmóticas favorece la retención de ácidos orgánicos y nutrientes (Torres et al. 2006)

En general cuando más alta es la temperatura de una solución hipertónica, mayor es la velocidad de eliminación de agua. Las temperaturas usadas se encuentran en el intervalo 20 a 70 °C. A mayores temperaturas existe el peligro de que se dañen las paredes celulares, lo que provocaría una pérdida excesiva de material soluble, tales como vitaminas del alimento. A altas temperaturas puede ocurrir una decoloración del alimento. (Brennan 2008).

#### **E. Presión del sistema**

Por lo general, los procesos de deshidratación osmótica se realizan a presión atmosférica. La velocidad de transferencia de masa y acelerar el proceso, recientemente se están empleando sistemas que consisten en aplicar por breve tiempo (5-15 min) en la etapa inicial del proceso ya sea alta presión (100-700 MPA) o vacío y posteriormente restablecer la presión atmosférica (Barat et al. 2001).

La presión de vacío puede considerarse como importante en las variables externas. En general la presión al vacío oscila entre 50 – 600 mbar. Durante el proceso de deshidratación osmótica, la presión del sistema puede desempeñar un papel muy importante influyendo

directamente en la cinética de transporte de materia del mismo (Barat et al. 2001)

Es importante señalar que la relevancia de esta variable va ligada a la porosidad del producto a deshidratar. Cuando se aplica vacío, el proceso se denomina deshidratación osmótica con pulso de vacío y tiene un marcado efecto en la transferencia de masa. Las células externas rotas pueden impregnarse fácilmente con la solución externa, y en los espacios intercelulares capilar en procesos llevados a cabo a presión atmosférica promueve flujo (Barat et al. 2001)

Sin embargo, cuando se aplica vacío al sistema, el aire interno de los poros se extrae, se producen una deformación en el volumen del producto y se promueve una impregnación capilar. Los fenómenos de impregnación y deformación, ocurridos durante el pulso de vacío incrementan los valores del coeficiente de difusión. La impregnación también depende del tipo de soluto y su concentración en la solución osmótica, lo que a su vez determina la viscosidad de la solución (Barat et al. 2001)

#### **F. Agitación del sistema**

La agitación periódica del sistema también produce un importante aumento en la velocidad de deshidratación a medida que avanza el tiempo de contacto de la fruta con el jarabe, esta se va rodeando de la propia agua que lixivia, el cual se va difundiendo lentamente por el jarabe concentrado al estar la fruta rodeada de agua, la diferencia de concentraciones entre el jarabe y la pared celular se hace menos con lo que también se disminuye la velocidad de salida de agua (Yanqui y Maquera 2010)

Una osmosis más rápida se consigue provocando un movimiento relativo entre la solución y las piezas del alimento. Sin embargo, probablemente la mezcla vigorosa conduce al daño de la célula. Los



trozos de alimentos delicados pueden permanecer inmóviles en el tanque de la solución (Brennan 2008)

### **G. Tiempo de inmersión del producto en la solución**

El proceso de difusión es un proceso en estado no estacionario, por lo que el tiempo de inmersión (hasta antes de alcanzar el equilibrio) es una variable importante para definir la cantidad de agua removida y / o la cantidad de sólidos ganados. Se ha observado que la velocidad de remoción de agua es mayor que la de penetración del soluto, lo cual puede aprovecharse cuando se desea remover agua sin adicionar grandes cantidades de soluto al producto (Colina 2010)

El tiempo requerido para obtener un nivel de concentración de sólidos específicos en el alimento durante la deshidratación osmótica varía mucho, depende de los factores antes mencionados y puede ir a 1 a 18 horas (Colina 2010)

### **2.2.3. Deshidratación osmótica con pulsos de vacío**

La combinación de impregnación al vacío con la deshidratación osmótica, a menudo llamado deshidratación osmótica con pulsos al vacío (DOPV), permite una mejora de la transferencia de masa e induce menos cambios estructurales, especialmente en la primera etapa del proceso. En general, las presiones empleadas oscilan entre 50 y 600 mbar (. El proceso se lleva a cabo mediante la aplicación de una presión de vacío en el espacio de cabeza del sistema durante un tiempo T1 y a continuación, mediante la restauración de la presión atmosférica durante un tiempo T2 de relajación (Derossi et al. 2012)

Los numerosos fenómenos que intervienen durante el proceso se ven afectados por varias variables que pueden ser clasificados como externa e interna de los alimentos. En la primera clase, la presión de vacío ( $p$ ), la longitud del tiempo de periodo de vacío, la longitud de tiempo de relajación, la viscosidad de la solución externa, la temperatura, la concentración de la

solución, la relación de masa de producto / solución y el tamaño y la forma de las muestras se pueden introducir (Derossi et al. 2012)

La pérdida de agua y ganancia de sólidos son mayor en el comienzo del proceso de PVOD, cuando el mecanismo hidrodinámico se lleva a cabo en el proceso de deshidratación osmótica. El aumento de velocidad de transferencia de masa debido a la aplicación de vacío no puede ser satisfactoriamente explicando el uso clásico, difusión y mecanismo osmótico. Por lo tanto, la consideración del mecanismo hidrodinámico acoplada con la ley de difusión de Fick puede promover una mejor representación del fenómeno de transferencia de masa en proceso de deshidratación osmótica con pulsos al vacío (Corrêa et al. 2010)

Al aplicar este procedimiento permite manejar las ventajas de la deshidratación osmótica a vacío frente a la deshidratación osmótica convencional, pero con un equipamiento más sencillo puesto que el proceso transcurre la mayor parte del tiempo a presión atmosférica y no a vacío. Esto implica un abaratamiento en el proceso industrial al utilizarse un equipo más sencillo y un ahorro de energía al no tener que mantener las condiciones de vacío durante todo el proceso (Corrêa et al. 2010)

#### **2.2.4. Impregnación al vacío**

La impregnación al vacío es una técnica de procesamiento basado en la difusión. Durante la impregnación al vacío la transferencia de masa, se produce como un resultado de la diferencia inducida mecánicamente en la presión. El proceso consta de dos etapas: la fase de la reducción de presión al vacío y la fase de la presión atmosférica. La impregnación del material se produce como consecuencia de dos fenómenos: mecanismo hidrodinámico (HDM) y los fenómenos de deformación – relajación (DRP) que conducen al llenado de capilares intracelulares.

La técnica de impregnación al vacío no requiere el uso de soluciones hipertónicas, el proceso es eficiente incluso a bajas concentraciones del compuesto utilizado para la impregnación. Además, la duración se ha

reducido notablemente y el proceso puede llevarse a cabo a bajas temperaturas (Radziejewska et al. 2014)

La técnica de impregnación al vacío se presenta como una alternativa de la aplicación en la industria alimentaria para la producción de nuevos alimentos funcionales por las siguientes ventajas (Chiralt y Talens 2005)

- \_ Cinéticas de transferencia de masa rápidas.
- \_ Mayor ganancia de solutos en tiempos cortos.
- \_ Mejor conservación del color y mejora del mismo en algunos productos.
- \_ Mejora de la textura
- \_ Conservación del sabor y aroma del producto fresco, al permitir trabajar a bajas temperaturas sin incrementos importantes de tiempo de proceso.

#### **2.2.4.1. Mecanismo hidrodinámico**

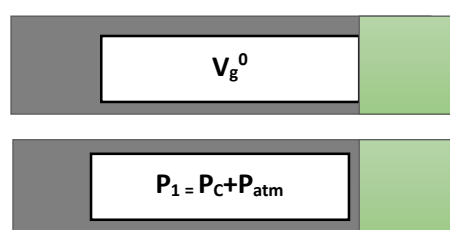
El mecanismo hidrodinámico es a consecuencia de los gradientes de presión como resultado de la acción combinada de flujos de capilares y cambios de presión impuestos a la estructura porosa del tejido vegetal. Mediante la aplicación de presión al vacío, una salida de gas interna o líquido desde el tejido y la entrada de la solución externa se estableció que promueve pérdida de agua y la absorción de solutos externos (Chiralt et al. 2007)

Este fenómeno juega un papel clave en la operación de sólido – líquido aumento de la tasa de varios procesos durante el cual se produce la transferencia de masa. Demostrando que cuando los trozos de alimentos se sumergen en una solución externa la superficie de las muestras se lava y la solución penetra parcialmente en los poros abiertos además de ocurrir una deformación de las membranas celulares debido a la pérdida de líquidos y gases internos, se genera un gradiente de presión y se promueve el mecanismo hidrodinámico (Chiralt et al. 2007)

Se ha establecido que en muchos alimentos con estructura celular existe una fracción de volumen de aire localizado en los diferentes poros, tales como son los espacios intercelulares. Cuando un alimento poroso es sumergido en un líquido bajo condiciones de vacío, este mecanismo surte efecto, este mecanismo implica un movimiento de la fase líquida externa para ir dentro o fuera de un producto como consecuencia de fuerzas dinámicas debido a diferencias de presión entre las paredes interna y externa de los poros. Las diferencias de presión pueden deberse solo a los vasos capilares, pero también a cambios en la temperatura o presión impuestos en el sistema (Chiralt et al. 2007)

Dentro de los poros existe gas que se encuentra a una determinada presión ( $P_1$ ). Cuando el líquido externo se pone en contacto con los poros se establece una diferencia de presión del líquido ( $P_2$ ) más la presión capilar ( $P_c$ ). Este fenómeno ocurre cuando se coloca un producto poroso en el seno del líquido, tanto si se usan presiones subatmosféricas o no (Chiralt et al. 2007)

En el caso de someter el sistema a una presión subatmosférica el gas ocluido en la estructura porosa del alimento sufre una expansión para equilibrarse con la presión impuesta al sistema, de tal forma, que se produce la pérdida parcial del mismo y una mayor penetración de líquido por capilaridad. Una vez restaurada la presión atmosférica el nuevo gradiente de presiones actúa como fuerza impulsora provocando la compresión del gas previamente expandido, siendo ocupado dicho espacio por la solución exterior (Jaller y Parra 2000) Esta explicación se muestra en la Figura 1



**Etapa 1**

**Figura 1.** Representación esquemática del mecanismo hidrodinámico de un poro ideal con impregnación al vacío (Cortés 2014)

Al respecto (Cortés 2014), indica que el proceso de impregnación se da en 4 etapas:

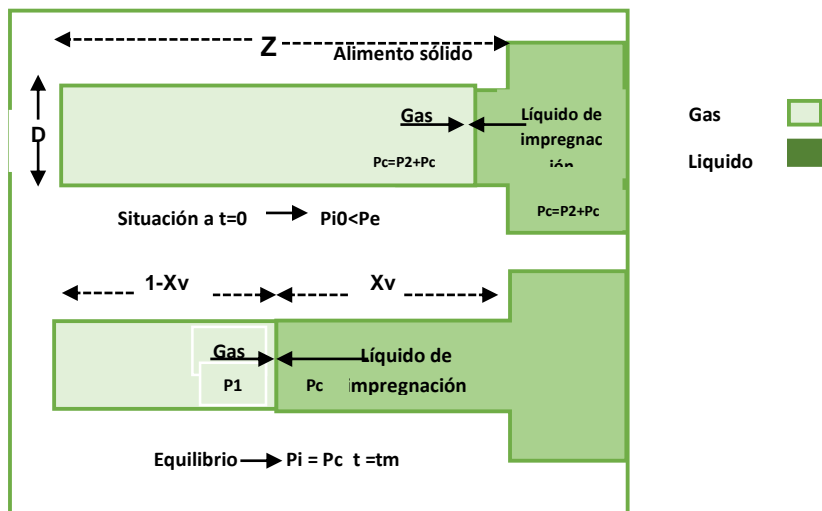
**Etapa 1:** Inicio de penetración de la solución en el poro de la fruta, por capilaridad. El sólido se encuentra sumergido en el líquido a presión atmosférica, la penetración de la solución en los poros es pequeña, de tal forma que los poros pequeños succionan la solución.

**Etapa 2:** Comienza la salida del aire ocluido en el poro al aplicar vacío en la fruta. La presión del sistema se lleva hasta un valor pequeño, donde producirá una expansión del gas existente en los poros provocando que se escape de la fruta y por último de la solución osmótica, a veces puede arrastrar líquido de la misma fruta. El gas deja de salir cuando la presión interna del poro es igual a la presión externa.

**Etapa 3:** Entra la solución al poro sin aire solo por capilaridad. El sistema se mantiene a la presión de trabajo por un tiempo determinado. En este instante se lleva a cabo el mecanismo hidrodinámico, que actúa como consecuencia del gradiente de presiones, entre la presión interna

del gas ocluido en los poros y la presión del sistema, provocando que los espacios intercelulares se llenen parcialmente de líquido. Esta impregnación dependerá de la cantidad de gas que salga del alimento poroso que está en función de la presión de trabajo.

**Etapa 4:** La capilaridad y la presión externa impulsan a que exista una penetración en gran cantidad de la solución al poro ( $P = P$  atmosférica). Al restaurar la presión atmosférica se genera un potencial de presión en el poro y permite la entrada rápida de la solución a los poros. En este instante el mecanismo hidrodinámico se presenta, pero como resultado del efecto de la diferencia entre la presión interna y externa. Esto significa que, en el equilibrio a un tiempo determinado, cierta cantidad del líquido es transportado dentro del alimento, efectuando un aumento de peso. En la Figura 2 se muestra la forma de un poro ideal.



**Figura 2.** Base teórica del mecanismo hidrodinámico de un poro ideal (Cortés 2014)

Donde:

$D$ : Diámetro del poro

$\sigma$ : Tensión superficial

$\mu$ : Viscosidad del líquido

$z$ : Longitud del poro

$X_v$ : Fracción volumétrica del poro ocupado por líquido

Pc: Presión capilar

P1: Presión inicial del gas en el poro

P2: Presión del sistema externo

Pi: Presión interna del gas

El mecanismo hidrodinámico contribuye a un transporte global mucho más importante cuando se trabaja a vacío debido a que los restantes mecanismos que intervienen en la operación (difusión y ósmosis), disponen de una superficie de transferencia de materia mucho mayor, debido a que se aprovecha, además de la superficie externa del alimento, la interna de los espacios intercelulares que han sido impregnados con soluciones por la acción del mecanismo hidrodinámico (Jaller y Parra 2000)

La presencia de poros en los alimentos se puede atribuir a muchos factores, uno de ellos es la existencia de los espacios intercelulares, que se encuentran en el tejido parenquimático de las frutas. El tamaño de los poros no es homogéneo. La superficie interna y externa de los mismos desempeña un papel muy importante en la velocidad de la transferencia de materia cuando están en contacto con un líquido, sobre todo si se trabaja a presiones subatmosféricas (Chiralt et al. 2007)

Al hecho de introducir de forma masiva el líquido exterior en el interior del espacio poroso provocando la alternancia de presiones y por lo tanto favoreciendo el mecanismo hidrodinámico, se le denomina impregnación a vacío (IV).

### **2.2.5. Deshidratación osmótica y métodos combinados**

La tecnología de métodos combinados, se sirve del procedimiento de la deshidratación osmótica para incorporar aditivos alimentarios en el producto durante el tratamiento. La adición de agentes microbianos, antioxidantes y ácidos orgánicos en la solución osmótica permite no solo eliminar el agua del producto sino también añadir el aditivo alimentario al producto. A veces, la deshidratación osmótica se utiliza en una etapa previa

a un proceso regular de secado. En otros casos, la conservación usa la tecnología de métodos combinados y para reducir la actividad de agua utilizando ciertos agentes osmóticos y añadiendo pequeñas cantidades de agentes antimicrobianos o cambiando el pH (Barbosa et al. 2000)

#### **2.2.6. Transferencia de masa**

Es una operación unitaria que interviene en la destilación, absorción, secado y extracción líquido – líquido. Cuando se está transfiriendo masa de una fase a otra o a través de una sola fase, el mecanismo básico es el mismo ya sea que se trate de gases líquidos o sólidos, la transferencia de masa es decisiva en muchos resultados de la ciencia y la ingeniería, se verifica cuando el componente de una mezcla migra a una misma fase o de una fase a otra, a causa de diferencias de concentración entre dos puntos (Barbosa et al. 2000)

Existen dos flujos de transferencia de masa muy importantes que están involucrados en la deshidratación osmótica, el primero es el movimiento de agua desde el alimento hacia el medio y el segundo, es el flujo de solutos del medio hacia el tejido alimentario. Entonces, la deshidratación osmótica es un proceso de transferencia de masa por el contrario la difusión molecular; es decir la difusión de agua está acompañada por una simultánea difusión, del soluto de la solución del tejido (Ochoa y Ayala 2009)

La transferencia de agua es uno de los aspectos más importantes durante la deshidratación osmótica. El mecanismo mayoritario por el que se realiza la transferencia de materia es la difusión debida al gradiente de concentración existente entre el alimento y la solución osmótica (Barbosa et al. 2000)

#### **2.2.7. El agua en los alimentos**

El agua es un contribuyente importante a las propiedades organolépticas de los alimentos. La pérdida de agua, en los alimentos ricos en ella, o la ganancia de agua en los alimentos en que es escasa, reduce su calidad organoléptica y por tanto su aceptabilidad. Por otra parte, la presencia de



agua, a ciertas concentraciones, en los alimentos facilita su deterioro por acción de los microorganismos y las enzimas, o a través de reacciones químicas o enzimáticas. Por lo tanto, retirando agua de los alimentos o haciéndola menos disponible, se puede extender la vida útil de los mismos (Brennan 2008)

#### **2.2.7.1. Contenido de agua**

El contenido en agua de un producto se puede expresar en termino de peso húmedo (BH), es decir, masa de agua por unidad de masa del producto húmedo, o en términos de peso seco (BS), es decir masa de agua por unidad de masa del extracto seco. El último es el método más frecuentemente utilizado en los cálculos de secado (Brennan 2008)

#### **2.2.7.2. Actividad de agua**

Al considerar la influencia del contenido en agua en la estabilidad de los alimentos, no es el contenido total en agua lo importante, sino la cantidad de agua disponible para el crecimiento microbiano y la actividad química. Existe una abundante bibliografía que pone de manifiesto que una parte del contenido en agua de los alimentos se halla fuertemente ligado a puntos específicos de los componentes sólidos y que otra cantidad adicional se halla menos firmemente ligada, pero que tampoco es fácilmente disponible como disolvente para diversos solutos.

En el estudio de la disponibilidad del agua en los alimentos, se mide una propiedad fundamental, conocida como actividad de agua. Esta propiedad viene definida por la expresión:

$$a_w = \frac{P_v}{P_w}$$

Donde  $P_v$  es presión de vapor de agua ejercida por la disolución, o el sólido húmedo, y  $P_w$  es la presión de agua pura, a la misma temperatura (Brennan 2008)

### **2.2.8. Ventajas de la deshidratación osmótica para la industria**

Según (Rahman 2003) el uso de la deshidratación osmótica en la industria alimentaria presenta varias ventajas:

#### **a) Mejora la calidad**

Está bien comprobado que la deshidratación osmótica mejora la calidad del producto en lo referente al color, sabor, aroma y textura. Rahman (2003) realizó una revisión bibliográfica de las ventajas de la deshidratación osmótica, en cuanto a mejora de la calidad del producto y a la eficiencia del proceso.

#### **b) Eficiencia energética**

La deshidratación osmótica es un proceso con unos requerimientos energéticos menores que el secado por aire o por vacío, ya que se puede realizar a bajas temperaturas. Lenart y Lewicki hallaron que el consumo de energía durante la deshidratación osmótica a 40 grados centígrados con reconcentración posterior del jarabe por evaporación, era al menos dos veces más bajo que en el secado por convección de aire a 70 grados centígrados.

#### **c) Menores costes de envasado y distribución**

Una concentración de frutas y hortalizas, antes de su congelación, ahorra costes de envasado y distribución. La calidad del producto final es comparable a la de los procesados convencionalmente. Este proceso se denomina "Deshidrocongelación".

#### **d) Sirve como tratamiento químico**

Los tratamientos químicos para reducir el pardeamiento enzimático pueden evitarse usando un agente osmótico. El azúcar ayuda con la inhibición efectiva de la polifenoloxidadasa, enzima que cataliza el pardeamiento oxidativo de la mayoría de frutas cuando se cortan y ve la prevención de la pérdida de sabores y aromas volátiles durante el posterior tratamiento del secado por aire o al vacío.

### **e) Estabilidad del producto mediante el almacenamiento**

Los productos obtenidos por deshidratación osmótica son más estables durante el almacenamiento que los alimentos no tratados por este método. Esto se debe a que presentan una menor actividad de agua, provocada por la ganancia del soluto y la pérdida del agua.

#### **2.2.9. Metodología de superficie de respuestas.**

La metodología de superficies de respuestas es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas utilizadas para modelar y analizar problemas en los que una variable de interés es influenciada por otras. El objetivo es optimizar la variable de interés (METODOLOGIA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA 1991)

La principal ventaja de las superficies de respuesta, es que reducen el número de experimentos necesarios para obtener resultados estadísticamente válidos, además de que son más rápidas y entregan más información que las evaluaciones clásicas en las que se estudia una variable a la vez (Ozdemir et al. 2008)

Esto se logra al determinar las condiciones óptimas del sistema.

- **Factores:**

Son las condiciones de proceso que influyen la variable de respuesta. Estos pueden ser cuantitativos o cualitativos.

- **Respuesta:**

Es una cantidad cuyo valor se ve afectado al cambiar los niveles de los factores. El interés principal de optimizar este valor

#### **2.2.10. Diseño Box-Behnken**

Este diseño desarrollado por Box-Behnken permite reducir el número de tratamientos necesarios para la optimización de un proceso, así como establecer las variables más influyentes en determinada respuesta y evaluar sus interacciones. Para un diseño de Box-Behnken, los puntos de diseño se sitúan en combinaciones de los niveles altos y bajos de los factores y sus puntos medios: Los diseños de Box-Behnken también aseguran que no se establezcan todos los factores en sus niveles altos al mismo tiempo

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

#### **3.2. Materiales**

##### **3.2.1. Material biológico.**

###### **a. Materia prima.**

➤ Se utilizaron raíces de yacón variedad anaranjada adquirido en el mercado San Antonio de la ciudad de Cajamarca, proveniente de Paríamarca, teniendo en cuenta la homogeneidad de sus características organolépticas.

###### **b. Soluciones osmóticas**

➤ Se utilizó azúcar blanca refinada (sacarosa) como materia prima para las soluciones osmóticas y se prepararon jarabes de sacarosa a tres concentraciones diferentes de 20, 30 y 40 °Brix.

##### **3.2.2. Material de campo**

- Laptop.
- Internet.
- Memoria USB.
- Cámara.
- Hojas de papel bond.
- Lapicero.
- Lápiz
- Marcador

### 3.2.3. Material y equipo de laboratorio

- Vaso precipitado. 100 ml y 1000 ml marca, Kimax.
- Varilla de vidrio.
- Probetas 500 ml.
- Pipetas 1 ml.
- Placas Petri.
- Cortador de láminas.
- Alcohol 96 ° puro.
- Cuchillo de acero inoxidable.
- Tabla de picar.
- Recipientes de plástico.
- Papel absorbente.
- Mesa de acero inoxidable.
- Jarras medidoras.
- Vernier.
- Cronómetro.
- Refractómetro, Marca Kendall.
- Balanza analítica electrónica. Marca Precisa, modelo LX 220 SCS capacidad máxima 120 g. mínimo 0.01 g.
- Estufa. Marca, Pol-EKO Aparatura, con rango de 0 a 105 °C.
- Texturometro. Marca Brookfield, modelo CT3, capacidad 25 kg.
- Baño María. Marca, Memmert con rango de 10 a 110 °C.
- Bomba al vacío, marca Sartorius.

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Trabajo de laboratorio**

##### **3.3.1.1. Metodología experimental.**

Se utilizó un diseño de superficie de respuestas tipo Box-Behnken con tres variables independientes (factores) y cuatro variables dependientes (variables de respuesta) en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón.

Las variables consideradas en el modelo de superficie de respuesta fueron:

##### **Variables independientes.**

###### **\_ Concentración**

- C1 = 20°Brix
- C2 = 30 °Brix
- C3 = 40 °Brix

###### **\_ Temperatura**

- T1 = 30 °C
- T2 = 40 °C
- T3 = 50 °C

###### **\_ Presión**

- P1 = 100 mbar
- P2 = 200 mbar
- P3 = 300 mbar

##### **Variables de respuesta**

- \_ Ganancia de sólidos (°Brix)
- \_ Pérdida de agua (%)
- \_ Humedad (%)
- \_ Textura (dureza)

En la Tabla 4 se muestran las variables y niveles para el diseño experimental.

**Tabla 4.** Variables y niveles para el diseño experimental.

<b>Variables</b>	<b>Nivel bajo</b>	<b>Nivel medio</b>	<b>Nivel alto</b>	<b>Unidades</b>
<b>Concentración</b>	20	30	40	°Brix
<b>Presión</b>	100	200	300	°C
<b>Temperatura</b>	30	40	50	Mbar

En el estudio de investigación se utilizó el diseño de Box-Behnken que nos arrojó un total de 15 tratamientos, para esto se utilizó el programa Minitab

En la Tabla 5, se muestra el diseño experimental para la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón donde se puede apreciar las variables independientes las cuales se obtienen al emplear el diseño de superficie de respuesta empleando el diseño tipo Box-Behnken.

**Tabla 5.** Matriz del diseño experimental para la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón.

<b>VARIABLES</b>			
<b>Tratamientos</b>	<b>Concentración (°Brix)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Presión (Mbar)</b>
1	30	40	200
2	20	30	200
3	40	30	200
4	20	50	200
5	40	50	200
6	20	40	100
7	40	40	100
8	30	40	200

tratamientos obtenidos se realizaron 3 repeticiones para cada

9	20	40	300
10	40	40	300
11	30	30	100
12	30	50	100
13	30	30	300
14	30	50	300
15	30	40	200

combinación, de modo que el total de ensayos sería igual a 45 tratamientos. A cada réplica se le realizó un seguimiento de toma de datos en los tiempos establecidos de 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 150 minutos durante un tiempo establecido de 2:30 horas.

**a) Acondicionamiento de la muestra de yacón**

El estudio se realizó en yacones de color anaranjado homogéneos en tamaño, forma, madurez y grado de frescura. Con la ayuda de un cortador se obtuvo rodajas de 0.3 cm de espesor y 5 cm de diámetro. Controles- Análisis en las rodajas de yacón. En las rodajas de yacón como materia prima se realizó los siguientes análisis: Humedad, °Brix, textura.

**b) Preparación de la solución de sacarosa.**

Se preparó soluciones osmóticas en agua destilada a diferentes concentraciones de 20 °Brix, 30 °Brix y 40 °Brix usando como materia prima sacarosa (azúcar blanca refinada). Para preparar las soluciones osmóticas se aplicó la siguiente fórmula. (Suarez 2003).

$$M_s + M_a = M_{sol} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$(M_s)(B_s) + (M_a)(B_a) = (M_{sol})(B_{sol})\dots\dots\dots (3.4)$$

Donde:

- $M_s$  = Masa de sacarosa
- $M_a$  = Masa del agua



- Msol = Masa de la solución hipertónica
- Bs = °Brix de la sacarosa.
- Ba = °Brix del agua
- Bsol = °Brix de la solución hipertónica.

El procedimiento para la solución fue el siguiente:

- \_ Se pesó (balanza analítica) la masa de la sacarosa.
  
  - \_ En un vaso de precipitados con el agua correspondiente se adicionó gradualmente la masa correspondiente de sacarosa, se agitó por 15 minutos.
  
  - \_ La mezcla se llevó a cabo en un matraz de 1000ml.
- Controles- análisis de la solución osmótica de sacarosa: °Brix

### **c) Inmersión en la solución osmótica impregnación a vacío.**

El proceso de deshidratación osmótica y de impregnación a vacío de las rodajas de yacón se llevó a cabo en un equipo deshidratador acondicionado conformado por un recipiente de acero inoxidable de 3 litros de capacidad el cual estuvo conectado a una bomba de vacío y con un vacuometro que permite controlar la presión de trabajo. Se trabajó con una relación materia prima/disolución de 1:5 el procedimiento para la impregnación fue el siguiente:

- \_ A cada muestra se aplicó tres diferentes presiones de vacío de 100, 200 y 300 mbar, por cada 10 minutos se realizó a tres temperaturas de 30 °C, 40 °C y 50 °C en baño María.
  
- \_ Una vez terminado el tiempo de vacío para todas las muestras se aplicó 10 minutos de relajación a presión atmosférica

- \_ En este proceso de osmosis cada cierto tiempo establecido de 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 150 minutos se casaron muestras, luego fueron secadas con papel absorbente para eliminar la mayor cantidad de jarabe adherido a la superficie
- \_ Se procedió a realizar sus pesos de cada muestra para determinar su análisis de humedad, pérdida de agua y se midió el contenido de solidos solubles (°Brix) con un refractómetro, la textura de las rodajas de yacón se analizó al finalizar el proceso de osmosis.

Controles- muestras impregnadas en solución osmótica de sacarosa: ° Brix, textura, pérdida de agua.

#### **d) Deshidratación del producto final**

Finalmente, las muestras fueron secadas en una estufa a condiciones iguales para todos los tratamientos por 3:30 horas a una temperatura de 105 °C. Con la finalidad de cuantificar el % de humedad, pérdida de agua.

Controles- Análisis: Humedad.

Todo este proceso se realizó por triplicado para cada tratamiento, solo se trabajó con los promedios obtenidos de dichas muestras.

En la tabla 6, se observa el diseño experimental para la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón

**Tabla 6.** Diseño experimental para la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón adaptado de (Rojas 2015)

ETAPAS	MATERIA PRIMA	INMERSIÓN EN LA SOLUCIÓN OSMÓTICA A VACIO ( Diseño Box-Benker)	TIEMPO DE TOMA DE MUETRAS	DESHIDRATACIÓN
<b>PROCESO</b>	Rodajas de yacón	<b>M1:</b> 30 °Brix; 40 °C; 200 mbar <b>M2:</b> 20 °Brix; 30 °C; 200 mbar <b>M3:</b> 40 °Brix; 30 °C; 200 mbar <b>M4:</b> 20 °Brix; 50 °C; 200 mbar <b>M5:</b> 40 °Brix; 50 °C; 200 mbar <b>M6:</b> 20 °Brix; 40 °C; 100 mbar <b>M7:</b> 40 °Brix; 40 °C; 100 mbar <b>M8:</b> 30 °Brix; 40 °C; 200 mbar <b>M9:</b> 20 °Brix; 40 °C; 300 mbar <b>M10:</b> 40 °Brix; 40 °C; 300 mbar <b>M11:</b> 30 °Brix; 30 °C; 100 mbar <b>M12:</b> 30 °Brix; 50 °C; 100 mbar <b>M13:</b> 30 °Brix; 30 °C; 300 mbar <b>M14:</b> 30 °Brix; 50 °C; 300 mbar <b>M15:</b> 30 °Brix; 40 °C; 200 mbar  Presión pulsos de vacío: Tiempo: 10 min. Tiempo de relajación: 10 min, ( presión atm)	<b>Para todas las muestras:</b>  10 min. 20 min. 40 min. 60 min. 80 min. 100 min. 120 min. 150 min	<b>Para todas las muestras.</b>  Deshidratación en una estufa a una temperatura de 105 °C  Tiempo: 3 horas 30 minutos
	0.3 cm de espesor y 5 cm de diámetro			
	Solución osmótica de sacarosa			
	Tres concentraciones diferentes (20, 30, 40 °Brix)			
	<b>CONTROLES</b>			

### 3.3.1.2. Análisis fisicoquímico de las muestras

A las rodajas de yacón se le determinó su ganancia de sólidos, el porcentaje de pérdida de agua, el porcentaje de pérdida de humedad y su textura.

#### 1) Determinación del peso húmedo total (P).

Se pesaron las rodajas de yacón en forma individual en una balanza analítica

#### 2) Determinación de humedad. (% H)

La pérdida de humedad durante el proceso se determinó aplicando el método 934.06 A.O.A.C (1990). Método de peso constante, por medio de un secado a 105 °C.

$$\% H = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:

%H = Porcentaje de humedad

Wi = peso inicial (g)

Wf = peso final (g)

#### 3) Determinación de la pérdida de agua. (% PA)

La pérdida de agua durante el proceso se determinó aplicando la fórmula.

$$\% PA = \frac{M_{ini} - M_{t\ Cwt}}{M_{ini}} \times 100 \dots\dots\dots(3.2)$$

Dónde:

Mini = peso de la muestra en un tiempo. (g)

Mt = peso de la muestra en un tiempo t (g)

CWT= contenido de humedad en tiempo t (g)

#### **4) Determinación de sólidos solubles (SS)**

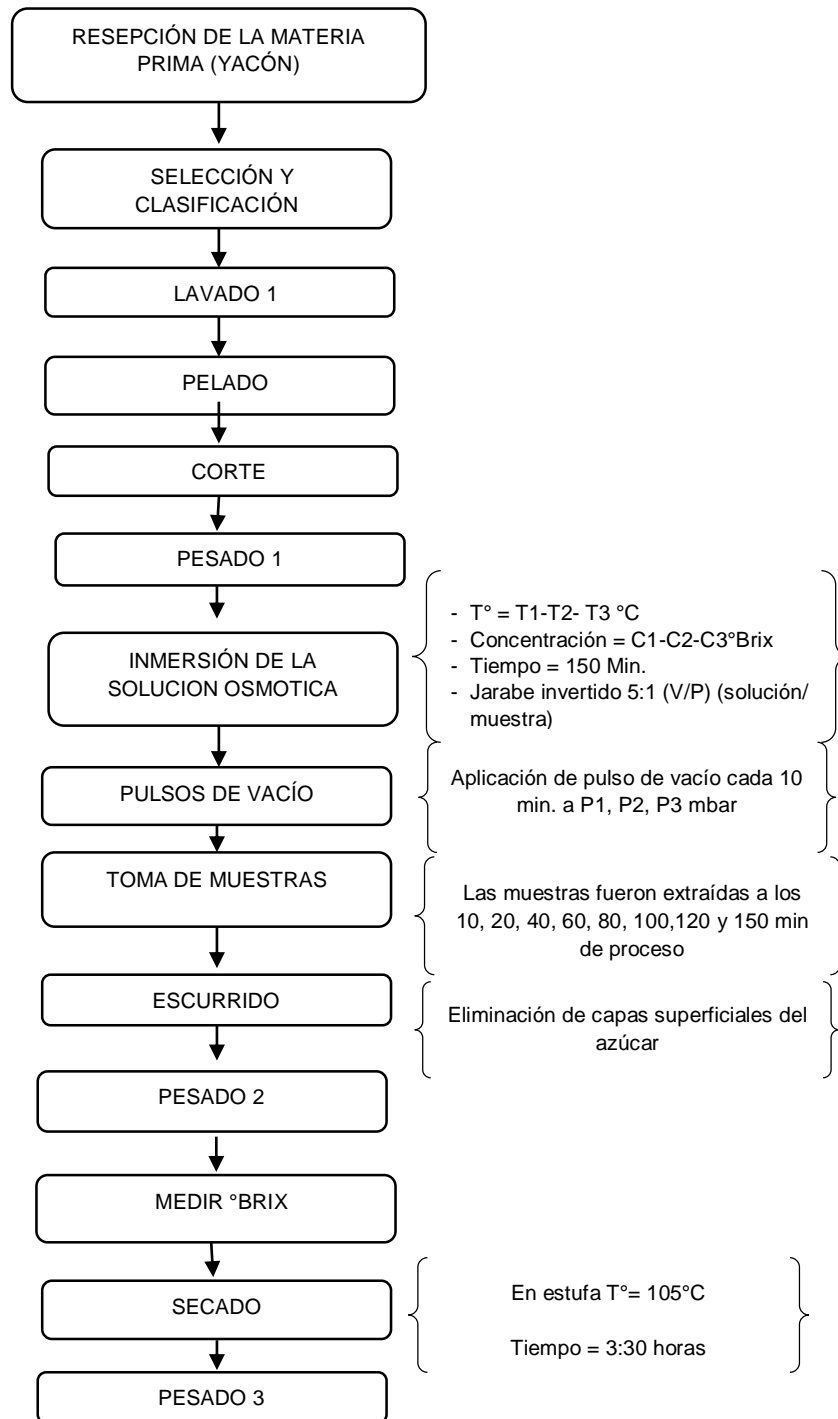
La ganancia de sólidos solubles (°Brix) se determinó mediante el método de refractometría (AOAC 2005). Utilizando 2 gotas de extracto de yacón, previo triturado de la muestra deshidratada osmóticamente, se dejó caer en el visor del refractómetro, para luego leer directamente la concentración expresada en °Brix.

#### **5) Determinación de la textura.**

La textura se determinó cada muestra (rodajas de yacón) después de ser sometidas a tratamiento con las soluciones osmóticas a partir de ensayos mecánicos de corte, utilizando un analizador de textura marca Brookfield, modelo CT3. Con el programa de computador Texture Exponent. En cada análisis se evaluó la fuerza máxima requerida para penetrar las rodajas de yacón osmodeshidratadas. Para ello, se empleó la sonda metálica HDP/VB y la plataforma HDP/90. Los parámetros utilizados fueron: velocidad del test 0.5mm/s, carga de activación 7 gf.

#### **3.3.1.3. Descripción de las operaciones del proceso a seguir para la deshidratación osmótica de rodajas de yacón.**

El flujo de operaciones se muestra en la Figura 3



**Figura 3.** Flujograma de la deshidratación osmótica del yacón. Adaptado de (Vilca 2015)

#### **A. Recepción de la materia prima**

Se utilizó raíces de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) adquiridas de mercado San Antonio provenientes de Paríamarca del distrito de Cajamarca provincia de Cajamarca recién recolectadas.

#### **B. Selección**

Se seleccionó el yacón eliminando las raíces que presenten signos de deterioro ya sea por daños mecánicos o ataques biológicos.

#### **C. Clasificación**

El yacón se clasificó visualmente teniendo en cuenta el grado de madures, el tamaño y forma uniforme.

#### **D. Lavado.**

El lavado se realizó después de la selección inicial. Se llevó a cabo con agua potable, utilizando un cepillo de cerdas suaves para que se remueve toda la suciedad que se pueda alojar en superficie raíz

#### **E. Pelado.**

Todo yacón proveniente del proceso de lavado se peló, removiendo toda su corteza el pelado se hizo de una forma manual, el yacón pelado se colocó en agua mientras se pasa a la siguiente operación unitaria.



**Figura 4.** Pelado de las raíces de yacón

#### **F. Corte en rodajas**

El yacón fue cortado con el mismo grosor de 5 cm. de diámetro y 0.3 cm. de espesor con la ayuda de un cortador en láminas para facilitar el proceso.



**Figura 5.** Corte de la raíz de yacón en rodajas.

#### **G. Pesado 1**

Se tomó el peso inicial de las rodajas de yacón antes de ser sometida a la solución osmótica.

#### **H. Inmersión en la solución osmótica**

Las rodajas fueron sumergidas en el zumo concentrado (20,30,40 °Brix de acuerdo a diseño experimental) en un equipo acondicionado conformado por un recipiente de acero inoxidable de 3 litros de



capacidad el cual estuvo conectado a una bomba de vacío y con un vacuometro que permite controlar la presión de trabajo. La presión de vacío fue de 100, 200, 300 mbar y esta se mantuvo durante diez minutos. Luego se restableció a presión atmosférica por 10 minutos. Los cuales permanecían a temperaturas controladas de (30, 40, 50 °C) en baño maría



**Figura 6.** Equipo acondicionado para la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón

### I. Toma de muestras para su análisis

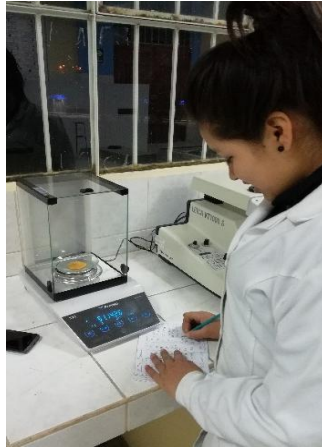
Se retiraron las muestras cada 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 150 minutos respectivamente eliminando el exceso de jarabe de la superficie del yacón, empleando papel absorbente posteriormente se realizaron los controles a cada una de las muestras: peso, contenido en sólidos solubles y textura (solo se midió en la última toma de muestra).



**Figura 7.** Toma de muestras de las rodajas de yacón

## J. Pesado 2

Las rodajas de yacón fueron pesadas para en una balanza analítica después de ser sometidas a tratamiento osmótico



**Figura 8.** Pesado de las muestras después de ser sometidas a deshidratación osmótica

## K. Deshidratación

Se realizó en una estufa a una temperatura de 105 °C, por un tiempo de 3 horas y 30 minutos.



**Figura 9.** Desección de las muestras en estufa

## L. Pesado 3

Después de cumplir el tiempo en la estufa, las rodajas de yacón ya secadas fueron pesadas en una balanza analítica.

### 3.3.2. Trabajo de gabinete

#### 3.3.2.1. Procesamiento de análisis de datos

- Para determinar la combinación de variables y lograr la máxima aceptación e impregnación de jarabe en la muestra se usó el diseño de superficie de respuesta. El objetivo de este método consistió en determinar las condiciones de operación óptima para la ganancia de sólidos, pérdida de agua, pérdida de humedad y textura en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón y determinar los factores que satisfacen las condiciones de operación.
- Para analizar los datos obtenidos se utilizó el programa STATGRAPHICS. Para los cuales se hizo un análisis de varianza (ANOVA) a partir de los datos obtenidos con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . El objetivo principal del análisis de varianza es el de determinar el efecto de las variables independientes (factores) sobre las variables dependientes (variables de respuesta).
- La figura de efecto para analizar diseño de superficie de respuesta fue el diagrama de Pareto a un nivel de confianza de 0.05. El diagrama de Pareto muestra los valores absolutos de los efectos estandarizados desde el efecto más grande hasta el efecto más pequeño y así determinar la magnitud y la importancia de los efectos (concentración, temperatura y presión) sobre las variables de respuesta (ganancia de sólidos, pérdida de agua, pérdida de humedad y textura). El diagrama también muestra una línea de referencia para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos. En el diagrama de Pareto, las barras que cruzan la línea de referencia son estadísticamente significativas.
- Para optimizar los valores de las variables de respuesta (ganancia de sólidos, porcentaje de pérdida de agua, porcentaje de pérdida de humedad y textura) se empleó el método de superficie de respuesta. La metodología de superficies de respuesta (RSM) es un conjunto

de técnicas avanzadas de diseño de experimentos que ayudan a entender, mejor y optimizar la respuesta.

El propósito de estas técnicas es diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable respuesta y así determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos obtenidos. El objetivo es establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta. Se utilizó el diseño Box-Benker

Las superficies de respuestas para cada variable de respuesta se representaron en gráficos tridimensionales, mostrando el efecto de dos variables independientes, sobre una respuesta, manteniendo constante en el nivel intermedio la tercera variable independiente.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **4.1. Determinación de ganancia de sólidos en las rodajas de yacón**

Los resultados para la ganancia de sólidos se obtuvieron a partir de los datos que se lograron al ser medidas su °Brix a cada una de las rodajas de yacón después de ser sometidas a deshidratación osmótica como se muestra en los anexos del 1 al 15. Para los diferentes tratamientos.

#### **4.1.1. Análisis de varianza (ANOVA) para la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón durante la deshidratación osmótica.**

En la Tabla 7, se presenta el análisis de varianza para la ganancia de sólidos solubles en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón. Según nuestro análisis podemos observar que de los factores principales (concentración, temperatura y presión) solo el factor concentración alcanza un p-valor de 0.0001; inferior al 0.05, lo cual indica que tiene un efecto significativo es decir influye más en la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón.

Por otro lado, se puede observar que no se encontró significación estadística para el efecto cuadrático y para la interacción de los factores en estudio (concentración, temperatura y presión), dado que, el valor de significación p-valor es mayor al 0.05 para cada uno de ellos. Es decir que los efectos cuadráticos y la integración no influyen de una manera significativa en la ganancia de sólidos en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

El estadístico R<sup>2</sup> indica que el modelo, así ajustado, explica el 96.19 % la ganancia de sólidos solubles y el 3.81 % se deben a otros factores. Esto nos da a entender que la ganancia de sólidos solubles al 96.19 % es causado o influenciado solo por el factor concentración, con lo mencionado podemos decir que la concentración de la solución osmótica tiene un gran efecto estadísticamente significativo en la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

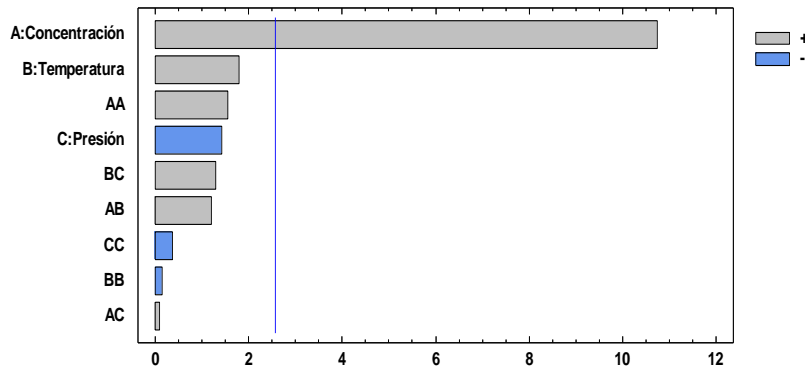
**Tabla 7.** Análisis de varianza (ANOVA) del diseño de superficie de respuesta Box-Behnken, para la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
Concentración (C)	394.524	1	394.524	115.18*	<b>0.0001</b>
Temperatura (T)	11.045	1	11.045	3.22 NS	0.1325
Presión (P)	6.9192	1	6.9192	2.02 NS	0.2145
Efecto cuadrático					
C*C	8.21105	1	8.21105	2.4 NS	0.1822
T*T	0.081698	1	0.0816981	0.02 NS	0.8833
P*P	0.475206	1	0.475206	0.14 NS	0.7248
Interacción					
C*T	5.04002	1	5.04002	1.47 NS	0.2793
C*P	0.027225	1	0.027225	0.01 NS	0.9324
T*P	5.68822	1	5.68822	1.66 NS	0.2539
Error total	17.1267	5	3.42534		
Total (corr.)	449.611	14			
(*) Significativo			(NS) no significativo		R <sup>2</sup> = 96.19%

#### 4.1.2. Análisis de Pareto para la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón

La Figura 10, representa los efectos de cada factor estandarizados a un nivel de 0.05. Podemos observar que solo el factor concentración sobrepasa la línea azul, esto indica que el factor concentración es el único estadísticamente significativo. Lo que señala que este factor ejerce influencia en la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón. Este resultado indica que la concentración fue la variable más importante de todo el proceso de la ganancia de sólidos, el valor positivo señala que la ganancia de sólidos fue favorecida con valores altos de concentraciones de sacarosa, lo cual tiene mucha lógica ya que la función más importante de la solución osmótica es incorporar sus azúcares en las rodajas de yacón,

haciendo que este aumente su concentración de sólidos solubles. Por todo lo mencionado podemos decir que es muy importante encontrar los valores óptimos tanto de temperatura, presión y concentración de la solución osmótica, para que de ésta manera las condiciones experimentales sólo ejerzan un efecto positivo para la ganancia de sólidos solubles.



**Figura 10.** Diagrama de Pareto estandarizada para la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón osmodeshidratadas

#### 4.1.3. Optimización de la ganancia de sólidos solubles en el proceso de osmodeshidratación de las rodajas de yacón

Con ésta metodología de optimización, obtuvimos las condiciones ideales para lograr incrementar al máximo el valor de la variable respuesta de sólidos solubles en las rodajas de yacón.

La ecuación cuadrática que modela empíricamente el proceso de deshidratación osmótica en las rodajas de yacón es el siguiente:

$$\text{Ganancia de sólidos solubles (°Brix)} = 22.9037 - 0.658 \cdot C - 0.33875 \cdot T - 0.045125 \cdot P + 0.0149125 \cdot C^2 + 0.011225 \cdot C \cdot T + 0.0000825 \cdot C \cdot P - 0.0014875 \cdot T^2 + 0.0011925 \cdot T \cdot P - 0.000035875 \cdot P^2$$

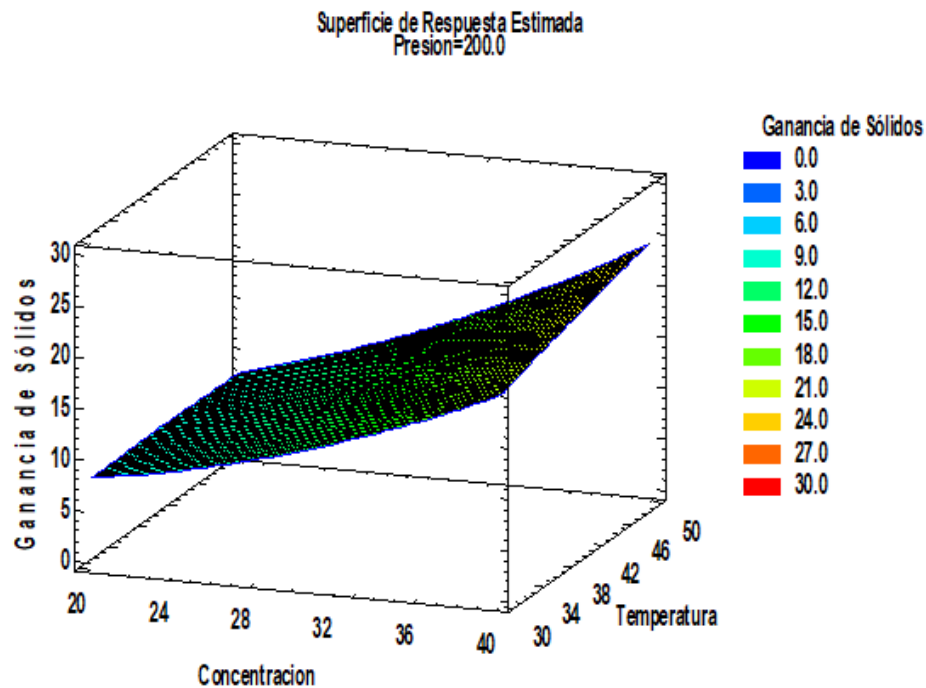
Dónde:

C= Concentración de la solución (°Brix)

T= Temperatura (°C)

P= Presión con pulsos de vacío (mbar)

La superficie de respuesta que genera la ecuación del modelo ajustado se observa en la figura 11



**Figura 11.**Diagrama de superficie de respuesta para la ganancia de sólidos en las rodajas de yacón osmodeshidratadas

La Figura 11, muestra la superficie de respuesta para determinar cuáles son las mejores condiciones, es decir las condiciones óptimas de tratamiento para la ganancia de sólidos en las rodajas de yacón osmodeshidratadas. La ganancia de sólidos con respecto a las variables, se graficó en función de la concentración y la temperatura, se fijó el valor de la presión constante de 200 mbar. Puede notarse que la variable concentración (20 – 40°Brix), presenta un efecto significativamente superior que la obtenida por la temperatura. La solución de concentración de sacarosa de 20 °Brix nos da una ganancia de sólidos solubles de aproximadamente 9 °Brix y con una concentración de sacarosa de 40 °Brix nos da una ganancia de sólidos solubles de aproximadamente 20 °Brix; con la temperatura de 30 °C la ganancia de sólidos solubles es aproximadamente de 20 °Brix, mientras que a una temperatura de 50 °C la ganancia de sólidos solubles es aproximadamente 26 °Brix mucho mayor.



Podemos apreciar la región óptima de color entre anaranjado y crema en la esquina superior derecha, donde se logra aumentar al máximo la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón, estas condiciones analizadas mediante el modelo arrojado por el diseño estadístico indican que se dan con una concentración de 40 °Brix, una temperatura de 50 °C y una presión de pulsos de vacío de 248.22 mbar. Bajo estas condiciones se puede lograr maximizar la ganancia de sólidos solubles hasta un valor óptimo de 24.44 °Brix. Opuestamente a lo mencionado se encuentra la superficie de color azul en la esquina inferior izquierda, en el cual se aprecia que la ganancia de sólidos solubles alcanza valores más bajos, lo que indica que en esa zona se encuentra el tratamiento menos eficaz con respecto a la ganancia o incorporación de sólidos solubles en las rodajas de yacón.

A continuación, se presentan la Tabla 8, la cual contiene las condiciones óptimas de deshidratación en la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón.

**Tabla 8.** Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para el porcentaje de ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón osmodeshidratadas

<b>Factor</b>	Bajo	Medio	Alto	<b>Óptimo</b>
<b>Concentración (°Brix)</b>	20	30	40	<b>40</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	30	40	50	<b>50</b>
<b>Presión (mbar)</b>	100	200	300	<b>248.22</b>

En la Tabla 8, se puede apreciar la combinación de los factores temperatura, presión pulsos de vacío y concentración de solución osmótica. Estos factores maximizan la diferencia de sólidos solubles sobre la región indicada. Bajo estas condiciones logramos obtener un valor óptimo de 24.44 °Brix, que representa la cantidad de sólidos solubles (°Brix) que se logran incorporar a las rodajas de yacón.

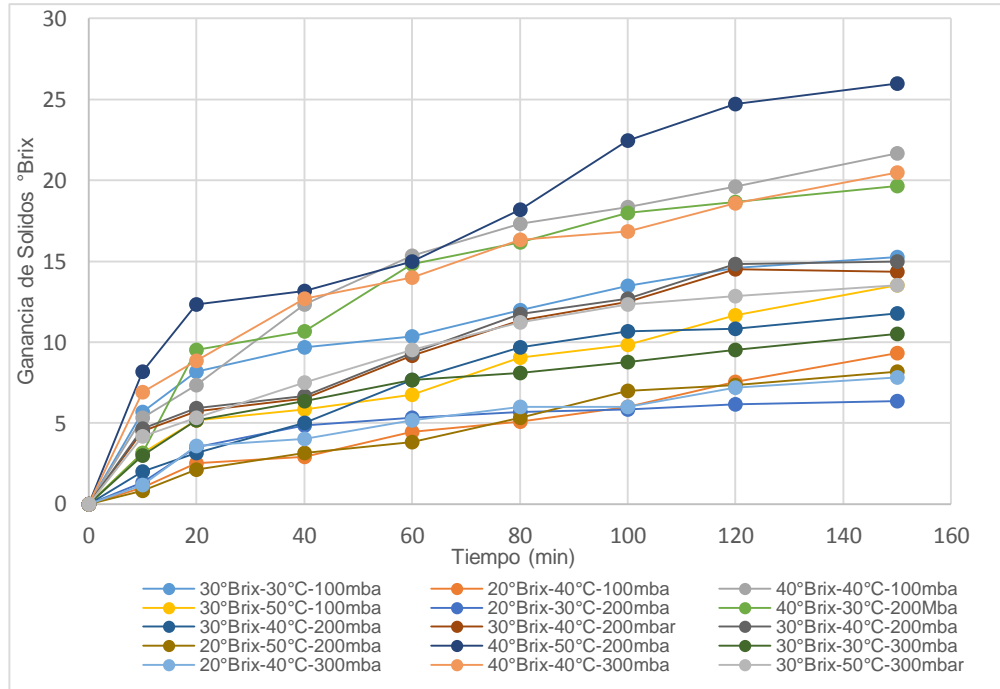
Finalmente, se pudo incorporar a las rodajas de yacón la cantidad de sólidos solubles de 24.44 °Brix en un periodo de tiempo de 2.30 horas que duró el proceso de deshidratación osmótica.

Este resultado es similar al obtenido por (Gamboa et al. 2018), en la deshidratación osmótica de arándanos donde lograron obtener un valor de ganancia de sólidos solubles de 24.7801 °Brix a condiciones de temperatura 55.151 °C y concentración 65 °Brix sometidos a un tiempo de 5 horas. No se aplicó presión en su proceso.

Obteniendo estos resultados podemos decir que se acepta la hipótesis con respecto a la ganancia de sólidos de las rodajas de yacón.

#### 4.1.4. Variación de la ganancia de sólidos en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón.

En la figura 12, se muestra la ganancia de sólidos en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón a diferentes concentraciones, temperaturas y presión de vacío.



**Figura 12.** Ganancia de sólidos para las rodajas de yacón a diferentes concentraciones, presiones de vacío y temperatura con respecto al tiempo

En la figura 12, muestra que la ganancia de sólidos aumenta a medida que aumenta el tiempo de tratamiento, esto debido a la incorporación de sólidos solubles en el fruto y además se observa que la velocidad de ganancia de sólidos se incrementa conforme se incrementa la concentración de la solución osmótica y la temperatura. Según (Ochoa y Ayala 2009) dicen que la ganancia de sólidos es proporcional a la concentración y temperatura, los resultados del trabajo de investigación son similares en el efecto de la temperatura y la concentración de la solución osmótica de sacarosa que influyen en la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

También podemos notar que las curvas con una concentración de 40 °Brix presentan una mayor ganancia de sólidos obteniendo un valor de 26 °Brix. En comparación con los tratamientos de concentración 30 y 20 °Brix obteniéndose valores más bajos de ganancia de sólidos de solo 6.33 °Brix. En cuestión a la temperatura podemos observar que las curvas alcanzan valores muchos más altos de ganancia de sólidos cuando se emplean temperaturas más elevadas de 40 y 50 °C. Esto concuerda con los estudios realizados por (Gamboa et al. 2018), donde menciona que temperaturas cercanas a 50 °C modifican las características del tejido, favorecen la impregnación y por lo tanto la ganancia de sólidos.

Otro estudio realizado por (Barat et al. 1998) en manzanas. Cabe mencionar que no siempre temperaturas elevadas a concentraciones elevadas, nos ofrecen mayor ganancia de sólidos solubles, ya que en su estudio realizado a una concentración de 60 °Brix y temperatura de 60 °C obtuvo un valor de 34.736 °Brix, inferior, al obtenido con una concentración de 50 °Brix a una temperatura de 50 °C que obtuvo un valor de 38.333 °Brix. Lo mencionado nos da una idea de la temperatura óptima que podemos alcanzar, ya que podemos ganar gran cantidad de sólidos empleando temperaturas inferiores a 60 °C, lo cual será beneficioso debido a que habrá menos pérdidas de propiedades termolábiles del producto en cuestión.

La ganancia de sólidos es más lenta a presión atmosférica. Esta ganancia ocurre fundamentalmente por dos mecanismos, ganancia hidrodinámica por fuerzas capilares o cambios de presión, que ocurre a lo largo del tiempo de proceso. Y esto indica que la aplicación de pulso de vacío provoca una mejor transferencia de disolución osmótica y por lo tanto va a ver una mayor ganancia de sólidos. (Ochoa y Ayala 2009)

La aplicación del pulso de vacío no tiene un efecto relevante para una mejor transferencia de disolución osmótica y una mayor ganancia de sólidos en las rodajas de yacón osmodeshidratadas (Vilca 2015). Este comportamiento muestra que favorece únicamente la velocidad de deshidratación debido a que durante el pulso de vacío se extrae el aire atrapado en los poros de la muestra, y al restaurar la presión atmosférica, la solución se incorpora rápidamente al interior del alimento por el intercambio entre el gas o líquido interno en los poros y la solución externa a través de mecanismos hidrodinámicos.

#### **4.2. Determinación de la humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas**

Los resultados para la humedad se obtuvieron al pesar a cada una de las rodajas de yacón después de ser sometidas a deshidratación osmótica, y después de ser puestas a un secado en estufa por 3 horas 30 minutos, a partir de la ecuación 3.1, los valores obtenidos para la humedad se muestran en los anexos del 1 al 15 Para los diferentes tratamientos.

##### **4.2.1. Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de pérdida de humedad en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón**

En la Tabla 9, se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de pérdida de humedad en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón. Se observa que de los factores principales (concentración, temperatura y presión) solo la concentración es significativa, dado que el valor de significación (p-valor = 0.0177) es menor al 0.05. Este resultado indica que la pérdida de humedad estaría afectada significativamente por la concentración de sacarosa.

Por otro lado, se observa que se encontró significación estadística para el efecto cuadrático del factor concentración, dado que el valor de significación (p-valor = 0.0001) es menor al 0.05, este resultado indica que el modelo presenta una curvatura por el aporte cuadrático de este factor.

Se encontró significación estadística para las interacciones concentración por temperatura y concentración por presión, dado que, el valor de significación (p-valor) es menor al 0.05, este resultado indica que la interacción (efecto conjunto de los factores) afectan significativamente a la pérdida de humedad.

El estadístico  $R^2$  indica que el modelo, así ajustado, explica el 97.49 % la pérdida de humedad y el 2.51 % se deben a otros factores. Esto nos da a entender que la pérdida de la humedad al 97.49 % es causado o influenciado por los efectos analizados: concentración, efecto cuadrático de concentración, y por las interacciones de las 3 variables. Claro que en la concentración su efecto es mucho mayor puesto que tiene un valor de 0.0001 muy inferior al de los otros efectos, según el p-valor.

**Tabla 9.** Análisis de varianza (ANOVA) del diseño de superficie de respuesta Box-Behnken, para la pérdida de humedad

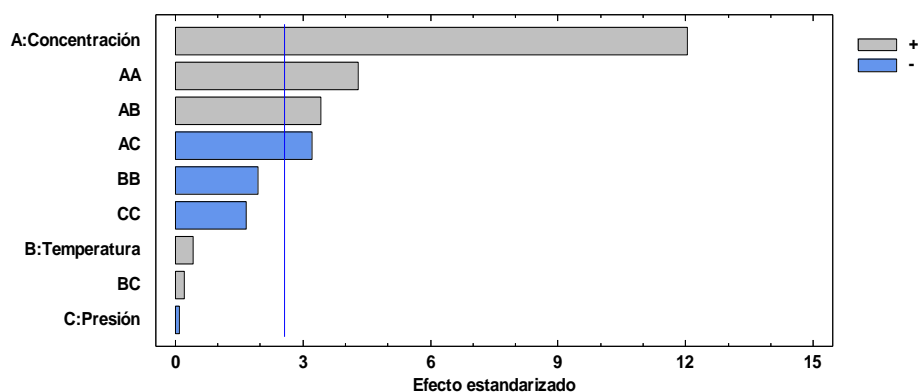
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
Concentración (C)	377.713	1	377.713	144.96*	<b>0.0001</b>
Temperatura (T)	0.4418	1	0.4418	0.17 NS	0.6976
Presión (P)	0.023113	1	0.0231125	0.01 NS	0.9286
Efecto cuadrático					
C*C	47.9742	1	47.9742	18.41*	<b>0.0078</b>
T*T	9.78503	1	9.78503	3.76NS	0.1104
P*P	7.18962	1	7.18962	2.76 NS	0.1576
Interacción					
C*T	30.3601	1	30.3601	11.65*	<b>0.019</b>
<b>(*) Significativo</b>		<b>(NS) no significativo</b>		<b><math>R^2 = 97.49\%</math></b>	

C*P	26.7806	1	26.7806	10.28*	<b>0.0238</b>
T*P	0.1225	1	0.1225	0.05 NS	0.8369
Error total	13.0284	5	2.60568		
Total (corr.)	518.74	14			

#### 4.2.2. Análisis de Pareto para la pérdida de humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

La Figura 13, representa los efectos estandarizados a un nivel de 0.05. En esta figura podemos apreciar que los efectos de concentración, efecto cuadrático de concentración, interacción de la concentración por temperatura y la interacción de la concentración por presión sobrepasan a línea azul, esto indica que son estadísticamente significativas, lo que señala que los factores mencionados ejercen influencia en el porcentaje de pérdida de humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas, pero se puede apreciar que el factor concentración ejerce un efecto mucho más significativo (fue el factor más importante) que el efecto cuadrático de concentración, las interacciones de concentración temperatura y concentración presión de la solución, es decir que a mayor concentración va a ver un mayor porcentaje de pérdida de humedad en las rodajas de yacón.

Podemos notar que la interacción AC (concentración presión) ejerce un valor negativo (-), esto indica que tiene un efecto negativo emplear concentraciones y presiones elevadas a un mismo nivel. Esto nos da a entender que no siempre la interacción de estos factores mencionados va a garantizar mayores pérdidas de humedad. He ahí la importancia de encontrar los valores óptimos tanto de concentración, temperatura y presión del medio osmótico.



**Figura 13.** Diagrama de Pareto estandarizada para la pérdida de humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

#### 4.2.3. Optimización del porcentaje de pérdida de humedad en el proceso de osmodeshidratación de las rodajas de yacón.

Con la metodología de optimización, se obtuvo las condiciones ideales para lograr reducir al máximo el valor de la variable de respuesta de humedad.

La ecuación cuadrática que modela empíricamente el proceso de deshidratación osmótica de rodajas de yacón es la siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = 14.855 - 2.06012 \cdot C + 0.464333 \cdot T + 0.125904 \cdot P + 0.0360458 \cdot C^2 + 0.02755 \cdot C \cdot T - 0.0025875 \cdot C \cdot P - 0.0162792 \cdot T^2 + 0.000175 \cdot T \cdot P - 0.000139542 \cdot P^2$$

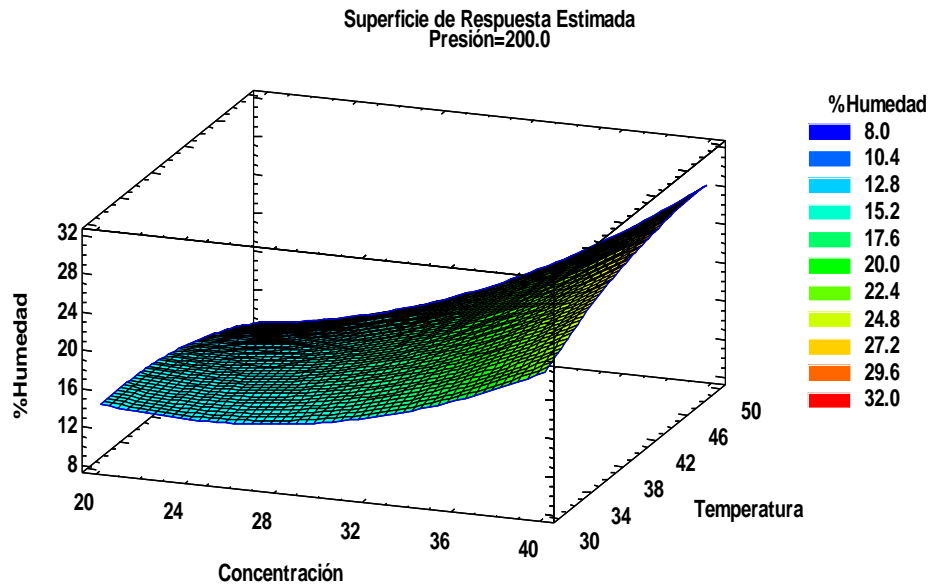
Dónde:

C= Concentración (°Brix)

T= Temperatura (°C)

P= Presión con pulsos de vacío (mbar).

La superficie de respuesta que genera la ecuación del modelo ajustado se observa en la figura 14



**Figura 14.** Superficie de respuesta para optimizar el porcentaje de pérdida de humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas

La Figura 14, muestra la superficie de respuesta para la humedad en función de la concentración y la temperatura tomando a la presión con pulsos de vacío de 200 mbar constante. Puede notarse que la variable concentración (20-40 °Brix), presenta un efecto positivo y relativamente menor que la obtenida por la temperatura.

La pérdida de humedad con una concentración de 20 °Brix de sacarosa es superior al 12 % y con una concentración de 40 °Brix de sacarosa la humedad disminuye aproximadamente 20 %. Con una temperatura de 30 °C el porcentaje de humedad es aproximadamente 20 %, mientras que a 50 °C es 28 %.

Se puede apreciar la región óptima de color rojo ubicada en el centro superior derecho donde se logra reducir al máximo el porcentaje de humedad, estas condiciones de acuerdo al análisis optimizado por el diseño estadístico se dan a una concentración de 40 °Brix, una temperatura de 48.70 °C y una presión de vacío de 110.8 mbar bajo estas condiciones se logra obtener una pérdida de humedad hasta un valor óptimo de 29.51 %. Opuestamente a lo mencionado se encuentra la superficie de color azul ubicado en la esquina inferior izquierda, en



el cual se aprecia que el porcentaje de pérdida de humedad alcanza valores más bajos, lo que indica que en esa zona se encuentra el tratamiento menos eficaz con respecto a la pérdida de humedad de las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

A continuación, presentamos los valores óptimos para la deshidratación osmótica analizando la variable respuesta porcentaje de pérdida de humedad.

**Tabla 10.** Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para el porcentaje de pérdida de humedad en las rodajas de yacón osmodeshidratadas

<b>Factor</b>	Bajo	Medio	Alto	<b>Óptimo</b>
<b>Concentración (°Brix)</b>	20	30	40	<b>40</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	30	40	50	<b>48.70</b>
<b>Presión (mbar)</b>	100	200	300	<b>110.8</b>

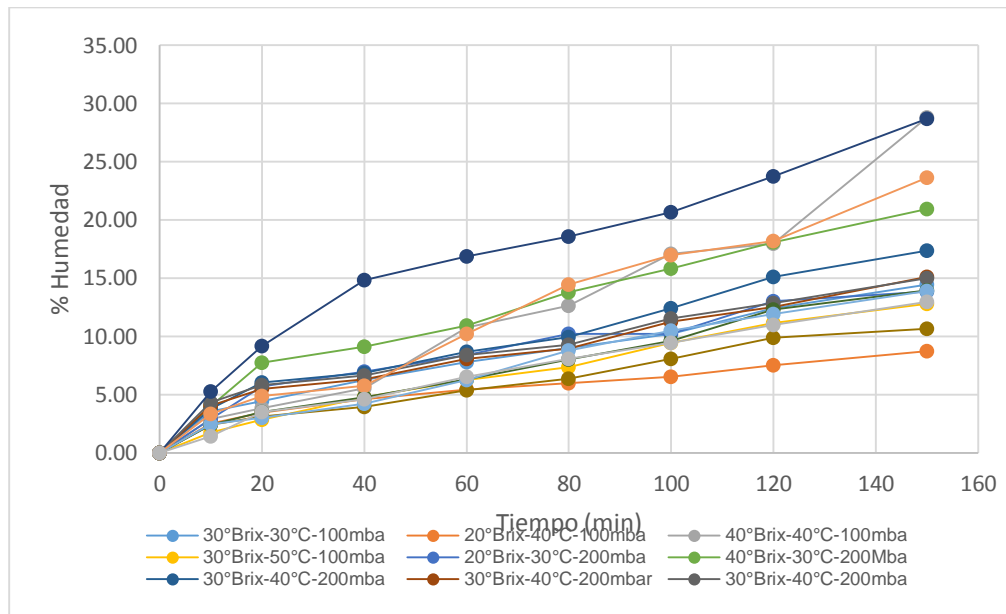
En la Tabla 10, se puede apreciar la combinación de los factores concentración temperatura y presión. Estos factores influyen en el porcentaje de pérdida de humedad. De ésta manera obtuvimos un valor óptimo de 29.51 % de humedad en un periodo de tiempo de 2.30 horas que duró el proceso de deshidratación osmótica de las rodajas de yacón

Este valor es cercano al encontrado por (Gamboa *et al.* 2018). Para algunos tratamientos aplicados en deshidratación osmótica de arándanos en 5 h de proceso en la cual las condiciones experimentales fueron de 55.4 °C y 60 °Brix se obtuvo un porcentaje de pérdida de humedad de 24.41 % no se aplicó presión en su tratamiento

Con los resultados obtenidos podemos decir que se acepta la hipótesis planteada con respecto a la pérdida de humedad de las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

#### 4.2.4. Variación de humedad en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón

En la Figura 15, se muestra el porcentaje de humedad en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón a diferentes concentraciones, temperaturas y presión de vacío.



**Figura 15.** Pérdida porcentual de humedad para las rodajas de yacón a diferentes concentraciones, presiones de vacío y temperatura con respecto al tiempo

En la figura 15, se muestra las diferencias de pérdida porcentual de humedad durante la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón sometidas a diferentes condiciones de tratamientos con respecto al tiempo, en donde se observa que a medida que aumenta el tiempo de tratamiento el porcentaje de pérdida de humedad de la rodaja de yacón, tiende a aumentar.

Además, se observa que a mayor concentración de solución osmótica y a mayor temperatura sometida, mayor es la pérdida de humedad. También podemos notar que la temperatura es mucho más influyente que la presión, con respecto al porcentaje de pérdida de humedad. Los cambios más drásticos de porcentaje de humedad en las rodajas de yacón se presentan

en los primeros minutos de deshidratación osmótica, después de ese tiempo los cambios en la humedad son más lentos.

Conforme se incrementa la concentración, mayor es el porcentaje de pérdida de humedad para un mismo tiempo de deshidratación. (Chiralt y Talens 2005), Además, mencionan que en la etapa inicial del proceso se establecen los mayores diferenciales de potencial químico entre la muestra y la solución, por consecuencia hay una mayor pérdida de humedad, provocando que la transferencia de masa fuese más rápida y a medida que va pasando el tiempo la velocidad de transferencia decrece, lo que se puede atribuir a la disminución del gradiente de concentraciones y a los cambios estructurales que se presentan en el tejido.

Esto se explica por el hecho de que las células más cercanas a la interface, están en equilibrio con la solución externa, por lo que las paredes celulares están relajadas y las cavidades celulares impregnadas mientras que las células internas del tejido, están ligeramente deshidratadas e incluso, inalteradas, reduciéndose la tasa de transferencia de masa y con ello la pérdida de humedad.

#### **4.3. Determinación de pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas**

Los resultados obtenidos para la pérdida de agua se obtuvieron al pesar las rodajas de yacón antes de ser sometidas a tratamiento, luego se pesó cada una de las muestras después de ser sometidas a tratamiento estos datos se hallan a partir de la ecuación 3.2, los valores que se obtuvieron para la pérdida porcentual de agua se muestran en los anexos del 1 al 15 Para los diferentes tratamientos.

##### **4.3.1. Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de pérdida de agua en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón.**

En la Tabla 11, se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de pérdida de agua en la deshidratación osmótica de las rodajas

de yacón. Se observa que de los factores principales (concentración, temperatura y presión) solo la concentración es significativa, dado que el valor de significación (p-valor = 0.0025) es menor al 0.05. Este resultado indica que la pérdida de agua estaría afectada significativamente por la concentración de sacarosa.

Por otro lado, se encontró significación estadística para la interacción de la concentración por la presión, dado que el valor de significación (p-valor = 0.0298) es menor al 0.05. Este resultado indica que estas interacciones (efecto conjunto de los factores) afectan significativamente a la pérdida de agua.

El estadístico  $R^2$  indica que el modelo, así ajustado, explica el 92.40 % la pérdida de agua y el 7.6 % se deben a otros factores. Esto nos da a entender que la pérdida de agua al 92.40 % es causado o influenciado por los efectos analizados concentración, y por las interacciones del efecto conjunto de los factores. Claro que en la concentración su efecto es mucho mayor puesto que tiene un valor de 0.0025 muy inferior al de los otros efectos, según el p-valor.

**Tabla 11.** Análisis de varianza (ANOVA) del diseño de superficie de respuesta Box-Behnken, para la pérdida de agua

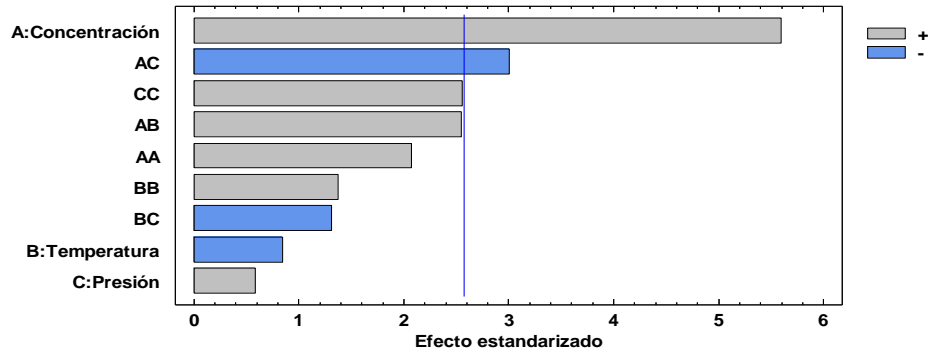
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
Concentración (C)	268.077	1	268.077	31.26*	<b>0.0025</b>
Temperatura (T)	6.10751	1	6.10751	0.71 NS	0.4372
Presión (P)	2.9282	1	2.9282	0.34 NS	0.5844
Efecto cuadrático					
C*C	36.8407	1	36.8407	4.3 NS	0.0929
T*T	16.2637	1	16.2637	1.9 NS	0.2269
P*P	56.0521	1	56.0521	6.54 NS	0.0509
Interacción					
C*T	55.7262	1	55.7262	6.5 NS	0.0513
C*P	77.6161	1	77.6161	9.05*	<b>0.0298</b>

T*P	14.8225	1	14.8225	1.73 <sup>NS</sup>	0.2457
Error total	42.8797	5	8.57595		
<hr/>					
Total (corr.)	564.066	14			
<hr/>					
	(*) Significativo	(NS) no significativo	$R^2 = 92.40$		

#### 4.3.2. Análisis de Pareto para la pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

La Figura 16, representa los efectos estandarizados a un nivel de 0.05. En esta figura podemos apreciar que los efectos de concentración y la interacción de la concentración por presión, sobrepasan la línea azul, esto indica que la concentración y la interacción de concentración con presión de la solución osmótica son estadísticamente significativas, lo que señala que los factores mencionados ejercen influencia en el porcentaje de pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas, pero se puede apreciar que el factor concentración ejerce un efecto mucho más significativo (fue el factor más importante), que la interacciones de concentración con presión de la solución, es decir que a mayor concentración va a ver un mayor porcentaje de pérdida de agua en las rodajas de yacón.

Podemos notar que la interacción AC (concentración presión) ejerce un valor negativo (-), esto indica que tiene un efecto negativo emplear concentraciones y presiones elevadas a un mismo nivel. Esto nos da a entender que no siempre la interacción de estos factores mencionados va a garantizar mayores pérdidas de agua. He ahí la importancia de encontrar los valores óptimos tanto de concentración, temperatura y presión del medio osmótico



**Figura 16.** Diagrama de Pareto estandarizada para la pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas

#### 4.3.3. Optimización del porcentaje de pérdida de agua en el proceso de osmodeshidratación de las rodajas de yacón.

Con la metodología de optimización, se obtuvo las condiciones ideales para lograr reducir al máximo el valor de la variable de respuesta de pérdida de agua.

La ecuación cuadrática que modela empíricamente el proceso de deshidratación osmótica de rodajas de yacón es la siguiente:

$$\% \text{ Pérdida de Agua} = 90.5425 - 1.92838 \cdot C - 2.50112 \cdot T + 0.05935 \cdot P + 0.0315875 \cdot C^2 + 0.037325 \cdot C \cdot T - 0.004405 \cdot C \cdot P + 0.0209875 \cdot T^2 - 0.001925 \cdot T \cdot P + 0.000389625 \cdot P^2$$

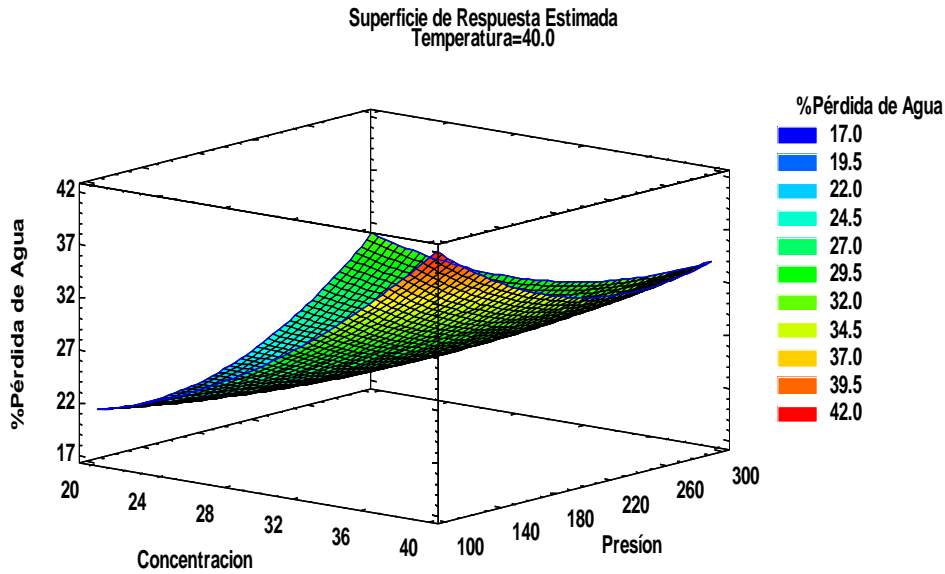
Dónde:

C= Concentración (°Brix)

T= Temperatura (°C)

P= Presión con pulsos de vacío (mbar).

La superficie de respuesta que genera la ecuación del modelo ajustado se observa en la figura 17.



**Figura 17.** Superficie de respuesta para optimizar el porcentaje de pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

La Figura 17, muestra la superficie de respuesta para la pérdida de agua en función de la concentración y la presión pulsos de vacío tomando la temperatura constante de 40 °C. Puede notarse que la variable concentración de sacarosa (20–40°Brix), presenta efecto significativamente mayor que la obtenida por la presión. La pérdida de agua con concentración de sacarosa de 20 °Brix es aproximadamente 20 % y con concentración de sacarosa de 40 °Brix es superior al 37 %. Con la presión de pulsos de vacío de 100 mbar el porcentaje de pérdida de agua es superior al 37 %, mientras que a 300 mbar es menor.

El modelo arrojado por el diseño estadístico indica que se puede alcanzar una pérdida del porcentaje de humedad del 48.89 % bajo las condiciones analizadas, con una concentración de 40 °Brix, una temperatura de 50 °C y una presión de pulsos de vacío de 102.2 °C.

Se puede apreciar la región óptima de color rojo ubicada en la parte superior derecha donde se logra reducir al máximo el porcentaje de agua, estas condiciones de acuerdo al análisis optimizado por el diseño estadístico se dan a una concentración de 40 °Brix, una temperatura de 50 °C y una presión de vacío de 102.2 mbar bajo estas condiciones se logra obtener una pérdida de agua hasta un valor óptimo de 48.89 %.

opuestamente a lo mencionado se encuentra la superficie de color azul ubicado en la esquina inferior izquierda, en el cual se aprecia que el porcentaje de pérdida de agua alcanza valores más bajos, lo que indica que en esa zona se encuentra el tratamiento menos eficaz con respecto a la pérdida de agua de las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

A continuación, presentamos los valores óptimos para la deshidratación osmótica analizando la variable respuesta porcentaje de pérdida de agua.

**Tabla 12.** Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para el porcentaje de pérdida de agua en las rodajas de yacón osmodeshidratadas

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
<b>Concentración (°Brix)</b>	20	30	40	<b>40</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	30	40	50	<b>50</b>
<b>Presión (mbar)</b>	100	200	300	<b>102.2</b>

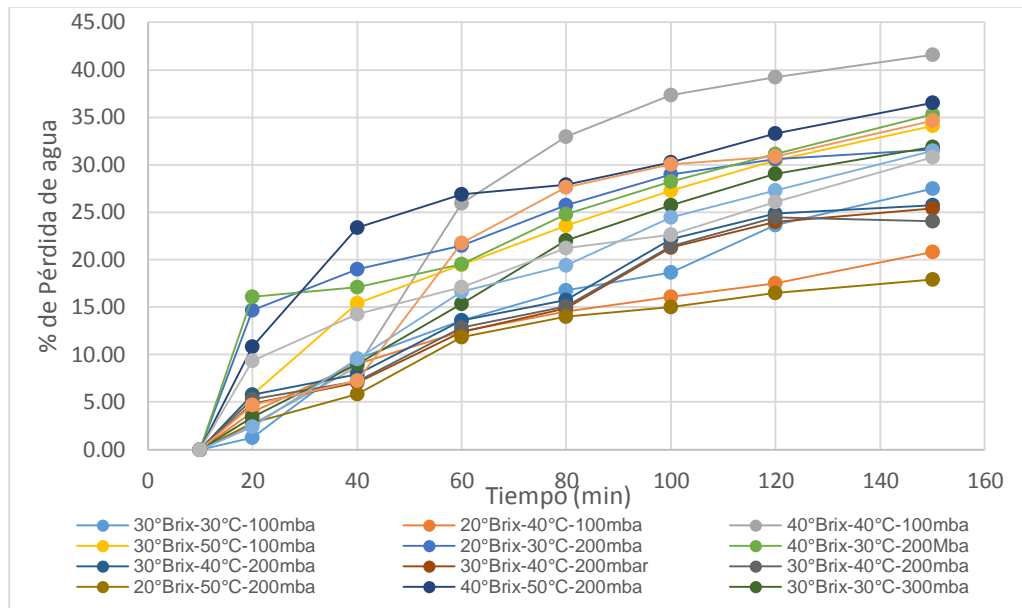
En la Tabla 12, se puede apreciar la combinación de los factores concentración temperatura y presión estos factores influyen en el porcentaje de pérdida de humedad. De esta manera obtuvimos un valor óptimo de 48.89 % de pérdida de agua en un periodo de tiempo de 2.30 horas que duró el proceso de deshidratación osmótica de las rodajas de yacón

Con los resultados obtenidos podemos decir que se acepta la hipótesis planteada con respecto a la pérdida de agua de las rodajas de yacón osmodeshidratadas

#### **4.3.4. Variación del porcentaje de pérdida de agua en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón**

En la Figura 18, se muestra la pérdida porcentual de agua en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón a diferentes concentraciones, temperaturas y presión de vacío





**Figura 18.** Pérdida porcentual de agua, para las rodajas de yacón a diferentes concentraciones, presiones de vacío y temperatura con respecto al tiempo.

En la figura 18, se muestran las diferentes variaciones de pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de rodajas de yacón a diferentes condiciones de tratamiento con respecto al tiempo, en donde se observa que a medida que aumenta el tiempo de tratamiento se incrementa el porcentaje de pérdida de agua, además se observa que a mayor concentración de solución osmótica mayor es la pérdida de agua de las rodajas de yacón.

Al igual que en la humedad, los cambios más drásticos de pérdida de agua se presentaron en los primeros minutos de deshidratación osmótica, después de ese tiempo los cambios de porcentaje de pérdida de agua son más lentos.

La aplicación de pulso de vacío contribuye a la apertura de la estructura de la muestra y la penetración de sólidos, los cuales llegan a acumularse en los espacios intercelulares, por lo cual el tratamiento con mayor valor de concentración y temperatura es el que presenta mayor cantidad de pérdida de agua (Chiralt et al. 2007).

La deshidratación osmótica con pulsos de vacío de guayabas en soluciones de sacarosa a concentraciones altas y la aplicación de pulsos de vacío han provocado un aumento en la pérdida de agua, sus resultados mostraron que, dentro de los 60 primeros minutos de deshidratación osmótica, se obtiene un valor de pérdida de agua del 37.16 % y un valor final de 52.95 % de pérdida de agua en 150 minutos (Correa 2010).

En el estudio deshidratación osmótica del yacón en solución de sacarosa al 40 % y temperatura de 20 °C, reportan que la mayor pérdida de agua, se obtuvo dentro de los primeros 60 minutos, alcanzando un valor de 64.04 % de pérdida de agua, a partir de los cuales un aumento de tiempo no produjo cambios apreciables en el contenido de agua de las muestras, lográndose a partir de los 90 minutos la estabilización del sistema. El valor de equilibrio fue de 68.8 % de pérdida de agua. (Torrez et al. 2008)

En el trabajo de investigación se obtuvo valores de pérdida de agua bajos, trabajados con rodajas de yacón bajo las siguientes condiciones: 0.3 cm de espesor y aplicando como solución osmótica concentración de sacarosa, de acuerdo a (Torres et al. 2007) indica que la geometría y el tamaño del producto, relacionados con la superficie específica, son variables importantes a controlar, ya que, grandes superficies específicas favorecen la pérdida de agua y la ganancia de sólidos.

También los valores nos muestran que la pérdida de agua ocurrida en las muestras fue más rápida cuando se trabajó con la disolución osmótica más concentrada, debido al aumento de fuerza impulsora del proceso, provocada por la gran diferencia de concentración entre la disolución osmótica y el interior de la muestra.

#### **4.4. Determinación de textura en las rodajas de yacón osmodeshidratadas**

Los resultados obtenidos para la textura (dureza) se obtuvieron al analizar las rodajas de yacón después de ser sometidas a tratamiento de deshidratación osmótica mediante el método de compresión utilizando un texturómetro estos

valores se obtienen a partir de los anexos del 15 al 30. Para los diferentes tratamientos.

#### 4.4.1. Análisis de Varianza (ANOVA) para textura en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón.

En la Tabla 13, se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la textura en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón. Se observa que de los factores principales (concentración, temperatura y presión) solo la presión es significativa, dado que el valor de significación (p-valor = 0.0143) es menor al 0.05. Este resultado indica que la textura de las rodajas de yacón estaría afectada significativamente por la presión del sistema.

El estadístico  $R^2$  indica que el modelo, así ajustado, explica el 84.32 % la textura y 15.68 % se deben a otros factores. Esto nos da a entender que la textura de las rodajas de yacón al 84.32 % es causado o influenciado por los efectos de la presión.

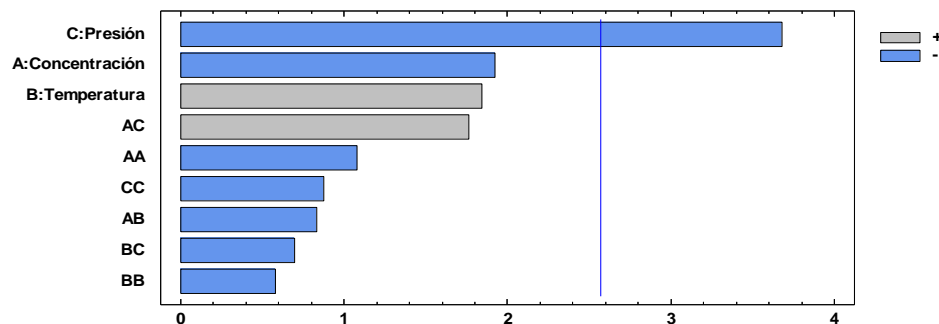
**Tabla 13.** Análisis de varianza (ANOVA) del diseño de superficie de respuesta Box-Behnken, para textura.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
Concentración (C)	293378	1	293378	3.69 NS	0.1128
Temperatura (T)	270113	1	270113	3.4 NS	0.1247
Presión (P)	1.08E+06	1	1.08E+06	13.53*	<b>0.0143</b>
Efecto cuadrático					
C*C	92174.8	1	92174.8	1.16 NS	0.3309
T*T	26991.7	1	26991.7	0.34 NS	0.5855
P*P	60968.3	1	60968.3	0.77 NS	0.4213
Interacción					
C*T	55225	1	55225	0.69 NS	0.4427
C*P	247009	1	247009	3.11 NS	0.1383
T*P	38416	1	38416	0.48 NS	0.518
Error total	397661	5	79532.2		
Total (corr.)	2536090.00	14			
(*) Significativo		(NS) no significativo		$R^2 = 84.32 \%$	

#### 4.4.2. Análisis de Pareto para la textura en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

La Figura 19. Representa los efectos estandarizados a un nivel de 0.05 en esta figura podemos apreciar que solo el efecto presión pasa de la línea azul, esto indica que solo la presión del sistema es estadísticamente significativa, lo que señala que el factor mencionado ejerce influencia en la textura de las rodajas de yacón osmodeshidratadas es decir que a una mayor presión en el sistema va a ver una mayor modificación de la textura en las rodajas de yacón.

Podemos notar que la presión ejerce un efecto (-), esto indica que las altas presiones con pulsos de vacío van a garantizar la modificación de la textura, es decir si aplicamos una mayor presión la dureza en las rodajas de yacón disminuye. He aquí la importancia de encontrar los valores óptimos tanto de concentración, temperatura y presión del medio osmótico.



**Figura 19.** Diagrama de Pareto estandarizada para la textura en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

#### 4.4.3. Optimización de la textura en el proceso de osmodeshidratación de las rodajas de yacón

Con la metodología de optimización, se obtuvo las condiciones ideales para la variable de respuesta textura

La ecuación cuadrática que modela empíricamente el proceso de deshidratación osmótica de rodajas de yacón es la siguiente:

$$\text{Textura (Carga (g))} = -2346.0 + 72.95 \cdot C + 141.625 \cdot T - 2.0625 \cdot P - 1.58 \cdot C^2 - 1.175 \cdot C \cdot T + 0.2485 \cdot C \cdot P - 0.855 \cdot T^2 - 0.098 \cdot T \cdot P - 0.01285 \cdot P^2$$

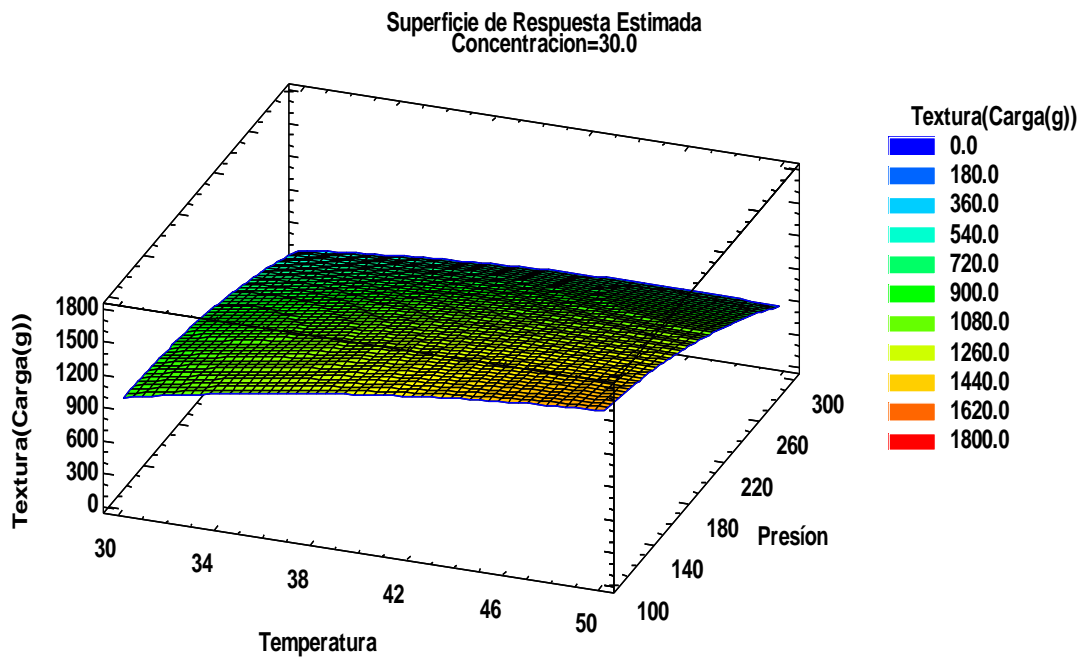
Dónde:

C= Concentración (°Brix)

T= Temperatura (°C)

P= Presión con pulsos de vacío (mbar).

La superficie respuesta que genera la ecuación del modelo ajustado se observa en la figura 20.



**Figura 20.** Diagrama de superficie de respuesta para la textura en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

La Figura 20, muestra la superficie de respuesta para evaluar la resistencia la carga máxima soportada en el instante de sus rupturas de las rodajas de yacón en función de la temperatura y la presión a una concentración de 30 % de sacarosa. Puede notarse que la temperatura (30 – 50°C), presenta un efecto relativamente menor que la obtenida por la presión.

El análisis de textura de las rodajas de yacón que fueron sometidas a tratamientos con temperaturas de 30°C requiere una carga mayor a 900 gf y con 50 °C requiere una fuerza mayor de carga de 1500 gf, mientras que las rodajas de yacón que fueron sometidas a tratamientos con una presión de pulsos de vacío de 100 mbar la carga que requiere para su ruptura es mayor a 1500 gf, mientras que a una presión de pulsos de vacío de 300 mbar se necesita una carga menor de aproximadamente 600 gf.

El modelo arrojado por el diseño estadístico indica que se puede alcanzar un óptimo de textura (carga máxima soportada) en las rodajas de yacón, con una concentración de 20 °Brix de sacarosa, una temperatura de 49.99 °C y una presión de 101.887 mbar.

Se puede apreciar la región óptima de color rojo ubicada en la parte superior derecha. De acuerdo al diseño estadístico a una concentración de 20 °Brix, una temperatura de 49.99 °C y una presión de vacío de 101.887 mbar bajo estas condiciones se logra obtener un valor óptimo de textura (carga máxima soportada) de 1913.06 gf.

Bajo las condiciones analizadas opuestamente a lo mencionado se encuentra la superficie de color azul ubicado en la esquina inferior izquierda, en el cual se aprecia que la muestra se rompe más fácilmente no hay resistencia a la compresión, lo que indica que en esa zona se encuentra el tratamiento menos eficaz con respecto a la textura de las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

A continuación, presentamos los valores óptimos para la deshidratación osmótica analizando la variable respuesta textura

**Tabla 14.** Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para la textura en las rodajas de yacón osmodeshidratadas.

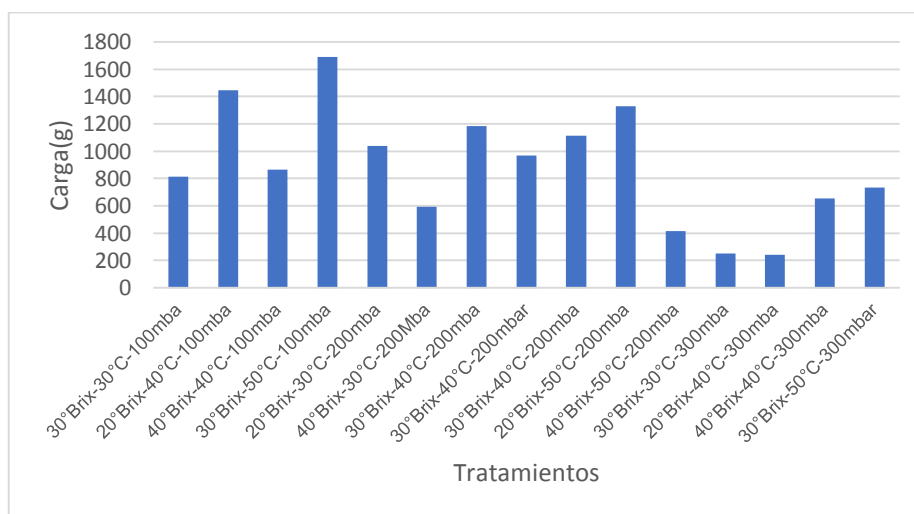
<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
<b>Concentración (°Brix)</b>	20	30	40	<b>20</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	30	40	50	<b>49.99</b>
<b>Presión (mbar)</b>	100	200	300	<b>101.887</b>

En la Tabla 14, se puede apreciar la combinación de los factores concentración temperatura y presión. Estos factores influyen en la textura. De esta manera obtuvimos un valor óptimo de 1913.06 g. de carga máximo soportada en un periodo de tiempo de 2.30 horas que duró el proceso de deshidratación osmótica de las rodajas de yacón.

Con los resultados obtenidos podemos decir que se acepta la hipótesis planteada con respecto a la textura de las rodajas de yacón osmodeshidratadas

#### 4.4.4. Variación de la textura en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón

En la Figura 21, se muestra la fuerza (carga) que se utiliza para ver la resistencia de rotura de las rodajas de yacón, después de ser sometidas a deshidratación osmótica a diferentes concentraciones, temperaturas y presión de vacío.



**Figura 21.** Carga de activación para la rotura de las rodajas de yacón a diferentes concentraciones, presiones de vacío y temperatura

En la Figura 21, se observa que la dureza de las rodajas de yacón para su rompimiento, están siendo más afectadas por la presión dado que la aplicación de una mayor presión con pulso de vacío contribuye a la apertura de la estructura molecular de las rodajas de yacón y eso conlleva a una

disminución de agua en las rodajas de yacón y eso hace que pierda su dureza.

Después de realizado el análisis de textura del yacón, podemos decir que para las muestras que son sometidas a presiones con pulsos de vacío de 300 mbar, la carga máxima soportada por las rodajas de yacón en el instante de sus roturas fue menor entre 240 gf - 260 gf. Mientras que, para las muestras tratadas con pulsos de vacío de 100 mbar, la carga máxima soportada por las rodajas de yacón en el instante de sus rupturas es mayor, necesita de fuerzas de carga mayores entre 1300 gf – 1600 gf.

Luego de producirse la rotura la carga va disminuyendo conforme avanza el tiempo y luego de aproximadamente 10 s ya no hay resistencia a la compresión por parte de la muestra, mencionando también que la penetración de la pulpa reflejada en distancia llego a 10 mm para todas las muestras.



## 5. CONCLUSIONES

- ✓ Se logró evaluar las condiciones óptimas de concentración, temperatura y presión para la ganancia de sólidos en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón obteniendo una ganancia de sólidos soluble de 24.44 °Brix bajo el tratamiento de concentración de solución de 40 °Brix, temperatura 50 °C. y presión de vacío 248.22 mbar
- ✓ Se logró evaluar las condiciones óptimas de concentración, temperatura y presión para la pérdida de humedad en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón obteniendo hasta un porcentaje de pérdida de humedad máximo de 29.51 %, bajo el tratamiento de concentración de 40 °Brix, temperatura 48.70 °C y presión de vacío 110.8 mbar.
- ✓ Se logró evaluar las condiciones óptimas de concentración, temperatura y presión para la pérdida de agua en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón obteniendo hasta un porcentaje de pérdida de agua máximo de 48.89%, bajo el tratamiento de concentración de 40 °Brix, temperatura 50 °C y presión de vacío 102.2 mbar.
- ✓ Se logró evaluar las condiciones óptimas de concentración, temperatura y presión para la textura en la deshidratación osmótica de las rodajas de yacón aplicando una carga de 1913.06 gf para su rompimiento bajo el tratamiento de concentración de 20 °Brix, temperatura 49.99 °C y presión de vacío 101.887 mbar.

## 6. RECOMENDACIONES

- Evaluar la deshidratación del yacón, empleando otros agentes osmóticos tales como glucosa y fructooligosacaridos, para cuantificar la ganancia de sólidos solubles, humedad y textura.
- Realizar estudios para enriquecer o fortificar productos osmodeshidratado como por ejemplo con calcio.
- En cuanto a los parámetros tecnológicos se sugiere trabajar con distintas geometrías, tiempos de procesado más largos en la deshidratación osmótica aplicando pulsos de vacío.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Barat, JM; Fito, P; Chiralt, A. 2001. Modeling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues (en línea). *Journal of Food Engineering* 49(2-3):77-85. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00205-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00205-3).
- Barbosa, G V; Vega, H; Ibarz, A. 2000. *Deshidratación de alimentos* (en línea). s.l., Acribia. Consultado 18 mar. 2019. Disponible en <https://www.casadellibro.com/libro-deshidratacion-de-alimentos/9788420009186/721542>.
- Brennan, JG. 2008. *Manual del Procesado de Alimentos* (en línea). s.l., Acribia. 9-10 p. Consultado 18 mar. 2019. Disponible en [https://www.editorialacribia.com/libro/manual-del-procesado-de-los-alimentos\\_54110/](https://www.editorialacribia.com/libro/manual-del-procesado-de-los-alimentos_54110/).
- Chiralt, A; Fito, P; Ortola, MD; Chafer, M; Gonzáles, C. 2007. KINETICS OF OSMOTIC DEHYDRATION IN ORANGE AND MANDARIN PEELS (en línea). *Journal of Food Process Engineering* 24(4):273-289. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2001.tb00544.x>.
- Chiralt, A; Talens, P. 2005. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues (en línea). *Journal of Food Engineering* 67(1-2):167-177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.055>.
- Chirinos Gallardo, RS. 1999. *Obtención y caracterización de los Oligofruktanos a partir de la raíz del Yacón (Smallantus sonchifolia Poepp. & Endl.)*. Tesis para optar el grado de Magíster Scientae en Tecnología de Alimentos UNALM-Perú. (en línea). s.l., s.e. Consultado 18 mar. 2019. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=tesispe.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=001003>.

- Colina, IML. 2010. Deshidratación de alimentos (en línea). s.l., s.e. p. 2. Disponible en <http://www.uga.edu/nchfp/publications/>.
- Corrêa, JLG; Pereira, LM; Vieira, GS; Hubinger, MD. 2010. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas (en línea). *Journal of Food Engineering* 96(4):498-504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.032>.
- Cortés, M. 2014. Aplicación de la ingeniería de matrices en el desarrollo de alimentos funcionales de origen vegetal. X Semana Alimentaria – Salud, Nutrición E Innovación V Encuentro Agroalimentario Y Seguridad Alimentaria En El Contexto Amazónico :78.
- Derossi, A; De, T; Severini, C. 2012. The Application of Vacuum Impregnation Techniques in Food Industry (en línea). s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.5772/31435>.
- Duque, A; Giraldo, G; Mejía, C. 2007. Variación del color en Mango, Mora y Uchuva en diferentes tratamientos de deshidratación osmótica (en línea). *Revista de Investigaciones* 17(17):19-26. Consultado 18 mar. 2019. Disponible en [http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/52ee\\_N1702.pdf](http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/52ee_N1702.pdf).
- Gavidia, A., Carbajal, R; Reyna, L. 2013. Efecto de la temperatura y la concentración del jarabe de inmersión en la difusividad efectiva y aceptación sensorial en cubos de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) osmodeshidratado. Tesis Ing. Ciudad de Trujillo, Perú, Universidad Nacional de Trujillo.
- Jaller, SI; Parra, M. 2000. Comparación de la transferencia de materia en los procesos de deshidratación osmótica a presión atmosférica y con impregnación de vacío en la piña cayena lisa (*Ananás comosus* L. Meer) a través de un modelo matemático (en línea). s.l., s.e. .

Consultado 18 mar. 2019. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/47068956.pdf>.

Lemus, RM; Marín, EB; Flores, VM; Vega, AG. 2006. LA REHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS THE REHYDRATION OF DEHYDRATED FOODS (en línea). Revista Chilena de Nutrición 33(33). Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46914636009>.

Manrique, I; Parraga, A; Hermann, M; International Potato Center. 2005. Jarabe de yacón: principios y procesamiento (en línea). s.l., Centro Internacional de la Papa. 31 p. Consultado 18 mar. 2019. D

METODOLOGIA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA. 1991. :37-61.

Ochoa, MCI; Ayala, AA. 2009. MODELOS MATEMÁTICOS DE TRANSFERENCIA DE MASA EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA MATHEMATICAL MODELS OF MASS TRANSFER IN OSMOTIC DEHYDRATION MODELOS MATEMÁTICOS DE TRANSFERENCIA DE MASA EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA. Ciencia y Tecnología Alimentaria 4(5):330-342. DOI: <https://doi.org/10.1080/11358120509487660>.

Ozdemir, M; Ozen, BF; Dock, LL; Floros, JD. 2008. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. LWT - Food Science and Technology 41(10):2044-2050. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.010>.

Pérez, GAD. (2016). ESTUDIO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE BARRITAS DE REMOLACHA (BETA VULGARIS) (en línea). s.l., s.e. Consultado 24 mar. 2019. Disponible en [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/16649/1/67549\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/16649/1/67549_1.pdf).

- Phisut, N. 2012. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits (en línea). s.l., Fakulti Sains dan Teknologi Makanan, Universiti Putra Malaysia, vol.19. p. 7-18. Consultado 18 mar. 2019. Disponible en <http://www.agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/12326>.
- Radziejewska, E; Biegańska, R; Kidoń, M. 2014. Applicability of vacuum impregnation to modify physico-chemical, sensory and nutritive characteristics of plant origin products—A review (en línea). s.l., Multidisciplinary Digital Publishing Institute, vol.15. p. 16577-16610 DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms150916577>.
- Rahman, MS. 2003. Manual de conservación de los Alimentos (en línea). s.l., Acribia. 863 p. Consultado 18 mar. 2019. Disponible en [https://www.editorialacribia.com/libro/manual-de-conservacion-de-los-alimentos\\_54128/](https://www.editorialacribia.com/libro/manual-de-conservacion-de-los-alimentos_54128/).
- Rastogi, NK; Raghavarao, KSMS; Niranjana, K; Knorr, D. 2002. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer (en línea). *Trends in Food Science & Technology* 13(2):48-59. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00032-8).
- Rojas, ELG. (2015). "OPTIMIZACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE ALOE VERA EN YACÓN (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) MEDIANTE IMPREGNACIÓN A VACÍO" (en línea). s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultado 18 mar. 2019. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2599>.
- Seminario, J; Valderrama, M; Manrique, I. 2003. El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP) (en línea, sitio web). Consultado 18 mar. 2019. Disponible en [http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/07/Yacon\\_Fundamentos\\_password.pdf](http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/07/Yacon_Fundamentos_password.pdf).

- Torres, JD; Escriche, I; Carot, JM; Chiralt, A; Talens, P. 2006. Volatile profile of mango (*Mangifera indica* L.), as affected by osmotic dehydration. *Food Chemistry* 101(1):219-228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.020>.
- Torres, JD; Talens, P; Carot, JM; Chiralt, A; Escriche, I. 2007. Volatile profile of mango (*Mangifera indica* L.), as affected by osmotic dehydration (en línea). *Food Chemistry* 101(1):219-228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.020>.
- Torrez, M; Santapaola, JE; Garay, A; Maldonado, S; Singh, J. 2008. Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). s.l., s.e., vol.28. p. 251-256 DOI: <https://doi.org/10.1590/s0101-20612008000100036>.
- Ventura, F; García, N; Wada, J. 2003. Deshidratación osmótica del Yacón utilizando sorbitol como agente deshidratante. II Simposio en Ciencias de Alimentos. Florianopolis. 28-30p. se reemplaza
- Vilca, Li. (2015). DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN RODAJAS. s.l., s.e.
- Yanqui, CPK; Maquera, CV. 2010. EFECTO DEL ESTADO DE MADUREZ, CONCENTRACION Y TEMPERATURA EN LA DIFUSIÓN EFECTIVA DE SACAROSA EN PAPAYA (*Carica papaya* L.) EN EL MODULO DE OSMODESHIDRATACION

## 8. ANEXOS

**Anexo 1.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C=30°Brix,  
T=40°C, y P=200mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.757	9.757	0.792	91.879	10.00	0.00
2	10	9.711	7.046	0.838	88.117	12.00	27.36
3	20	9.803	6.555	0.926	85.869	13.17	33.13
4	40	9.783	6.331	0.947	85.040	15.00	35.28
5	60	9.751	5.760	0.967	83.209	17.67	40.93
6	80	9.691	5.512	0.995	81.950	19.67	43.12
7	100	9.761	4.929	1.012	79.464	20.67	49.50
8	120	9.790	4.677	1.085	76.795	20.83	52.22
9	150	9.743	4.571	1.164	74.535	21.77	53.08

**Anexo 2.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C=20°Brix,  
T=30°C, P=200mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.758	9.758	0.764	92.169	10.00	0.00
2	10	9.824	7.403	0.796	89.245	11.33	24.65
3	20	9.792	5.943	0.804	86.465	13.50	39.31
4	40	9.803	5.525	0.817	85.213	14.83	43.64
5	60	9.821	5.289	0.859	83.759	15.33	46.15
6	80	9.776	4.848	0.876	81.940	15.67	50.41
7	100	9.729	4.511	0.894	80.185	15.83	53.63
8	120	9.811	4.389	0.916	79.135	16.17	55.26
9	150	9.743	4.264	0.925	78.309	16.33	56.23

**Anexo 3.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C=40°Brix,  
T=30°C y P=200mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.759	9.759	0.823	91.571	10.17	0.00
2	10	9.822	7.529	0.936	87.572	13.33	23.35
3	20	9.736	5.894	0.953	83.828	19.67	39.46
4	40	9.805	5.836	1.023	82.469	20.82	40.47
5	60	9.869	5.639	1.091	80.654	25.00	42.86



6	80	9.742	5.053	1.123	77.773	26.33	48.13
7	100	9.769	4.734	1.148	75.740	28.17	51.55
8	120	9.788	4.453	1.179	73.521	28.83	54.50
9	150	9.783	4.047	1.187	70.653	29.83	58.63

**Anexo 4.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C=30°Brix,  
T=40°C y P=200 mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.822	9.822	0.874	91.101	10.00	0.00
2	10	9.727	7.883	0.891	88.697	10.80	18.95
3	20	9.713	7.602	0.914	87.972	12.13	21.73
4	40	9.685	7.285	0.935	87.165	13.17	24.77
5	60	9.726	6.733	0.960	85.739	13.83	30.77
6	80	9.742	6.533	0.996	84.751	15.33	32.94
7	100	9.769	6.453	1.094	83.048	17.00	33.95
8	120	9.812	6.331	1.190	81.208	17.33	35.48
9	150	9.706	6.129	1.197	80.473	18.17	36.85

**Anexo 5.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 40°Brix,  
T=50°C y P=200mbar.

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.876	9.876	0.787	92.025	10.00	0.00
2	10	9.813	7.455	0.985	86.781	18.17	24.04
3	20	9.701	6.320	1.085	82.839	22.33	34.86
4	40	9.750	5.127	1.169	77.201	23.17	47.41
5	60	9.704	4.764	1.183	75.164	25.00	50.90
6	80	9.727	4.677	1.242	73.444	28.17	51.92
7	100	9.785	4.469	1.279	71.372	32.47	54.33
8	120	9.782	4.173	1.323	68.292	34.70	57.34
9	150	9.751	3.845	1.410	63.320	36.00	60.57

**Anexo 6.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 20°Brix,  
T=40°C y P=100mbar.

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.783	9.783	0.802	91.804	10.00	0.00
2	10	9.727	7.697	0.826	89.263	11.00	20.87

3	20	9.781	7.356	0.856	88.358	12.50	24.79
4	40	9.781	6.856	0.877	87.209	12.90	29.90
5	60	9.747	6.498	0.884	86.392	14.47	33.33
6	80	9.754	6.299	0.891	85.847	15.07	35.43
7	100	9.786	6.170	0.909	85.264	16.00	36.95
8	120	9.764	6.016	0.946	84.282	17.53	38.39
9	150	9.790	5.711	0.967	83.076	19.33	41.66

**Anexo 7.**Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 40°Brix,  
T=40°C y P=100mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.742	9.742	0.791	91.881	9.83	0.00
2	10	9.838	7.559	0.835	88.960	15.17	23.16
3	20	9.800	7.265	0.869	88.033	17.17	25.86
4	40	9.650	6.571	0.897	86.357	22.17	31.90
5	60	9.707	4.939	0.933	81.106	25.17	49.12
6	80	9.730	4.269	0.885	79.263	27.17	56.13
7	100	9.799	3.874	0.977	74.772	28.17	60.47
8	120	9.717	3.652	0.953	73.907	29.43	62.41
9	150	9.764	3.442	1.271	63.057	31.50	64.75

**Anexo 8.**Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix,  
T=40°C y P=200mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.746	9.746	0.858	91.202	9.83	0.00
2	10	9.744	6.998	0.901	87.126	14.33	28.19
3	20	9.789	6.555	0.936	85.713	15.57	33.04
4	40	9.766	6.328	0.958	84.867	16.33	35.21
5	60	9.698	5.762	0.970	83.159	19.00	40.58
6	80	9.692	5.517	0.979	82.253	21.17	43.08
7	100	9.746	4.927	0.987	79.969	22.33	49.45
8	120	9.783	4.681	0.997	78.693	24.33	52.15
9	150	9.751	4.523	1.081	76.103	24.17	53.62

**Anexo 9.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 20°Brix,  
T=40°C y P=300mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.696	9.696	0.777	91.986	10.50	0.00
2	10	9.804	8.563	0.899	89.501	11.67	12.66
3	20	9.772	8.297	0.915	88.976	14.07	15.08
4	40	9.745	7.579	0.928	87.760	14.50	22.22
5	60	9.689	6.852	0.979	85.716	15.67	29.28
6	80	9.620	6.538	1.099	83.189	16.50	32.03
7	100	9.693	6.098	1.129	81.491	16.50	37.09
8	120	9.691	5.818	1.160	80.052	17.67	39.97
9	150	9.791	5.470	1.198	78.104	18.33	44.13

**Anexo 10.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 40°Brix,  
T=40°C y P=300mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.813	9.813	0.847	91.374	9.50	0.00
2	10	9.832	7.423	0.887	88.057	16.40	24.50
3	20	9.788	6.932	0.936	86.496	18.33	29.17
4	40	9.764	6.665	0.959	85.605	22.17	31.74
5	60	9.767	5.247	0.987	81.173	23.50	46.29
6	80	9.811	4.695	1.084	76.910	25.83	52.15
7	100	9.779	4.446	1.137	74.418	26.33	54.53
8	120	9.825	4.385	1.176	73.175	28.10	55.37
9	150	9.662	3.946	1.273	67.753	30.00	59.15

**Anexo 11.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix,  
T=30°C y P=100mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.637	9.637	0.831	91.359	9.83	0.00
2	10	9.810	7.065	0.862	87.794	15.50	27.99
3	20	9.726	6.879	0.898	86.943	18.00	29.27
4	40	9.786	6.115	0.911	85.093	19.50	37.51
5	60	9.821	5.735	0.942	83.573	20.17	41.61
6	80	9.769	5.398	0.954	82.331	21.80	44.74
7	100	9.784	5.217	0.984	81.134	23.30	46.67

8	120	9.745	4.713	0.992	78.956	24.43	51.63
9	150	9.688	4.312	0.997	76.891	25.10	55.49

**Anexo 12.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix,  
T=50°C y P=100mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.885	9.885	0.859	91.314	10.50	0.00
2	10	9.759	8.453	0.880	89.595	13.67	13.38
3	20	9.762	7.891	0.910	88.462	15.67	19.17
4	40	9.780	6.963	0.939	86.520	16.33	28.80
5	60	9.667	6.492	0.970	85.058	17.23	32.85
6	80	9.755	6.151	0.987	83.955	19.53	36.95
7	100	9.813	5.820	1.055	81.869	20.33	40.69
8	120	9.779	5.490	1.090	80.142	22.17	43.86
9	150	9.752	5.124	1.100	78.536	24.00	47.46

**Anexo 13.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix,  
T=30°C y P=300mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.786	9.786	0.812	91.701	10.00	0.00
2	10	9.776	8.452	0.905	89.289	13.00	13.54
3	20	9.767	8.110	0.959	88.174	15.17	16.97
4	40	9.767	7.562	0.990	86.905	16.33	22.57
5	60	9.811	6.975	1.020	85.377	17.67	28.90
6	80	9.837	6.338	1.034	83.678	18.10	35.57
7	100	9.798	5.953	1.066	82.092	18.77	39.24
8	120	9.792	5.621	1.157	79.409	19.50	42.60
9	150	9.802	5.348	1.189	77.775	20.50	45.44

**Anexo 14.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix,  
T=30°C y P=300mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.745	9.745	0.893	90.840	10.33	0.00
2	10	9.785	8.652	0.913	89.441	14.50	11.59
3	20	9.789	7.738	0.982	87.314	15.67	20.95

4	40	9.794	7.261	1.000	86.227	17.83	25.86
5	60	9.759	6.960	1.093	84.291	19.83	28.68
6	80	9.764	6.564	1.131	82.766	21.57	32.77
7	100	9.764	6.424	1.196	81.389	22.67	34.20
8	120	9.739	6.074	1.222	79.880	23.17	37.64
9	150	9.709	5.595	1.237	77.898	23.83	42.37

**Anexo 15.** Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: C= 30°Brix,  
T=40°C y P=200mbar

N° Muestra	Tiempo (min)	Muestra Inicial	Muestra Tratada	Muestra Deshidratada	%Humedad	°Brix de muestra	%Pérdida de agua
1	0	9.725	9.725	0.824	91.523	9.50	0.00
2	10	9.777	7.037	0.901	87.196	14.17	28.03
3	20	9.835	6.555	0.936	85.713	15.43	33.36
4	40	9.766	6.328	0.958	84.865	16.17	35.21
5	60	9.731	5.752	0.970	83.130	18.83	40.89
6	80	9.692	5.512	0.979	82.239	21.23	43.12
7	100	9.746	4.929	0.987	79.977	22.17	49.43
8	120	9.840	4.677	0.997	78.678	24.33	52.46
9	150	9.618	4.608	1.081	76.546	24.50	52.09

**Análisis de textura para los diferentes tratamientos.**

**Anexo 16.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix,  
T=40°C y P= 200mbar después de ser sometida a  
deshidratación osmótica

**Método Test**

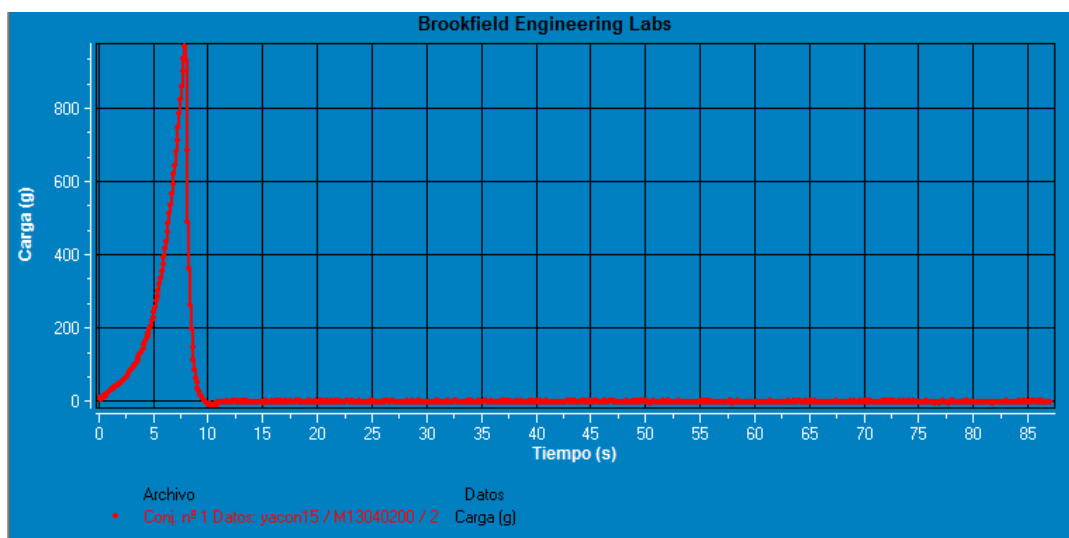
30 °brix-40 °C- 200mbar

<b>Fecha:</b>	04/07/2018	<b>Hora</b>	11:22:51 a.m
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT

---

**Contador ciclos:** 1.0**Celda Carga:** 2500g

---



**Anexo 17.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 20 °Brix, T=30°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

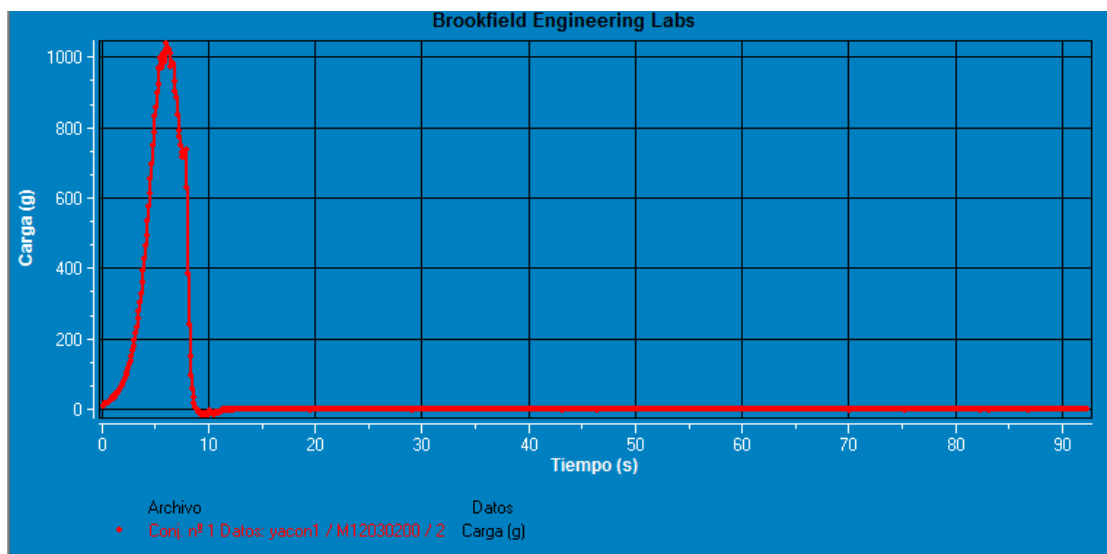
**Método Test**

---

Muestra 20°brix -30°C- 200mbar

<b>Fecha:</b>	04/07/2018	<b>Hora</b>	15:28:21
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 18.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 40 °Brix, T=30°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

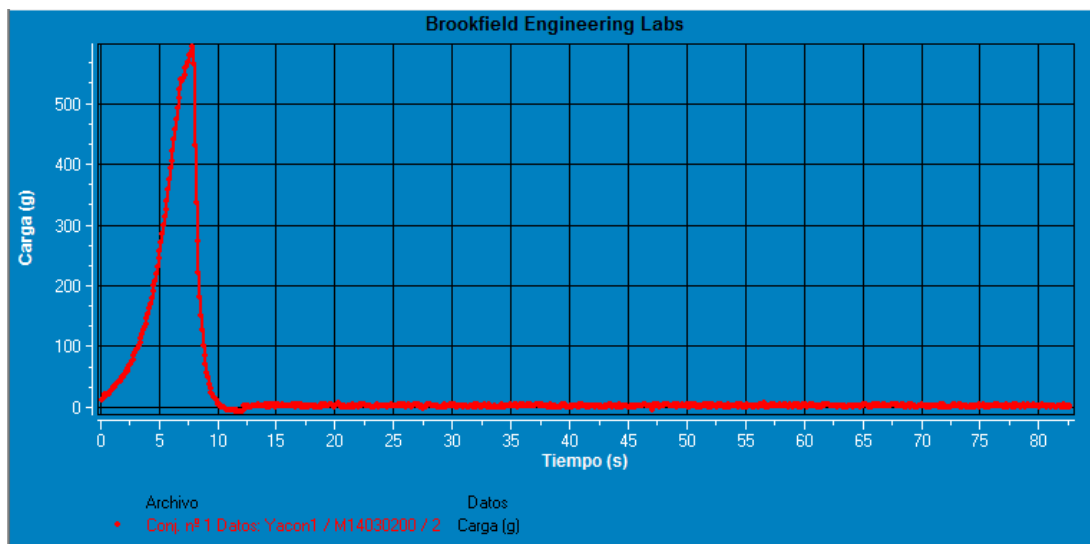
**Método Test**

---

Muestra 40°brix -30°C- 200mbar

<b>Fecha:</b>	05/07/2018	<b>Hora</b>	10:40:48
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 19.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 20 °Brix, T=50°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

**Método Test**

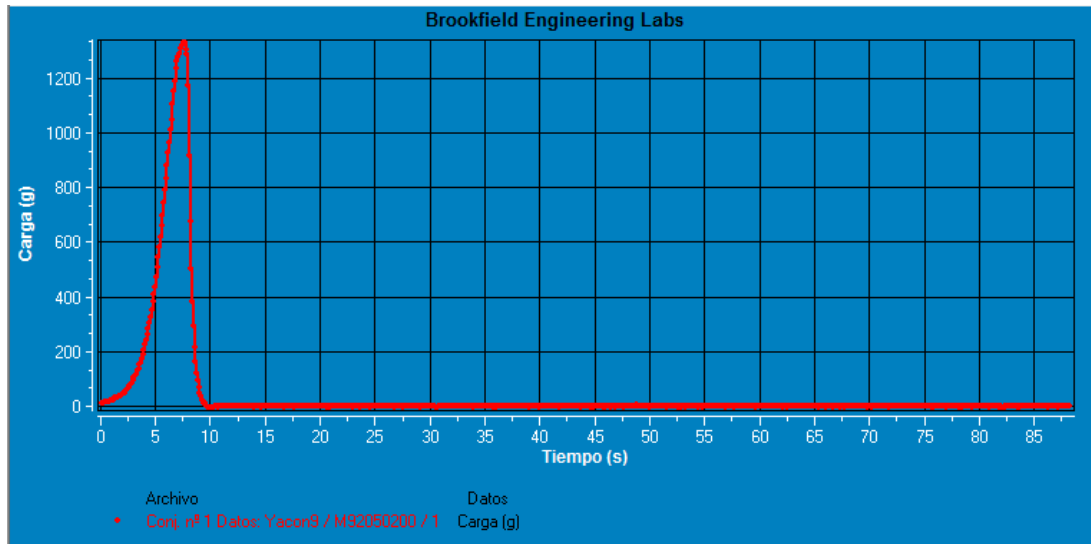
---

Muestra 20°brix -50°C- 200mbar

<b>Fecha:</b>	05/07/2018	<b>Hora</b>	14:20:35
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---





**Anexo 20.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 40 °Brix, T=50°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

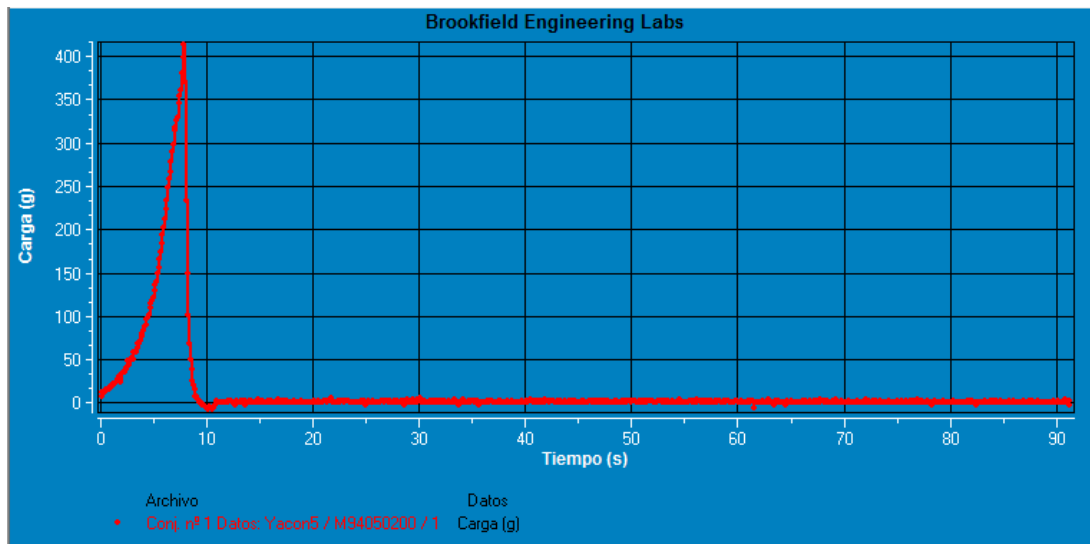
**Método Test**

---

Muestra 40°brix -50°C- 200mbar

<b>Fecha:</b>	06/07/2018	<b>Hora</b>	09:40:34
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 21.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 20 °Brix, T=40°C y P= 100 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

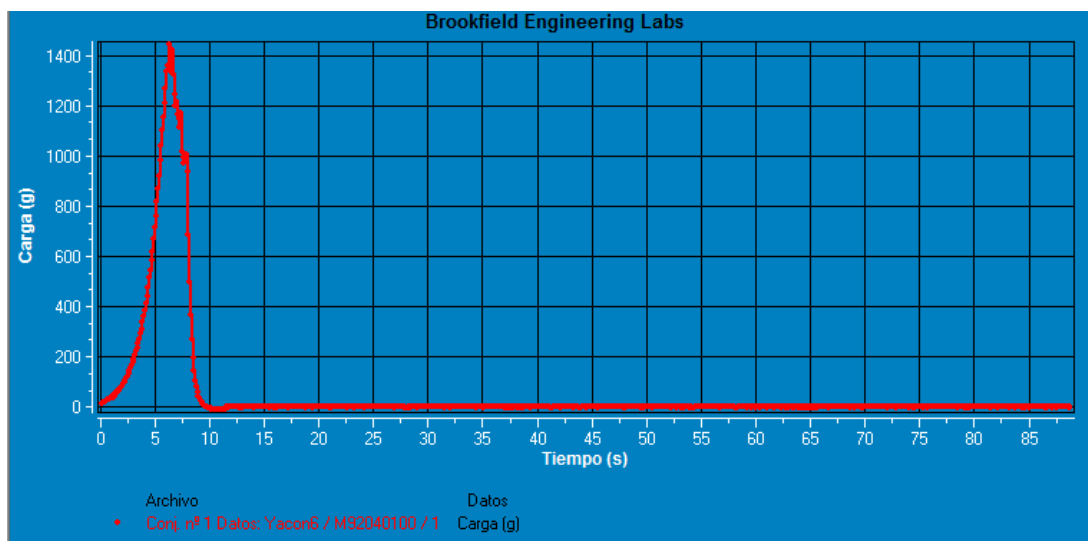
**Método Test**

---

Muestra 20°brix -40°C- 100mbar

<b>Fecha:</b>	06/07/2018	<b>Hora</b>	12:58:46
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 22.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 40 °Brix, T=40°C y P= 100 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

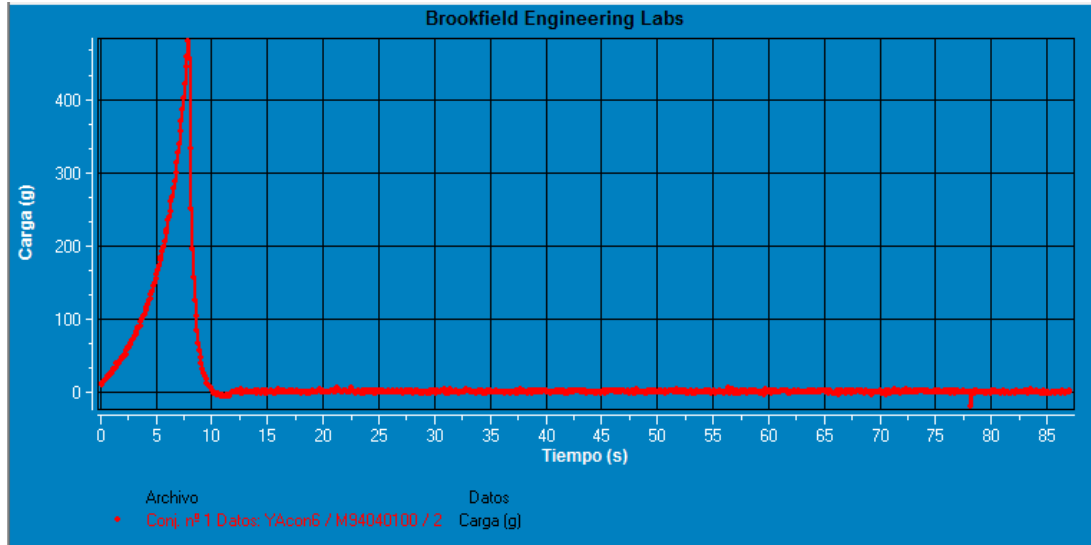
### **Método Test**

---

Muestra 40°brix -40°C- 100mbar

<b>Fecha:</b>	06/07/2018	<b>Hora</b>	16:22:36
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 23.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=40°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

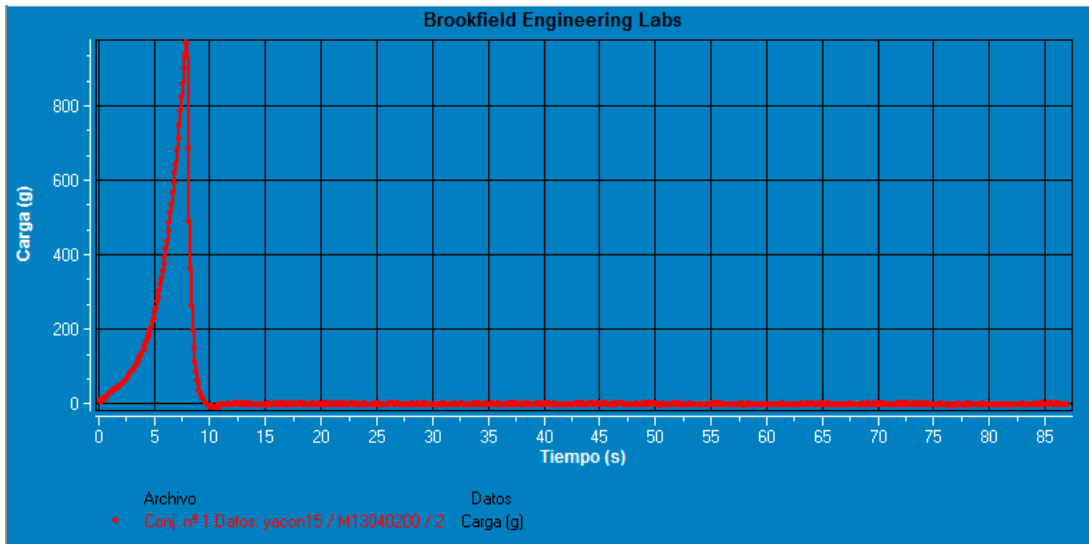
**Método Test**

---

Muestra 30°brix -40°C- 200mbar

<b>Fecha:</b>	07/07/2018	<b>Hora</b>	11:52:41
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 24.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 20 °Brix, T=40°C y P= 300 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

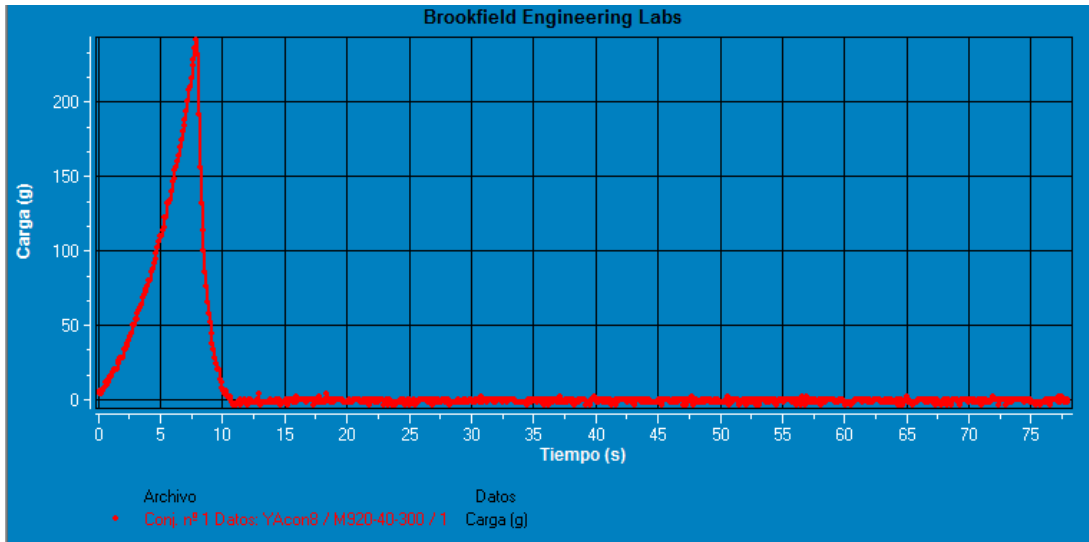
**Método Test**

---

Muestra 20°brix -40°C- 300mbar

<b>Fecha:</b>	07/07/2018	<b>Hora</b>	16:24:55
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 25.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 40 °Brix, T=40°C y P= 300 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

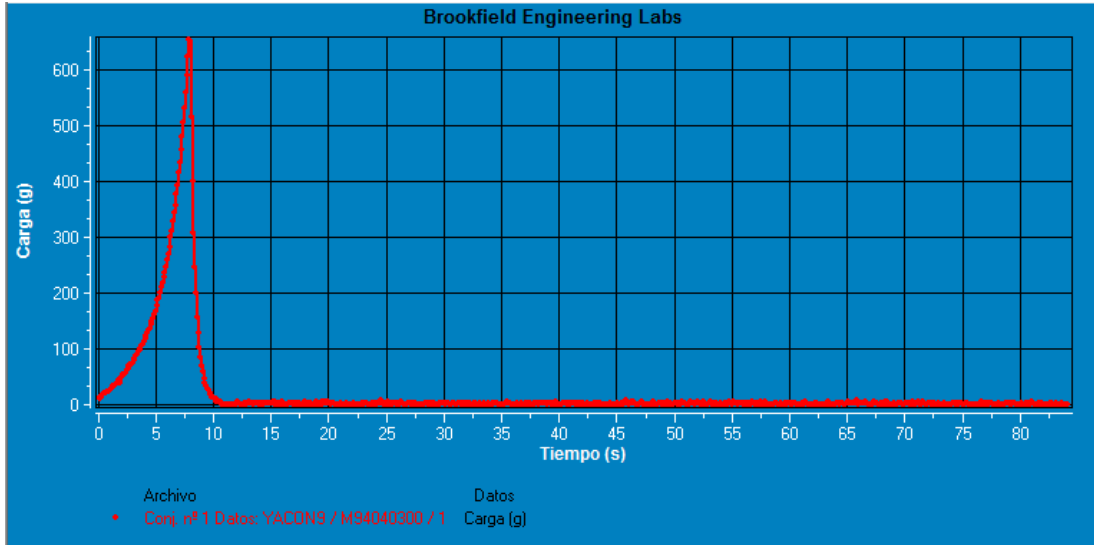
**Método Test**

---

Muestra 40°brix -40°C- 300mbar

<b>Fecha:</b>	08/07/2018	<b>Hora</b>	11:46:15
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 26.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=30°C y P= 100 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

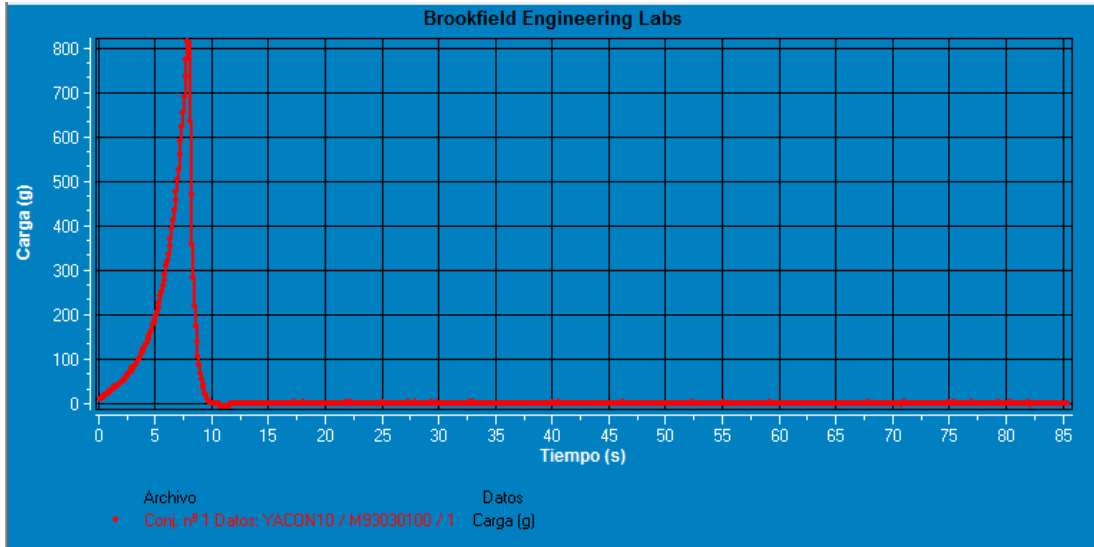
**Método Test**

---

Muestra 30°brix -30°C- 100mbar

<b>Fecha:</b>	08/07/2018	<b>Hora</b>	17:24:20
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 27.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=50°C y P= 100 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

**Método Test**

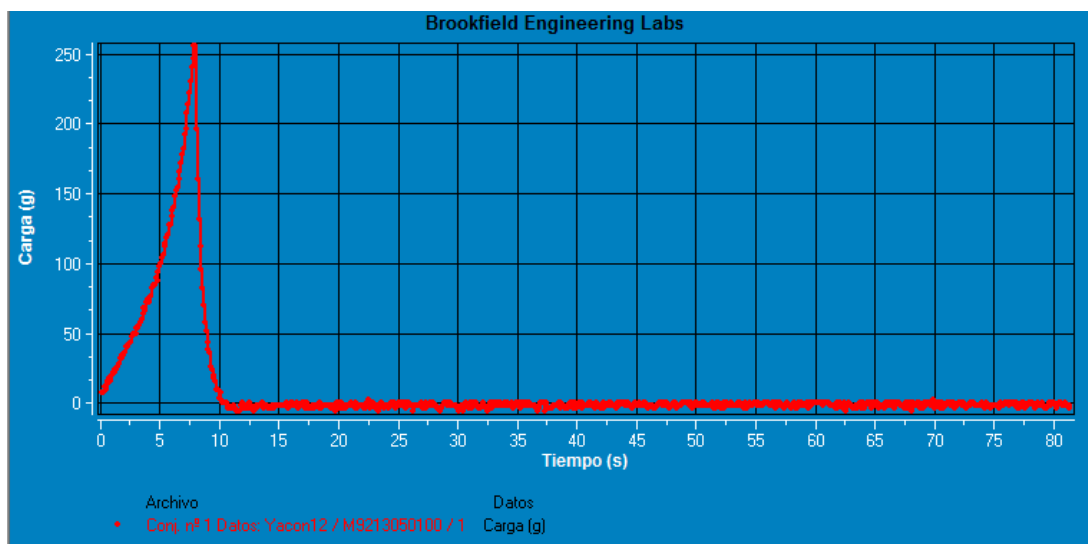
---

Muestra 30°brix -50°C- 100mbar

<b>Fecha:</b>	10/07/2018	<b>Hora</b>	09:20:46
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---





**Anexo 28.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=30°C y P= 300 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

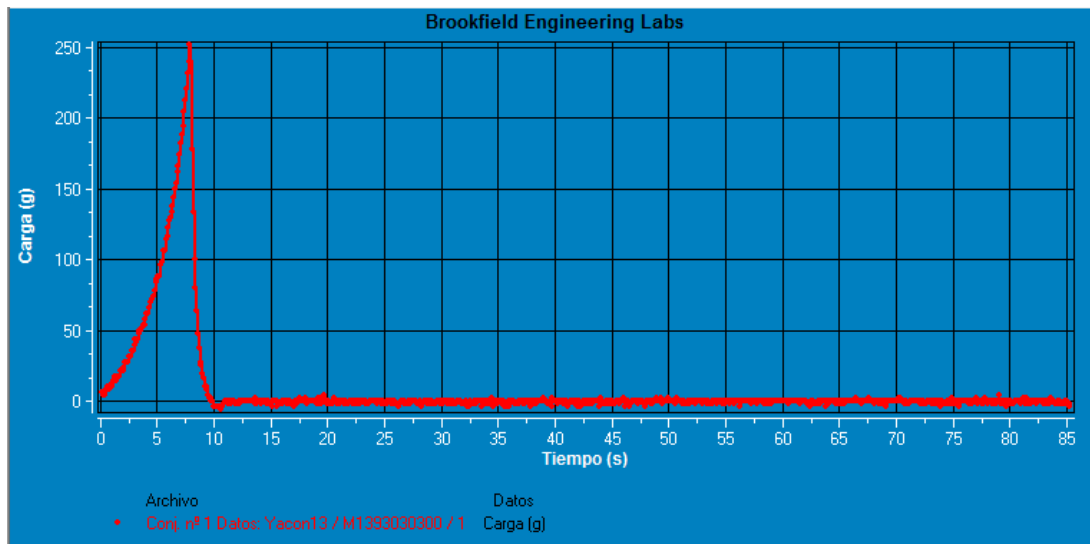
### **Método Test**

---

Muestra 30°brix -30°C- 300mbar

<b>Fecha:</b>	11/07/2018	<b>Hora</b>	12:20:31
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 29.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=50°C y P= 300 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

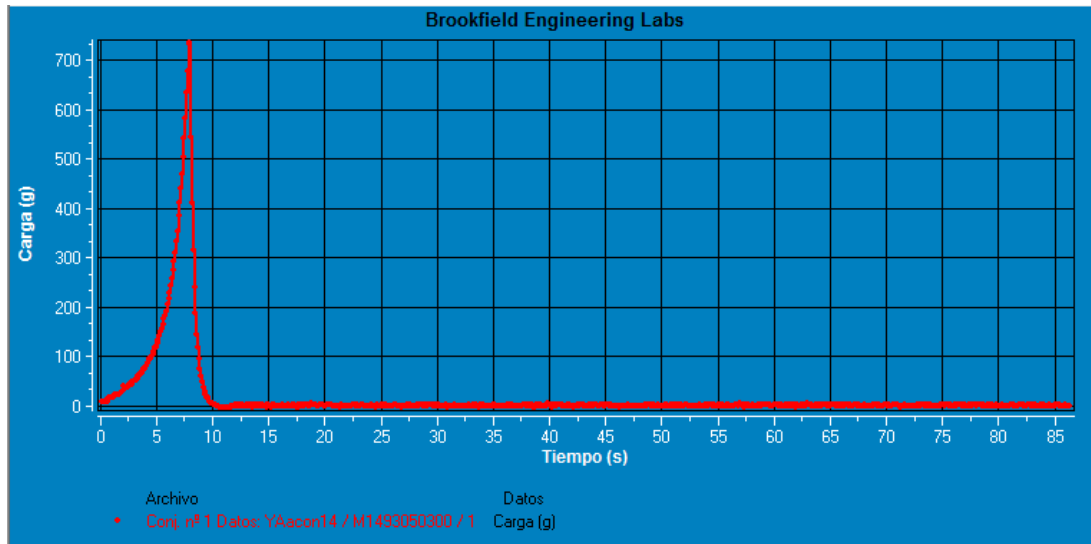
**Método Test**

---

Muestra 30°brix -50°C- 300mbar

<b>Fecha:</b>	11/07/2018	<b>Hora</b>	17:40:35
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



**Anexo 30.** Análisis de textura para el tratamiento PVDO a C= 30 °Brix, T=40°C y P= 200 mbar, después de ser sometida a deshidratación osmótica

---

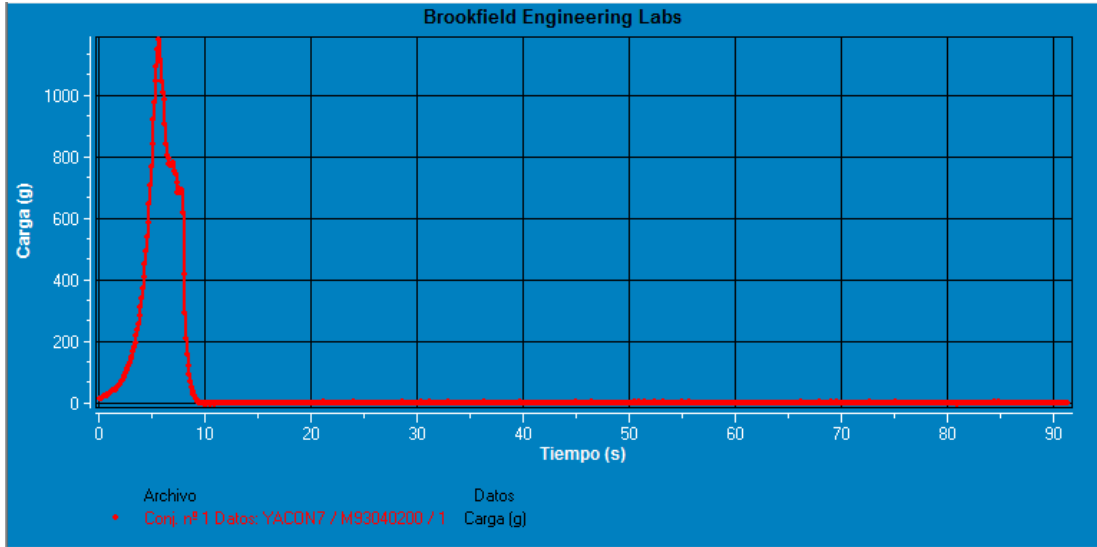
**Método Test**

---

Muestra 30°brix -40°C- 200mbar

<b>Fecha:</b>	13/07/2018	<b>Hora</b>	10:38:26
<b>Tipo de Test:</b>	Compresión	<b>Tpo. Recuperación:</b>	0 s
<b>Objetivo:</b>	4.0 mm	<b>Mismo activador:</b>	Falso
<b>Esperar t.:</b>	0 s	<b>Velocidad Pretest:</b>	2 mm/s
<b>Carga Activación:</b>	7g	<b>Fr. Muestreo:</b>	10 points/sec
<b>Vel. Test</b>	0.50 mm/s	<b>Sonda:</b>	TA3/100
<b>Velocidad Vuelta</b>	0.5 mm/s	<b>Elemento:</b>	TA-RT-KIT
<b>Contador ciclos:</b>	1.0	<b>Celda Carga:</b>	2500g

---



## Anexo 31. Panel de fotos de investigación





**Solución osmótica de sacarosa**



**Inmersión de rodajas en la solución**



**Máquina de vacío**



**Muestras puestas a deshidratación al vacío**



**Pulsos de vacío**



**Peso inicial de la muestra**



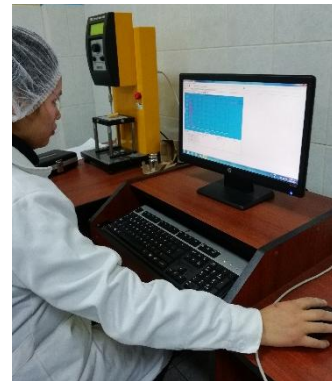
**Medición de los °Brix**



**Medición de la textura de la  
rodajas después de su tratamiento**



**Medición de la textura**



**Análisis de textura**



**Deshidratación de las rodajas de  
yacón**



**Peso de las muestras  
deshidratadas**