

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**“DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA
DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN RODAJAS”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LILIANA VILCA YUCRA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO - PERU

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

“DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN
OSMÓTICA DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) EN RODAJAS”

TESIS

PRESENTADA POR:

LILIANA VILCA YUCRA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE


.....
Ing. EDGAR GALLEGOS ROJAS

PRIMER MIEMBRO


.....
Ing. M. Sc. ELIZABETH HUANATICO SUAREZ

SEGUNDO MIEMBRO

.....
Ing. M. Sc. JOSÉ MANUAL PRIETO

DIRECTOR


.....
Ing. M. Sc. F. VÍCTOR CHOQUEHUANCA CÁCERES

PUNO – PERU

2015

ÁREA: Ingeniería y tecnología

TEMA: Propiedades físicas y estructurales

DEDICATORIA

Porque es el creador, quien ha dirigido y guiado mis pasos, porque es el quien me brindo fortaleza, cuando he estado a punto de caer, por ello con toda humildad de mi corazón dedico mi trabajo a Dios.

A mi padre con amor. Pascual por cuidarme y guiarme siempre.

A mi madre Francisca por el gran amor que siempre me han brindado de forma incondicional.

A mis hermanas Yaneth y Katy por su apoyo que siempre me han brindado.

Dedico esta tesis a dos seres que más amo en este mundo: a Carlos David y a mi querido hijo Sebastián por ser la fuente de mi inspiración y motivación para superarme cada día más y así poder luchar para tener un futuro mejor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ciencias Agrarias en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, a los docentes por la formación profesional que recibimos en los años de permanencia en sus aulas.

Ing. M. Sc. Víctor Florentino Choquehuanca Cáceres docente de la Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial por su orientación, sus consejos y ayuda invaluable en la realización del trabajo de investigación, quien confió en mí, con amor paciencia, comprensión y motivación.

A los Ing. Edgar Gallegos Rojas, Ing. Elizabeth Huanatico Suarez docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por su apoyo durante la revisión y corrección del presente trabajo de investigación.

Al Ing. José Manuel Prieto docente de la Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial por su orientación, sus consejos y ayuda invaluable en el trabajo de investigación, quien con paciencia, comprensión y motivación que se me brinda, durante la realización de esta investigación.

Al personal administrativo, por las facilidades brindadas en los Laboratorios, Bibliotecas para la ejecución del presente trabajo.

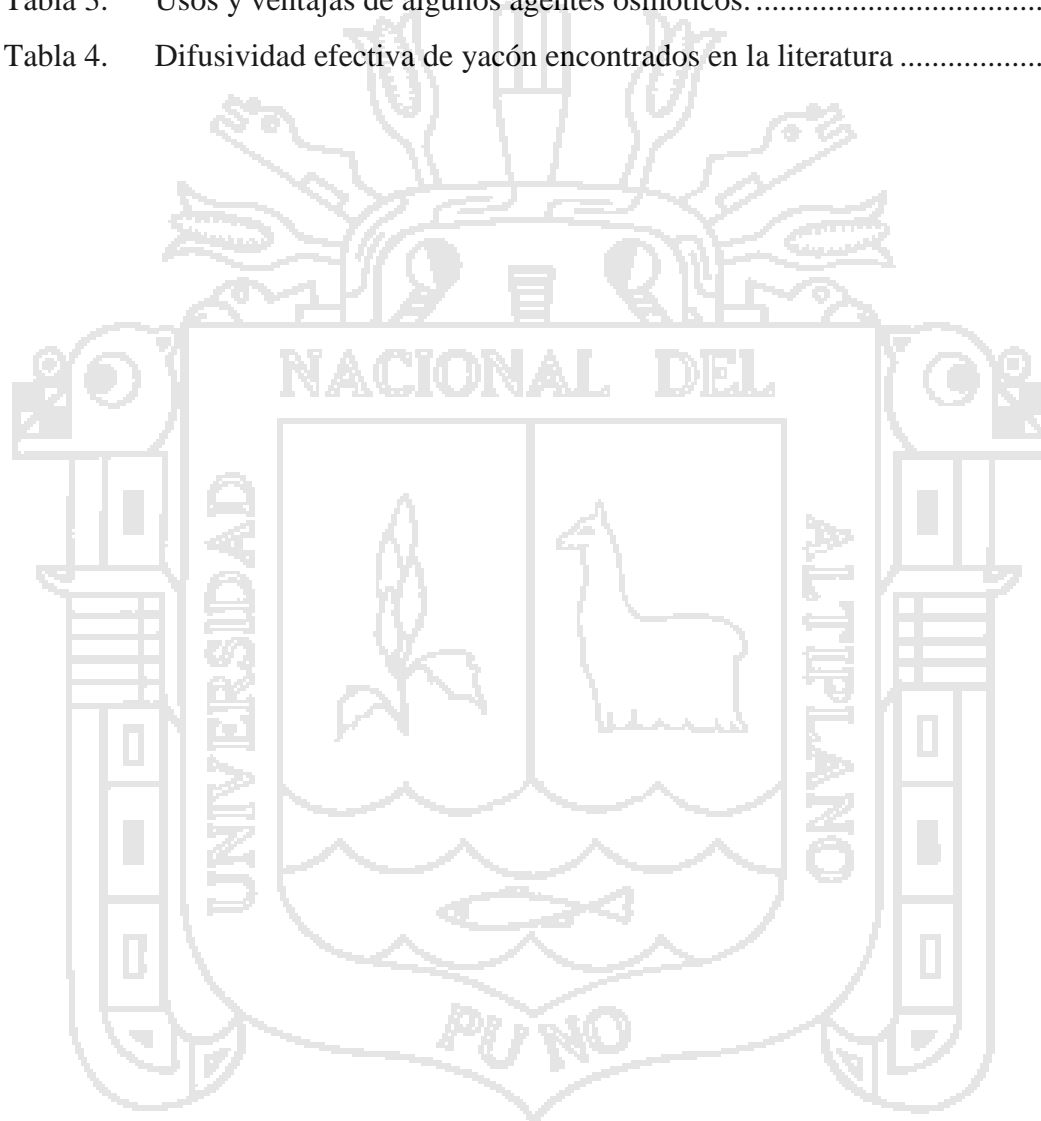
ÍNDICE

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	MARCO TEÓRICO.....	3
2.1.	ASPECTOS GENERALES DE YACÓN.....	3
2.1.1.	Clasificación taxonómica del yacón.....	3
2.1.2.	Descripción botánica.....	4
2.2.	COMPOSICIÓN DEL YACÓN Y ZUMO CONCENTRADO DE YACÓN...	6
2.2.1.	Composición química de yacón.....	6
2.2.2.	Composición química de zumo concentrado de yacón.....	8
2.3.	MANEJO POSCOSECHA.....	9
2.4.	DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	10
2.4.1.	Factores que afectan el proceso de deshidratación osmótica.....	10
2.4.1.1.	Características de la materia prima.....	10
2.4.1.2.	Naturaleza del agente osmótico.....	11
2.4.1.2.1.	Zumos naturales como agente osmóticos.....	12
2.4.1.3.	Concentración del agente osmótico.....	13
2.4.1.4.	Temperatura de trabajo.....	13
2.4.1.5.	Presión de trabajo.....	14
2.4.1.6.	Agitación del sistema.....	15
2.5.	IMPREGNACIÓN AL VACÍO.....	15
2.6.	MECANISMO HIDRODINÁMICO.....	16
2.6.1.	Deshidratación osmótica con pulsos de vacío.....	16
2.7.	DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y MÉTODOS COMBINADOS.....	18
2.7.1.	Frutas.....	18
2.8.	TRANSFERENCIA DE MASA.....	18
2.8.1.	Clasificación general de la transferencia de masa.....	19
2.9.	DIFUSIÓN.....	20
2.9.1.	Difusión molecular.....	20
2.10.	MODELOS MATEMÁTICOS DE TRASFERENCIA DE MASA.....	21
2.10.1.	Modelo de Crank.....	21
2.10.2.	Modelo de Magee.....	22
2.10.3.	Modelo de mecanismo hidrodinámico.....	22
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25

3.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO.....	25
3.2.	MATERIALES	25
3.2.1.	Materia prima.....	25
3.2.2.	Materiales y equipos de laboratorio.....	25
3.2.3.	Instalación del equipo de deshidratación osmótica con pulsos al vacío ...	26
3.3.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	27
3.3.1.	Procedimiento experimental para la obtención de zumo concentrado de yacón	28
3.3.2.	Procedimiento experimental para la deshidratación osmótica de yacón ..	30
3.3.2.1.	Determinación de humedad.....	31
3.3.2.2.	Determinación de contenido de sólidos solubles.....	31
3.3.2.3.	Determinación de la variación de masa.....	32
3.3.2.4.	Determinación de la variación de agua y sólidos solubles	32
3.3.3.	Determinación del coeficiente de difusividad efectiva en yacón	33
3.3.4.	Análisis sensorial	35
3.4.	DISEÑO EXPERIMENTAL	35
3.5.	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	36
3.6.	VARIABLES DEPENDIENTES.....	36
3.7.	MATRIZ DEL DISEÑO	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	37
4.1.	CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE YACÓN.....	37
4.1.1.	Determinación de variación de masa	37
4.1.2.	Determinación de variación de agua.....	40
4.1.3.	Variación de sólidos solubles	43
4.1.4.	Coefficiente de difusividad en yacón.....	46
4.2.	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE YACÓN, ZUMO CONCENTRADO Y ANÁLISIS SENSORIAL DE YACÓN OSMODESHIDRATADO	50
4.2.1.	Composición Química Proximal Yacón y Zumo Concentrado	50
4.2.1.1.	Composición Química Proximal Yacón Osmodeshidratado.....	52
4.2.2.	Características sensoriales de yacón osmodeshidratado.....	52
V.	CONCLUSIONES	54
VI.	RECOMENDACIONES	55
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	56
VIII.	ANEXO.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición Química en materia fresca de raíces de yacón.....	6
Tabla 2.	Composición Química de zumo concentrado de yacón.	8
Tabla 3.	Usos y ventajas de algunos agentes osmóticos.	12
Tabla 4.	Difusividad efectiva de yacón encontrados en la literatura	21



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Inflorescencia típica de la planta, hojas de una planta de yacón de ocho meses de edad	4
Figura 2. Campo de cultivo, parte subterránea de la planta: corona (cepa) y raíces	5
Figura 3. Distribución de los azúcares (°Brix) dentro de las raíces del yacón.....	7
Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de jarabe concentrado de yacón.	27
Figura 5. Diagrama de flujo del procedimiento experimental de deshidratación osmótica y aplicación de pulso de vacío.....	29



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Variación de masa (ΔM) en función del tiempo para rodajas de yacón a diferentes Presiones de vacío, Concentraciones y Temperaturas.	37
Gráfico 2. Superficie de Respuesta de pérdida porcentual de peso con respecto a la concentración y temperatura, tomando la aplicación de pulso a vacío constante en 500 mbar.	39
Gráfico 3. Variación de agua (ΔM_w) en función del tiempo para rodajas de yacón a diferentes presiones de vacío, concentraciones y temperaturas.	40
Gráfico 4. Superficie de respuesta de pérdida porcentual de agua con respecto a la concentración y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 500 mbar.	42
Gráfico 5. Variación de solidos solubles (ΔM_s) en función del tiempo para rodajas de yacón a diferentes presiones de vacío, concentraciones y temperatura.	43
Gráfico 6. Superficie de respuesta de ganancia de solidos con respecto a la concentración y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 500 mbar.	45
Gráfico 7. Superficie de respuesta de coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la aplicación de presión de vacío y concentración de jarabe, tomando la temperatura constante en 30°C	47
Gráfico 8. Superficie de respuesta de coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la aplicación de presión de vacío y temperatura, tomando la concentración de jarabe constante en 35°Brix.	48
Gráfico 9. Superficie de respuesta de coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la concentración de jarabe y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 500 mbar.	49
Gráfico 10. Valores promedio de las características sensoriales de yacón osmodeshidratado.	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cinco niveles de Diseño Central Compuesto (DCC).....	35
Cuadro 2. Factores en Estudio	36
Cuadro 3. Numero de tratamientos para tres factores en un DCCR.....	36
Cuadro 4. Coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la concentración, temperatura y aplicación de pulso de vacío para los diferentes tratamientos en un tiempo de 150 minutos.	46
Cuadro 5. Composición química de raíz de yacón y zumo concentrado de yacón en base húmeda.....	50
Cuadro 6. Composición Química Proximal Yacón Osmodeshidratado en base húmeda.....	52



RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se estudió la cinética de deshidratación osmótica de yacón en rodajas, los objetivos del trabajo fueron establecer los parámetros adecuados de temperatura, presión y concentración sobre la cinética de pérdida de peso, ganancia de sólidos, la pérdida de agua, determinar la difusividad efectiva durante la deshidratación osmótica y evaluar las características fisicoquímicas y sensoriales de yacón osmodeshidratado, las raíces se pelaron y cortaron en rodajas de 0.5cm de espesor, se deshidrató osmóticamente con Pulsos al Vacío, utilizando como agente osmótico, zumo concentrado de yacón. El proceso se realizó aplicando presiones de 400, 500 y 600 mbar, por diez minutos al inicio del proceso de deshidratación y el resto de proceso a presión atmosférica, cuya cinética se determinó a tiempos de 150 min. La relación fruta: solución es de 1:10, usando soluciones de 30, 35 y 40°Brix; a temperaturas de 20, 30 y 40 °C. Las muestras fueron trabajadas en el módulo de deshidratación osmótica donde se generó un pulso de vacío para todos los tratamientos, sometiéndose a los siguientes tiempos 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 150 minutos; la evaluación sensorial de las rodajas de yacón osmodeshidratado se determinó utilizando una escala hedónica de 5 puntos, en la pruebas participo un panel de 20 consumidores semi entrenados de ambos sexos. Lográndose obtener resultados óptimos según el análisis estadístico (DCC), en la Variación de Masa 50.3093% para una aplicación de presión de 527.075 mbar, concentración 43,409°Brix y temperatura 46,8179°C. Variación de Agua máxima 60.983% a una presión de 441.926mbar, concentración 43,409°Brix y temperatura 46,8179°C. Variación de Sólidos Solubles máxima 14.7759% a una presión de 668.179mbar, concentración 26,591°Brix y temperatura 46.55°C. Obteniendo mayor valor de difusividad máxima de $7.0095 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ a una aplicación de presión de 664.75mbar, concentración 26.591°Brix y temperatura 46.8179 °C, Las características fisicoquímicas del producto osmodeshidratado, reporte: Humedad 74.5%, Cenizas 0.85%, Proteínas 0.91%, Grasa 0.53%, Fibra 0.30% y Carbohidratos 22.88%. Del análisis sensorial la característica que logró mayor valor fue el sabor con 4.3 que se encuentra entre bueno y muy bueno. Concluyendo que la temperatura y la concentración de la solución osmótica resultan altamente significativas en el proceso de osmodeshidratación, además que se conserva las características fisicoquímicas y mejora la calidad sensorial.

Palabras claves: Deshidratación Osmótica, Difusividad Efectiva, Pulsos al Vacío, Yacón

I. INTRODUCCION

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es una planta indígena de América tropiandina, de un agradable sabor dulce y refrescante, esta característica se debe a que el yacón a diferencia de otros tubérculos y raíces que almacenan sus carbohidratos en forma de almidón, el yacón almacena sus carbohidratos principalmente en forma de fructooligosacáridos (llamado de la misma manera oligofructanos), por lo que resulta un tubérculo apropiado para diabéticos, constituyéndose una ventaja que podría explotarse.

La Deshidratación Osmótica (DO), es una de las técnicas empleadas para conservar frutas la cual 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. Por esta razón es necesaria la aplicación de otros métodos de conservación adicionales como congelación, pasteurización o secado.

La pérdida de humedad, ganancia de sólidos y pérdida de peso durante la Deshidratación Osmótica se pueden evaluar mediante cinéticas, debido a los mecanismos de transferencia de masa, agua y sólidos que se dan simultáneamente e influenciados por varios factores (temperatura, concentración, presión etc.), por las condiciones de operación y las características estructurales del producto.

Se ha estudiado el comportamiento de la cinética de transferencia de masa al aplicar pulsos de vacío durante la deshidratación osmótica, que bajo estas condiciones se lleva a cabo el fenómeno de mecanismo hidrodinámico. Este mecanismo hidrodinámico ocurre debido a las diferencias de presiones que se presentan en el sistema, que provoca la salida de gas o líquido interna desde el tejido y la entrada de la solución externa, por lo que se establece la pérdida de agua y la absorción de solutos externos.

Con la deshidratación osmótica de pulsos de vacío (PVOD) el efecto del mecanismo hidrodinámico se consigue en un corto tiempo durante la aplicación de vacío, al restituir la presión atmosférica; ocurre la entrada del líquido externo en los poros del tejido 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.

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. Tal es el caso del zumo de yacón que se utiliza como edulcorante natural y para evaluar la efectividad del proceso de Deshidratación Osmótica se estudia la difusividad efectiva del agente osmótico que a menudo dependen de las condiciones de la materia prima y del tipo de tratamiento, en muchas investigaciones aplican la ley de Fick, en esta investigación se empleará una variante de dicha ecuación por la aplicación de pulsos de vacío.

Los objetivos de la investigación fueron las siguientes:

1. Establecer los parámetros adecuados de temperatura, presión y concentración sobre la cinética de pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de yacón en rodajas
2. Determinar la difusividad efectiva a diferentes temperaturas, concentraciones y presiones en la deshidratación osmótica del yacón en rodajas
3. Evaluar las características fisicoquímicas y sensoriales del yacón osmodeshidratado con zumo concentrado de yacón

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ASPECTOS GENERALES DE YACÓN

2.1.1. Clasificación taxonómica del yacón

El yacón es una especie de la familia Asteraceae (también llamada Compositae) y su nombre científico es *Smallanthus sonchifolius* (Poepp & Endl) H. Robinson en la literatura científica se ha usado también *Polymnia sonchifolia*, para referirse al yacón. Originalmente el yacón había sido clasificado dentro del género *Polymnia*. Sin embargo, algunos años más se determinó que muchas de las especies del género *Polymnia*, entre las cuales se encontraba el yacón, en realidad pertenecían a un género que había propuesto hacia algunos años: el género *Smallanthus*. Las diferencias entre los dos géneros se refieren al patrón de estrías en la superficie del fruto (aquenio), la presencia de un verticilo externo de brácteas involucreales, la ausencia de glándulas en el apéndice de la antera, entre otros Ramos (2007).

Según (Ramos, 2007), en la actualidad el género *Smallanthus* es el más usado entre los taxónomos para identificar al yacón:

Reino: vegetal

División: magnoliophyta

Clase: magnoliopsida

Orden: asterales

Familia: asteraceae

Género: *Smallanthus*

Especie: *Sonchifolius*

Nombre científico: *Smallanthus sonchifolius*

2.1.2. Descripción botánica

La planta de yacón es herbácea perenne, mide de 1 a 2.5 m de alto. Los tallos son cilíndricos, pilosos y huecos de color verde a púrpura. El yacón tiene raíces fibrosas y reservantes. Las raíces fibrosas son muy delgadas y su función es la fijación de la planta al suelo y la absorción de agua y nutrientes. Las raíces reservantes son engrosadas, fusiformes u ovadas, de color blanco, crema o púrpura, principalmente (Seminario *et al*, 2003).

Figura 1. Inflorescencia típica de la planta, hojas de una planta de yacón de ocho meses de edad



Fuente: Seminario *et al*. (2003)

Las hojas son opuestas de lámina triangular, de base trunca, astada o cordada (acorazonada). Hasta la floración en cada tallo se produce entre 13 a 16 pares de hojas, después de la floración la planta solo produce hojas pequeñas como se muestra en la (figura 1), mientras la inflorescencia; la rama floral es terminal de ramificación dicásica, compuesta de inflorescencia llamas capítulos o cabezuelas. Cada capítulo está formado por flores femeninas y masculinas (Seminario *et al*, 2003).

Las raíces reservantes tienen una apariencia bastante semejante a las raíces reservantes del camote. Diferentes factores como la variedad, el tipo de suelo, la localidad, entre otros– pueden influenciar en la forma y el tamaño de las raíces. Su peso puede fluctuar fácilmente entre los 50 y 1000 gramos, pero mayormente lo hacen entre los 300 y 600 gramos. Bajo un sistema de producción poco tecnificado, una planta produce entre 2 y 4 Kg de raíces reservantes. Sin embargo, con abonamiento y un adecuado manejo agronómico, el peso por planta puede llegar cerca a los 6 Kg. (Seminario *et al*, 2003).

Figura 2. Campo de cultivo, parte subterránea de la planta: corona (cepa) y raíces



Fuente: Seminario *et al.* (2003)

La cepa es un órgano subterráneo sobre el cual se desarrollan abundantes yemas vegetativas como se muestra en la figura 2. Se forma por el engrosamiento de la parte del tallo que está dentro de la tierra y que está unida a las raíces. Sus tejidos almacenan sustancias de reserva en forma de carbohidratos simples y fructooligosacáridos, los cuales posiblemente sirven de alimento a las yemas cuando éstas van a brotar (Seminario *et al.*, 2003).

La producción de yacón en el departamento de Puno, se realiza en zonas conocidas como “Ceja de Selva” de las provincias de Sandía y Carabaya. Siendo la superficie cultivado del yacón en la región de 50.9 ha, de las cuales se cuenta con una superficie promedio por unidad agropecuaria (Número de parcelas o chacras que trabaja o conduce en el distrito,) de 0.15 ha (INEI- CENAGRO, 2012). Las características ambientales de la zona, presenta clima tropical, con alta humedad relativa, altitud de 1,500 a 3,000 msnm, y temperatura media de 13°C. Se ha identificado tres variedades con nombres vulgares informados por los mismos agricultores como: Q’ello llajum, Yurac ch’ecche y Yurac llajum. Otra clasificación que manejaban los lugareños en su lengua nativa era tomando en cuenta la forma de la raíz en: Alargadas conocidas como moteados y ovaladas o esféricas conocidas como parraceae. (Ramos, 2007).

2.2. COMPOSICIÓN DEL YACÓN Y ZUMO CONCENTRADO DE YACÓN

2.2.1. Composición química de yacón

Las raíces frescas acumulan principalmente agua y carbohidratos. Entre el 40 a 70% del peso seco está en forma de oligofructosa (OF), un azúcar especial que tiene varios efectos favorables en la salud y 15 a 40% está en forma de azúcares simples: sacarosa, fructosa y glucosa. El contenido de otros nutrientes es bajo, sólo el potasio se encuentra en cantidades importantes. Tanto las raíces como las hojas contienen compuestos con un alto poder antioxidante: ácido clorogénico, triptófano y varios fenoles derivados del ácido cafeico (Muñoz, 2009).

Tabla 1. Composición Química en materia fresca de raíces de yacón

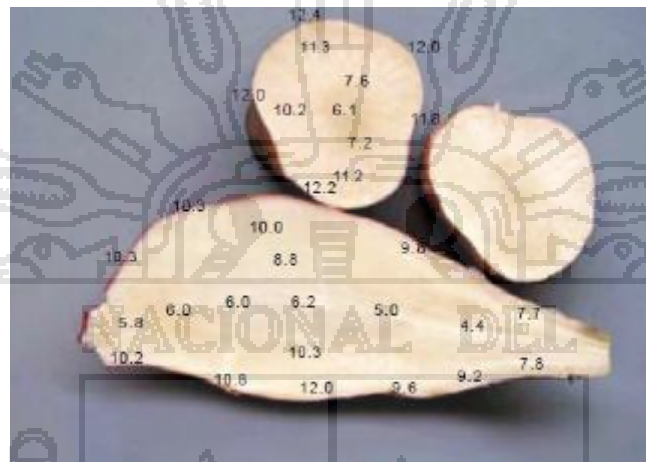
Componentes	Yacón promedio (%) (a)	Yacón promedio (%) (b)	Yacón promedio (%) (c)	Yacón promedio (%) (d)
Humedad	80.83	89.6	93-70	87.93
Proteínas	2.81	0.53	0.4-2.0	0.36
Cenizas	2.89	0.36	0.3-2.0	0.53
Extracto etéreo	0.29	0.1	0.3	0.07
Fibra	-	0.46	1.7	0.35
Solidos solubles	-	9.58	-	10.5
pH	-	6.95	-	6.02
Acidez	0.30	0.06	-	0.0315
carbohidratos	90.1	-	-	10.76
Glucosa	-	-	-	0.59
Fructuosa	-	-	-	2.34
Sacarosa	-	-	-	2.34
FOS	-	-	-	7.53

FUENTE: a) Ramos, (2007)
b) Mayta, (2008)
c) Lizagarra *et al.* (1997)
d) Cancino y Guevara, (2005)

Los valores de humedad disminuye con el tiempo de exposición al sol, siendo el morfo tipo blanco quien presenta mayor porcentaje de humedad con exposición de 48 horas se tiene 81.21% con respecto al morfo tipo morado con 73,57% (Mayta, 2008).

En cuanto a la concentración de azúcares se incrementa desde el interior de la raíz hacia la superficie (Figura 3). 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, 2003).

Figura 3. Distribución de los azúcares ($^{\circ}$ Brix) dentro de las raíces del yacón.



Fuente: Manrique, *et al*, 2003.

Mayta, (2008) reporta que en el morfotipo blanco, la concentración de sólidos solubles se incrementa a mayor tiempo de exposición de sol, es así que en tiempo cero se tiene 8.50° Brix, después de 48 horas de soleado se incrementa a 14.63° Brix.

Los Fructooligosacáridos (FOS), también conocidos como oligofructanos u oligofructosa, pertenece a una clase particular de azúcares conocidos con el nombre de fructanos. La estructura fundamental es un esqueleto de unidades de fructosa unidades entre sí por los enlaces glucosídicos β (1-2). La unión β (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, 2008).

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, 2008).

2.2.2. Composición química de zumo concentrado de yacón

Tabla 2. Composición Química de zumo concentrado de yacón.

Componentes	Zumo concentrado de yacón (%) (a)	Jarabe de yacón (%) (b)	Jarabe de yacón (g) (c)
Humedad	25.24	25.5	30
Proteínas	1.63	1-2	-
Cenizas	3.49	2.9	-
Extracto etéreo	0.1	0.1	-
Fibra	0	50 ^a	-
Sólidos solubles	76.5	73±1	70
pH	5.09	4.2-5.8	4.41
Acidez	0.6195		-
carbohidratos	69.54	65-70	-
Glucosa	1.94	15.5*	9.0
Fructuosa	5.35	25.4*	4.29
Sacarosa	14.21	12.2*	12.1
FOS	45.01		44.6

*glucosa, fructosa, sacarosa libre, ^a fibra soluble

Fuente:

a) Cancino y Guevara, (2005)

b) Manrique *et al.* (2005).

c) López, (2007)

El jarabe de yacón está compuesto principalmente de carbohidratos (65 a 70%) y agua (alrededor de 25%). Las proteínas representan entre el 1 y 2% del peso fresco, las grasas menos del 0.1% y el potasio, el único mineral que se encuentra en cantidades importantes representa alrededor del 1%, debido a que los FOS son reconocidos como un tipo de fibra soluble, se puede considerar que el porcentaje de fibra es tan alto como el valor final que alcanzan los FOS en el jarabe. Diferentes factores pueden modificar fácilmente la concentración de carbohidratos en la materia prima. Por ello, la composición relativa de los FOS y de los azúcares simples puede variar mucho en el jarabe de yacón. Pero para impedir que los FOS se conviertan en azúcares simples durante el almacenamiento del jarabe de yacón se recomienda que el pH no sea menor a 4 (Manrique *et al.* 2005; López, 2007).

2.3. MANEJO POSCOSECHA

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. 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). De esta manera, la tierra adherida a las raíces puede ayudar a que la deshidratación sea más lenta y a que se produzca un menor daño en la cáscara de las raíces durante el transporte. 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 disminuye significativamente si se usan temperaturas de refrigeración (5 a 6°C) durante el almacenamiento (Seminario *et al.* 2003).

2.4. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La deshidratación osmótica se le conoce como la concentración de alimentos mediante la inmersión del producto en una solución hipertónica ya sea azúcar o sal y otros, (Barbosa y Vega 2000), 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 en la segunda es la diferencia de concentraciones (Barbosa y Vega, 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. El escaldado afecta a la fase inicial de la deshidratación osmótica, aunque las pérdidas de agua finales no sean muy distintas de las del producto no tratado. 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 y Vega, 2000).

2.4.1. Factores que afectan el proceso de deshidratación osmótica

2.4.1.1. Características de la materia prima

Durante la transferencia de agua/soluto(s) que ocurre en el proceso de deshidratación osmótica, un factor determinante 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, 2007).

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 y distribución de los espacios intercelulares, la presencia de gas, la relación entre las diferentes fracciones pécticas (pectina soluble en agua y protopectina), el nivel de gelificación de pectina y la actividad enzimática de la fruta. 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, 2007).

La geometría y tamaño del producto, relacionados con la superficie específica, es otra de las variables importantes a controlar, ya que, grandes superficies específicas favorecen la pérdida de agua y la ganancia de sólidos. A mayor superficie disponible para la deshidratación osmótica, más eficaz será el proceso (Torres, 2007).

2.4.1.2. Naturaleza del agente osmótico

El tipo de agente osmótico es un factor muy importante que determina la velocidad de difusión. El tipo común de soluto utilizado como agentes osmóticos son sacarosa, glucosa, sorbitol, glicerol, jarabe de glucosa, jarabe de maíz y fructooligosacáridos. 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).

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, y
- La masa molecular del mismo (Barbosa y Vega, 2000).

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

Tabla 3. Usos y ventajas de algunos agentes osmóticos.

Nombre	Usos	Ventajas
Cloruro sódico	Carnes y verduras Soluciones hipertónicas al 10%	Alta capacidad de depresión a_w
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 a_w de las sales con alta capacidad de eliminación de agua del azúcar

Fuente: Barbosa y Vega, (2000).

2.4.1.2.1. Zumos naturales como agente osmóticos

Los tratamientos osmóticos han sido generalmente aplicados para la remoción de agua; pero, esto es también posible para que el alimento se impregne de compuestos que podrían modificar sus propiedades, nutricionales, sensoriales o funcionales (Cancino, y Guevara, 2005).

Muchas frutas y hortalizas además de aportar nutrientes, y componentes de aroma, sabor, color y textura contienen ciertas sustancias químicas capaces de tener efectos positivos para promover y/o restaurar la salud al tener características dietéticas y propiedades funcionales. Tal es el caso del yacón, del cual luego de realizarle una extracción, se obtiene un zumo que contiene principalmente fructanos de baja polimerización a los que llamamos fructooligosacáridos - FOS - (carbohidrato formado por polímeros de fructosa), los cuales pueden usarse como edulcorantes naturales que no son metabolizados por el organismo humano; pero sí son utilizados por la flora bacteriana benéfica del colon, comportándose como un prebiótico. Vale la pena señalar que el yacón también presenta azúcares libres tales como glucosa, fructosa y sacarosa. Pero, el mayor o menor contenido de éstos dependerá de la variedad y del manejo pos cosecha, temas de investigación que se están realizando en la actualidad. Como una contribución a esta importante área se realizó un trabajo de investigación donde se concentró zumo de yacón para su posterior

uso como agente osmótico en rodajas de yacón, con excelentes resultados (Cancino, y Guevara, 2005).

Además, Phisut, (2012), reporta que la comparación entre los efectos de fructooligosacáridos y sacarosa como agentes osmóticos en la deshidratación osmótica en cubos de manzana muestran que la ganancia de sólidos en caso de fructooligosacáridos fue menos de la mitad del sólido ganado en el caso de la sacarosa. En cuanto a la diferencia en composición química y la estructura que hacen el comportamiento osmótico de fructooligosacáridos difiere de sacarosa. Esto es debido probablemente, a que los fructooligosacáridos tenían un peso molecular mayor que sacarosa, lo que resulta menor tasa de difusión.

2.4.1.3. Concentración del agente osmótico

Una variable interesante a evaluar es la concentración del agente osmótico que puede influir sobre la cinética de 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 (Phisut, 2012).

(Gavidia *et al*, 2013) Estudiaron el efecto sinérgico de fructooligosacáridos y sacarosa como agentes osmóticos en cubos de yacón. El resultado mostro que la concentración (42 °Brix) influye significativamente en el porcentaje de humedad, ganancia de sólidos y en la difusividad efectiva promedio. Estos resultados concuerdan de alguna manera con los trabajos realizados por Maldonado *et al*, (2008), quienes reportaron sobre la cinética de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón en placas, utilizando la sacarosa (40 °Brix) como agente osmótico, donde se demuestra que la mayor pérdida de agua y ganancia de sólidos se obtuvo en los primeros minutos.

2.4.1.4. Temperatura de trabajo

La temperatura es una de las variables que más afecta el proceso de deshidratación osmótica. Un aumento de la temperatura intensifica la eliminación de agua y la penetración de la sustancia osmótica en el 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 y Vega, 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, 2007).

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).

2.4.1.5. Presión de trabajo

La presión de vacío puede considerarse como importante en las variables externas. En general la presión al vacío oscila entre 50 – 600 mbar (Fito, *et al*, 1996; Barat *et al*, 2001). Durante el proceso de deshidratación osmótica, la presión de trabajo puede desempeñar un papel muy importante influyendo directamente en la cinética de transporte de materia del mismo. Es importante señalar que la relevancia de esta variable va ligada a la porosidad del producto a deshidratar. En los últimos años, numerosos trabajos se han centrado en analizar y comparar los resultados obtenidos de la deshidratación osmótica en frutas, con el intento de mejorar la calidad de los productos deshidratados, trabajando en condiciones de presión atmosférica (OD) y de vacío (VOD). Cuando se trabaja en condiciones de vacío, se observan cinéticas de transferencia de masa más rápidas debidas a la actuación del mecanismo hidrodinámico, que aumenta la superficie de contacto de la fruta con la fase líquida externa. El problema que presenta el empleo de ésta técnica es el

aumento del costo del equipo. Sin embargo, si se tiene en cuenta que el mecanismo hidrodinámico (HDM) es muy rápido y sucede cuando se rompe el vacío del sistema, se puede aplicar la técnica de deshidratación osmótica por pulsos de vacío (PVOD) que permite rentabilizar el uso del tanque de vacío, al utilizarlo solo el primer período corto del proceso (Torres, 2007).

2.4.1.6. 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 más rápida osmosis 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).

2.5. 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).

2.6. 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 (Correa *et al*, 2010).

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. Cuando los trozos de alimentos se sumergen en una solución externa la superficie de las muestras se lava y la solución penetra en los poros abiertos. Después en línea con la deformación de las membranas celulares debido a la pérdida de líquido nativo y gases se genera un gradiente de presión u HDM es promovido. Cuando se hace vacío durante todo el proceso de deshidratación osmótica (VOD), o pulsos de vacío (PVOD) ocurre, además del mecanismo difusional, el llamado *mecanismo hidrodinámico* (HDM), que consiste en que el gas presente en los poros se expande y sale gradualmente. Una vez restaurada la presión del sistema, el gradiente de presión actúa como una fuerza impulsora provocando la compresión del gas remanente y permitiendo que la disolución del exterior ocupe dicho espacio y se aumente el área de contacto interfacial. Causando un incremento en la transferencia de masa y por lo tanto una cinética más rápida. La entrada masiva de disolución osmótica provoca cambios en la composición y en el peso de la muestra, favoreciéndolos procesos difusionales en la fase líquida a través de los poros donde se ha sustituido el gas por líquido (Barbosa y Vega, 2000).

2.6.1. 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. La eliminación del gas del tejido durante el remojo y simultánea introducción de una solución contribuye a una inhibición de los procesos de pardeamiento y otros (Radziejewska *et al*, 2014).

La deshidratación osmótica con pulsos de vacío (PVOD) consiste en el intercambio interno de gases ocluidos en la matriz de un producto por un líquido o solución escogida, en este proceso se aplica un sistema de vacío que promueve la impregnación de los capilares de los tejidos y cuando la presión atmosférica es reestablecida los poros son extensamente inoculados con la solución externa y dependiendo del radio de comprensión aplicado (Gómez, 2013).

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, que en el proceso de deshidratación osmótica (Correa *et al*, 2010).

El aumento de velocidad de transferencia de masa debido a la aplicación de vacío no puede ser satisfactoriamente explicado con el uso de los clásicos, 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 el proceso de deshidratación osmótica con pulsos al vacío (Correa *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 (Cahuaya y Cayo, 2010).

Chaparro *et al*; 2010 estudiaron la deshidratación osmótica de rebanadas de melón por diferentes tiempos y bajo diferentes presiones de vacío 200, 300 y 400 mm Hg. Se obtuvieron los resultados al utilizar las presiones de vacío de 300 mm Hg por 30 minutos se observó el efecto de impregnación, en el cual la ganancia de sólidos es mayor que la pérdida de agua. Por otra parte indican que las altas presiones de vacío, combinadas con altas concentraciones de la solución osmótica, redujeron la velocidad de pérdida de agua, lo cual se atribuyó a posibles taponamientos.

Se estudió la cinética de deshidratación osmótica con pulsos al vacío de guayabas en soluciones de sacarosa a concentraciones altas y la aplicación de pulsos al vacío han provocado un aumento en la pérdida de agua de las guayabas deshidratadas osmóticamente, la ganancia de sólidos se redujo por el aumento en la concentración de la

solución osmótica, aunque la absorción de sólido se vio favorecida por la aplicación de vacío (Correa *et al.*, 2010).

2.7. 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 y Vega, 2000).

2.7.1. Frutas

Los productos de manzana que son pretratados utilizando la deshidratación osmótica y métodos combinados antes de la liofilización y secado a vacío, han sido publicados por diversos autores, utilizando esta técnica se consigue una mejora de las propiedades sensoriales y de textura. Una modificación adicional al proceso de deshidratación osmótica ha sido utilizar zumo concentrado de manzana (67°Brix durante 7 horas) como solución osmótica, en lugar de solución de azúcar, en el tratamiento de gajos de manzana, seguido de un secado con aires a 65°C hasta que la actividad de agua el valor de 0,51. El tratamiento de productos de mango, tanto en gajos como puré, mediante métodos combinados ha sido realizado por diverso autores, la conservación de puré de mango se consigue añadiendo directamente conservantes depresores de la actividad de agua al mango en lugar de sumergir la fruta en una solución osmótica. La vida comercial de la mezcla de mango es de 3 a 6 meses a temperatura ambiente si se utiliza esta técnica de proceso (Barbosa y Vega, 2000).

2.8. 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 (Geankoplis, 1998)

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 (Horton, 1998).

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 y Vega, 2000).

2.8.1. Clasificación general de la transferencia de masa

El mecanismo de transferencia de masa depende de la dinámica del sistema en que se lleva a cabo son las siguientes:

a) Molecular: la masa puede transferirse por medio del movimiento molecular fortuito en los fluidos (movimiento individual de las moléculas), debido a una diferencia de concentraciones la difusión molecular puede ocurrir en sistemas de fluidos estancados o en fluidos que se están moviendo (Garcell et al, 1988).

b) Convectiva: la masa puede transferirse debido al movimiento global del fluido. Puede ocurrir que el movimiento de grandes grupos de moléculas y es influenciado por las características dinámicas del flujo. Tales como densidad, viscosidad etc. Normalmente ambos mecanismos actúa simultáneamente, sin embargo uno puede ser cuantitativamente dominante y por lo tanto para el análisis de un problema en particular, es necesario considerar solo a dichos mecanismos. La transferencia de masa en sólidos, líquidos y gases sigue el mismo principio, descrito por la ley de Fick (Garcell et al, 1988).

2.9. DIFUSIÓN

La difusión es el movimiento de partículas de un área en donde están en alta concentración a un área donde están en baja concentración hasta que estén repartidas uniformemente. Normalmente los procesos de difusión están sujetos a la ley de Fick. La membrana permeable puede permitir el paso de partículas y disolventes siempre a favor de la gradiente de concentración. La difusión, proceso que no requiere aporte energético (James *et al*, 1988).

2.9.1. Difusión molecular

La difusión molecular puede definirse como la transferencia de las moléculas individuales y desordenadas de las moléculas. Podemos imaginar a las moléculas desplazándose en líneas rectas y cambiando su dirección al rebotar en otras moléculas cuando chocan. Puesto que las moléculas se desplazan en trayectoria al azar, la difusión molecular a veces se llama proceso con trayectoria aleatoria. (Geankoplis, 1998).

Varios autores han propuesto que el principal mecanismo en el secado de sólidos es la difusión del agua, que la mayor influencia sobre la difusividad efectiva se da por la concentración y la temperatura (Barbosa, *et al*, 2000; Yanqui y Maquera, 2010; Cahuaya y Cayo 2010).

La difusividad efectiva explica al mismo tiempo la variación de las propiedades físicas del tejido y la influencia de las características de la disolución y las variables de proceso, por lo tanto observando simplemente la magnitud de difusividad efectiva no se entiende explícitamente el impacto de los diferentes parámetros sobre el proceso de deshidratación osmótica (Yao y Le Maguer, 1997). Así mismo Lenart y Flink, (1984), menciona que las características particulares del fruto especialmente de la porosidad, afectan a los mecanismos de transporte implicados en la deshidratación osmótica, de forma cuando mayor sea la porosidad de la fruta mayor es la ganancia de sólidos, por ende la difusividad efectiva será mayor.

Por otro lado la acción de pulsos al vacío en los tratamientos de a deshidratación osmótica no tuvo efecto significativo, afecta muy poco. Por otra parte varios autores coinciden en que las comparaciones de difusividad durante el proceso de deshidratación son difíciles debido a los diferentes métodos y modelos empleados para estimar la difusividad, pero lo

más importante son la diferencia en la variación, en la composición y sobre todo en la estructura de los diferentes alimentos empleados (Cardoso, 2007).

Tabla 4. Difusividad efectiva de yacón encontrados en la literatura

Agente osmótico	Concentración (°Brix)	T (°C)	Forma geométrica	De (m ² /s)
Sacarosa*	40	25	Placas de 3x3x0.3 m	0.1523x10 ⁻⁹
FOS**	40 – 42	28- 30	Cubos de 1cm de lado	3.54x10 ⁻⁹
FOS (Nutra Flora)***	50	30	Cubos de 1,16 cm ³	1.42x10 ⁻⁸
	60	40		1.63x10 ⁻⁸
	50	50		1.73x10 ⁻⁸

Fuente: Maldonado et al. 2008*, Gavidia et al, 2013** y Rojas y Vásquez, 2012***

Según Maldonado *et al*, (2008), que el coeficiente de difusión varía con el contenido de humedad. Además Gavidia *et al*, (2013), indican que la temperatura influye significativamente en el porcentaje de humedad y difusividad efectiva, mientras la concentración influye significativamente en el porcentaje de humedad, ganancia de sólidos en la difusividad efectiva, por lo cual concluyen que la combinación de concentración y temperatura tiene influencia en la difusividad efectiva.

2.10. MODELOS MATEMÁTICOS DE TRASFERENCIA DE MASA

2.10.1. Modelo de Crank

Consiste en un grupo de soluciones de la ley de difusión de Fick para diferentes geometrías, condiciones límite y condiciones iniciales desarrolladas por Crank. Este modelo ha sido empleado por muchos autores ya que es el modelo fenomenológico más conocido para representar el mecanismo difusional. La difusividad efectiva explica al mismo tiempo la variación de las propiedades físicas del tejido y la influencia de las características de la disolución y de las variables del proceso, por lo tanto observando simplemente la magnitud de Difusividad Efectiva (D_e) no se entiende explícitamente el impacto de los diferentes parámetros sobre el proceso de DO (Giraldo, *et al.* 2003).

En las ecuaciones siguientes se presenta la solución para láminas planas semi-infinitas (Barat, 1998):

Para tiempos largos

$$\frac{M_o^j - M_t^j}{M_o^j - M_\infty^j} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left\{-\frac{\pi^2 F_o}{4}\right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

Para tiempos cortos

$$\frac{M_o^j - M_t^j}{M_o^j - M_\infty^j} = 2 \left\{\frac{F_o}{\pi}\right\}^{0.5} \dots\dots\dots (2.2)$$

2.10.2. Modelo de Magee

Este modelo fue propuesto por Hawkesw y Flink (1978), pero varios autores lo atribuyen a Magee, quien hizo algunas modificaciones (Giraldo, *et al.* 2003).

$$\frac{M_o^j - M_t^j}{M_o^j - M_\infty^j} = Kt^{0.5} + K_o \dots\dots\dots (2.3)$$

Dónde: M= masa, Kg

K y *Ko* son parámetros cinéticos empíricos, pero se les puede asignar un significado físico; *k* se asocia con las velocidades de transferencia de agua y de solutos que ocurren a través del mecanismo osmótico- difusional (constante cinético de difusión) dado que la transferencia de masa que ocurre por mecanismos difusionales es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo en procesos cortos de acuerdo a la ecuación de Crank y *Ko* cuantifica las ganancias o pérdida de masa que ocurre después de tiempos de proceso muy cortos debido a la acción de HDM promovido por presiones o capilares. Este modelo solo es válido para tiempos cortos o sea durante las primeras etapas de deshidratación, en las cuales los cambios son relevantes w para los procesos industriales. Definen los parámetros *K* y *Ko* como coeficientes globales de transferencia de masa a que tienen en cuenta las resistencias internas y externas a la transferencia, lo que no hace el modelo de Crank (Serenó *et al.*, 2001).

2.10.3. Modelo de mecanismo hidrodinámico

Este modelo se emplea en el proceso de deshidratación osmótica con aplicación de presiones de vacío. La cinética del proceso de DO se modela en forma diferente a la del proceso PVOD. Con DO básicamente se utiliza la ley de Fick ya que el fenómeno está gobernado principalmente por el mecanismo pseudodifusional (PD) mientras que con

PVOD deben tenerse en cuenta, además el mecanismo hidrodinámico (HDM). El modelo combina los mecanismos difusional e hidrodinámico, asumiendo que el mecanismo hidrodinámico actúa en tiempo $t=0$ (Barat, 1998).

$$Z_s = \frac{x_s}{x_w + x_s} \dots \dots \dots (2.4)$$

Los cambios en la composición de la fase líquida de la fruta se ha modelado mediante la ecuación, donde la fuerza impulsora reducida de solutos (Y), coincide con la de agua (Barat *et al*, 1998)

$$Y = \frac{Z_s^t - y_s}{Z_s^o - y_s} = \frac{Z_w^t - y_w}{Z_w^o - y_w} \dots \dots \dots (2.5)$$

Donde Z: fracción másica del componente (en el fase líquida o sólida S, W)

Sin embargo por contemplar la acción de mecanismo hidrodinámico la ecuación anterior se corrigió definiendo la fuerza impulsora después de la acción del pulso de vacío con la siguiente ecuación:

$$Y_s^t |_{HDM} = \frac{z_s^t - y_s}{Z_{sHDM}^t - y_s} \dots \dots \dots (2.6)$$

Donde Z_{sHDM}^t es la composición de la fase líquida después del pulso de vacío, estimada a partir de la cantidad de líquido externo impregnado con un balance de masas (Chafer, *et al*, 2001).

$$Z_{sHDM}^t |_{t=0} = \frac{z_s^t(1 - X_1)(x_s^o + x_w^o) + y_s X_1}{(1 - X_1)(x_s^o + x_w^o) + X_1} \dots \dots \dots (2.7)$$

La fracción másica de líquido impregnado en la muestra se calculó mediante la ecuación a partir de la constante cinética deducida de las ganancias de solutos (Chafer, *et al*, 2001).

$$X_1 = \frac{k_s^o / y_s}{(1 + k_s^o / y_s)} \dots \dots \dots (2.8)$$

Para obtener los coeficientes de difusión efectiva en la fase líquida de la fruta se utilizó una ecuación fickiana simplificada, al trabajar con muestras de yacón en forma de láminas

de espesor conocido. La ecuación empleada para efectuar los cálculos se obtuvo a partir de la solución integrada para tiempos cortos de la segunda ley de Fick correspondiente a una lámina infinita de semiespesor considerando únicamente un término de la disolución en serie (Ayala *et al.*, 2010).

$$1 - Y = \left(\frac{4D_e t}{\delta^2 \pi} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\delta = \frac{l}{1 + \frac{2l}{r}} \dots \dots \dots 2.10)$$

donde:

Y : Fuerza impulsora del proceso

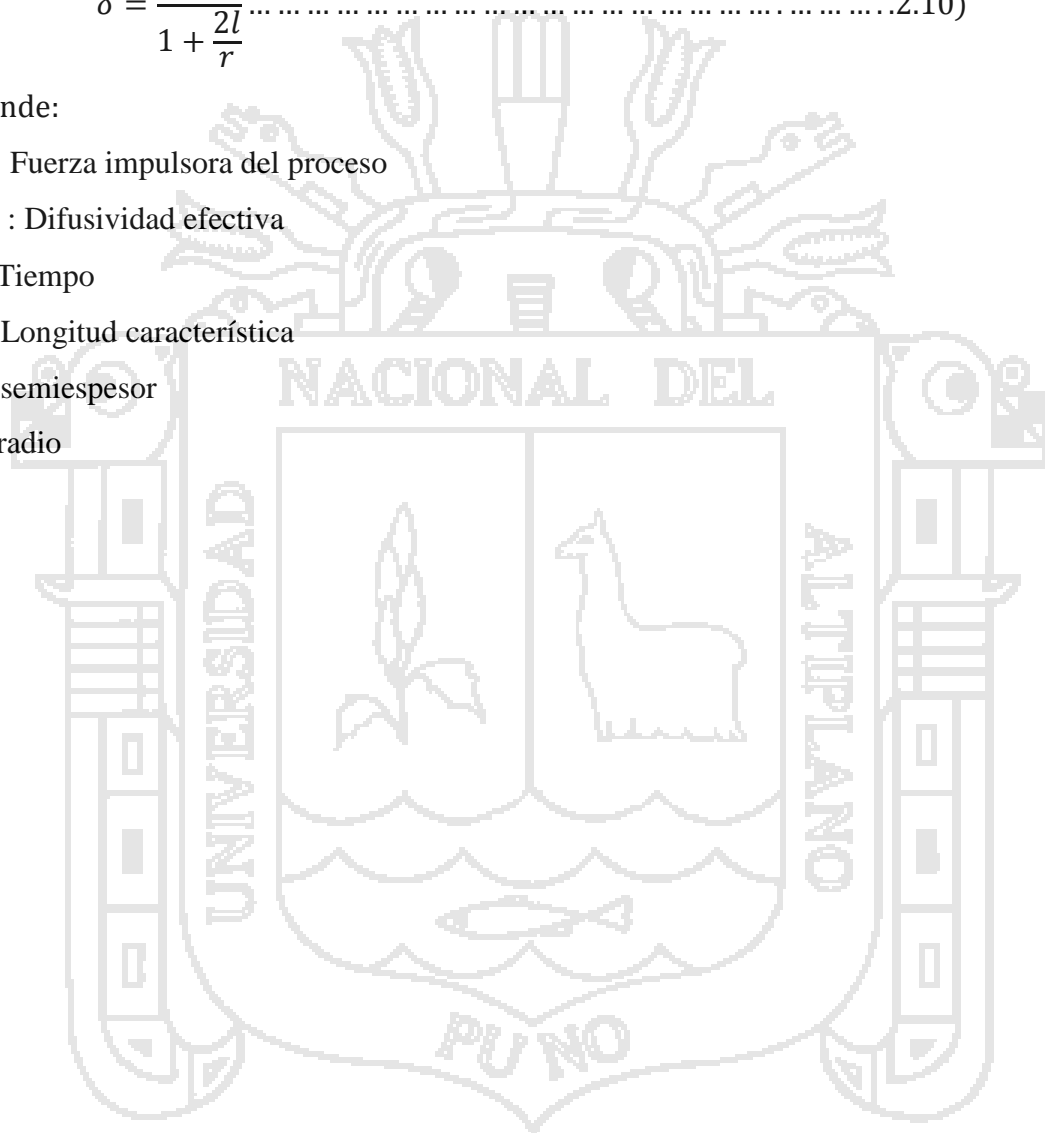
D_e : Difusividad efectiva

t : Tiempo

δ : Longitud característica

l : semiespesor

r : radio



III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Laboratorio de Post cosecha. Los análisis físico - químicos se realizaron en el laboratorio de Evaluación Nutricional y la obtención de zumo concentrado de yacón, se realizó en el laboratorio de Procesos Agroindustriales.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materia prima

Para la investigación se utilizaron raíces de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) de morfo tipo blanco proveniente de la comunidad de Sandía, de la provincia de Sandia en el departamento de Puno

3.2.2. Materiales y equipos de laboratorio

a) MATERIALES

- Lunas de reloj
- Envases de vidrio
- Cuchillos
- Tabla de picar
- Recipientes
- Papel absorbente
- Vasos precipitados
- Termómetro
- Mesa de acero inoxidable
- Pipeta Pasteur

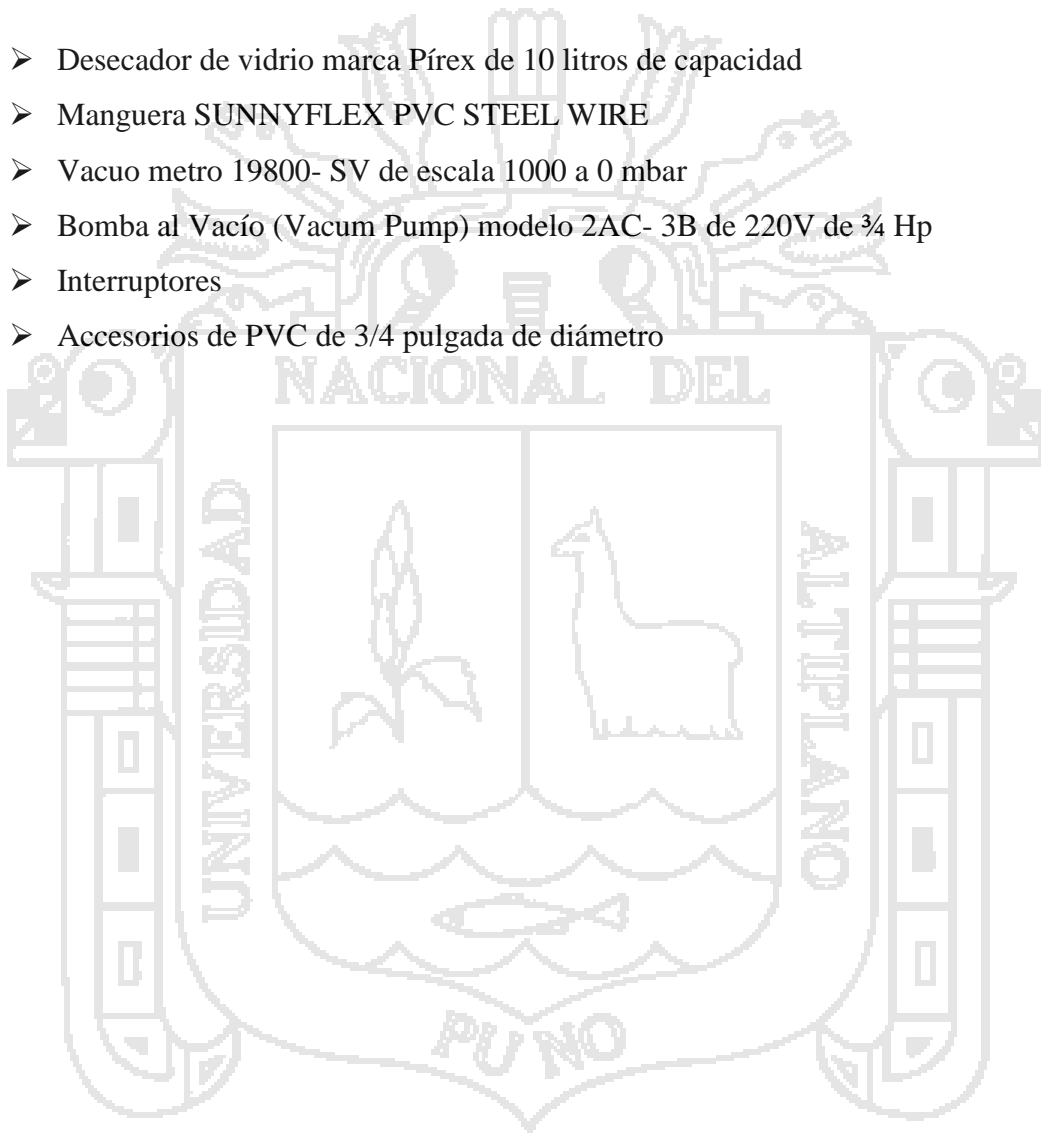
b) EQUIPOS

- Brixómetro HANNA de 0-80°Brix
- pH-metro Metrohm 827 pH lab rango: 7-14
- Titulador CAT M6 con calefacción

- Balanza electrónica KERN ABS capacidad 220 gramos.
- Extractor de 600 watts de potencia
- Cámara de refrigeración SAMSUM, 274 litros.
- Rotavapor
- Estufa de convección natural (10 a 300°C) marca MEMMERT

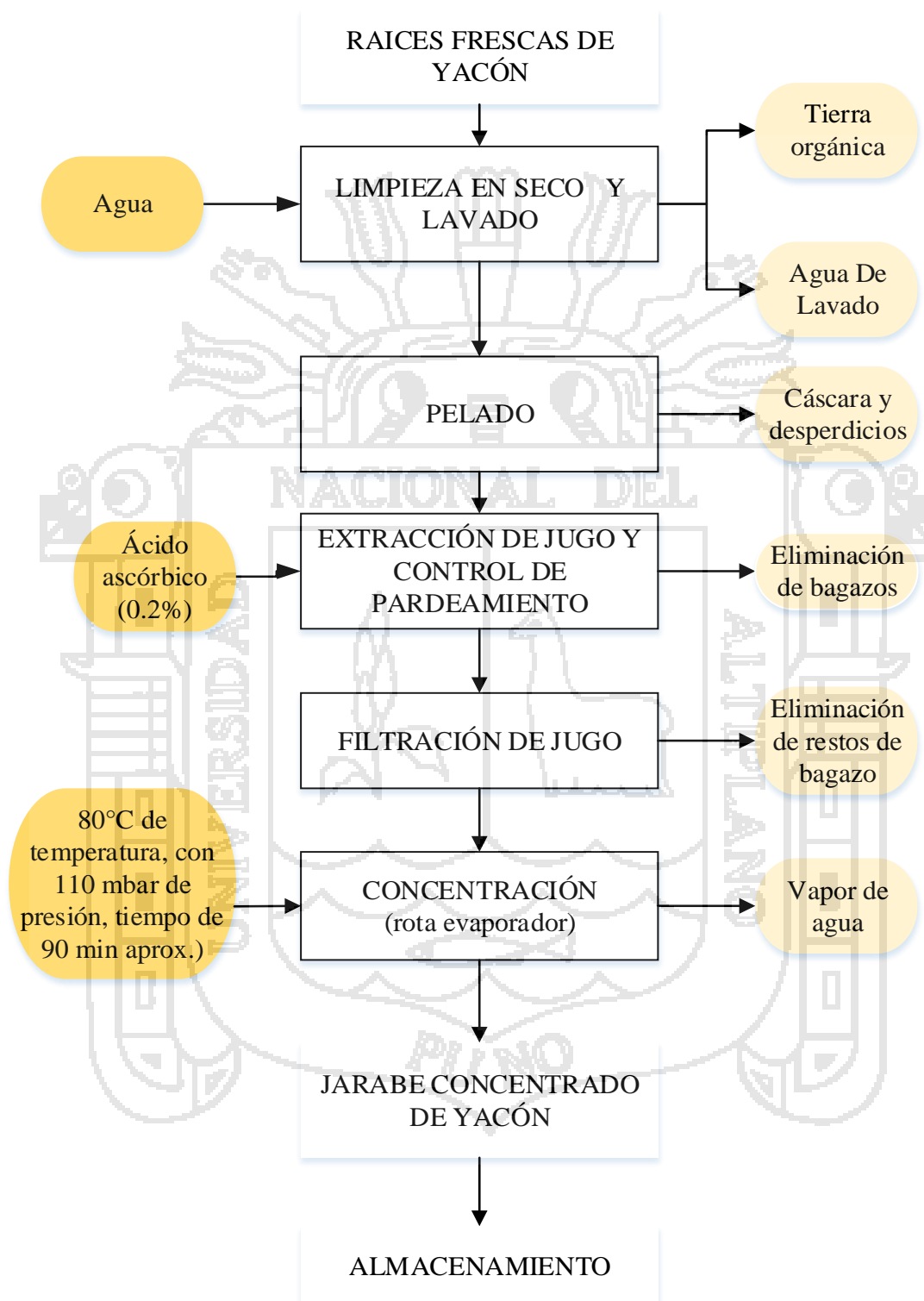
3.2.3. Instalación del equipo de deshidratación osmótica con pulsos al vacío

- Desecador de vidrio marca Pírex de 10 litros de capacidad
- Manguera SUNNYFLEX PVC STEEL WIRE
- Vacuo metro 19800- SV de escala 1000 a 0 mbar
- Bomba al Vacío (Vacum Pump) modelo 2AC- 3B de 220V de ¾ Hp
- Interruptores
- Accesorios de PVC de 3/4 pulgada de diámetro



3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de jarabe concentrado de yacón.

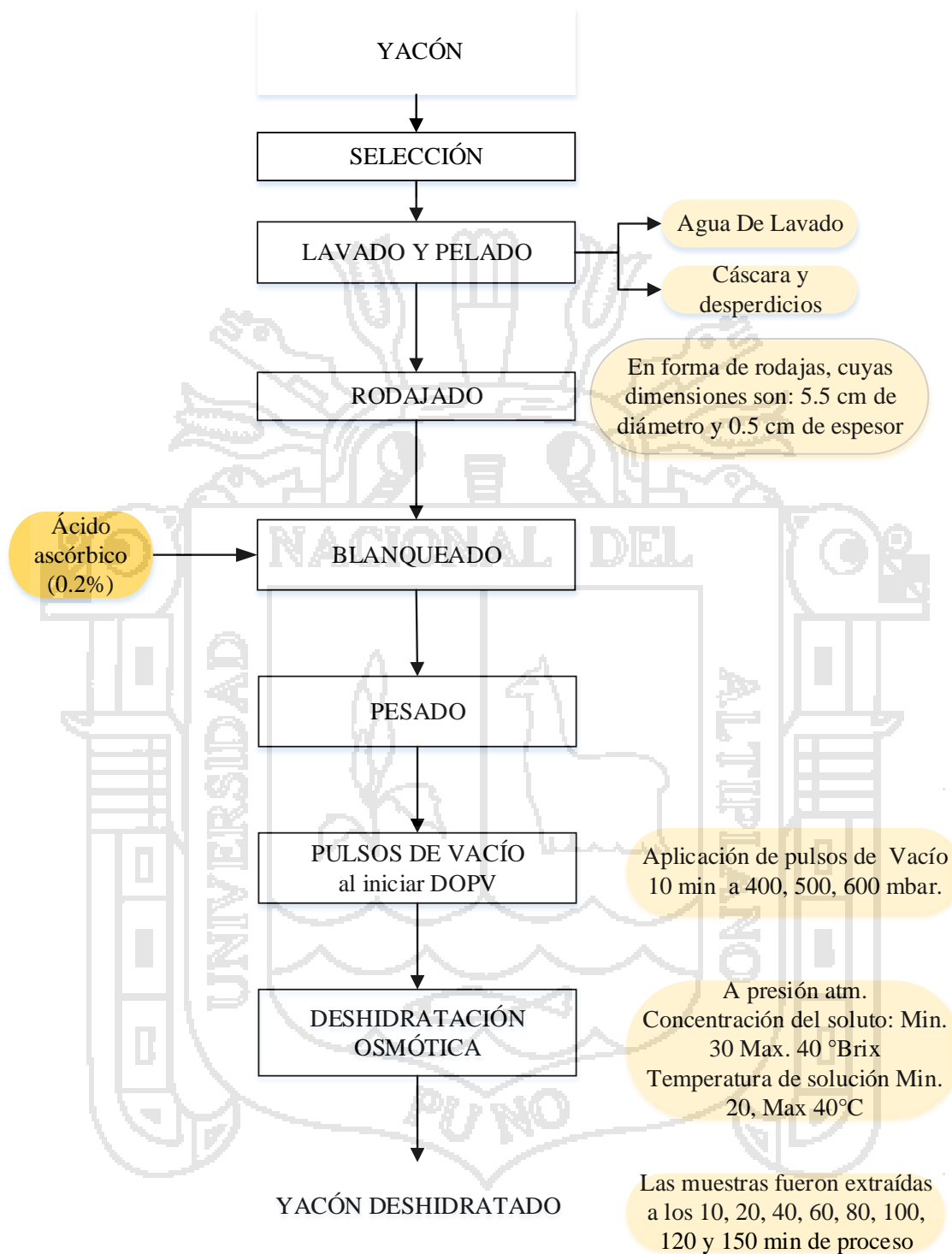


3.3.1. Procedimiento experimental para la obtención de zumo concentrado de yacón

El proceso para la obtención del jarabe concentrado, se determinó realizando estudios de laboratorio

- a) **Limpieza en seco y lavado:** Las raíces secas se limpiaron primero en seco, extrayendo la tierra excedente de su superficie con la ayuda de un cepillo. Luego se realizó un lavado con abundante agua. La desinfección se realizó con una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 200 partes por millón (ppm).
- b) **Pelado:** Las muestras fueron peladas manualmente con cuchillos de acero inoxidable. A medida que se pelaron las raíces, se sumergió en un recipiente conteniendo agua y ácido cítrico, con el fin de retardar el pardeamiento. La cáscara es la parte de la raíz en la que se concentra la mayor cantidad de los compuestos responsables del pardeamiento, de manera que se aseguró el retiro de toda la cáscara de las raíces durante el pelado.
- c) **Extracción de Jugo y control de pardeamiento:** Las raíces de yacón previamente peladas y cortadas en rodajas se trituraron en un extractor. Para el control de pardeamiento se utiliza ácido ascórbico, esta opción consistió recibir el jugo en un recipiente con la solución antioxidante de manera que entra inmediatamente en contacto con el antioxidante e impiden que puedan ocurrir las reacciones de oxidación.
- d) **Filtración:** El jugo de yacón que se obtiene del extractor contiene pequeños residuos de bagazo que deben ser eliminados por filtración antes que el jugo ingrese al rota evaporador.
- e) **Concentración:** La concentración se realizó en un rotavapor, hasta alcanzar las concentraciones de 45 °Brix. A temperatura de 80°C. Las condiciones de presión con las cuales se trabajó bajo vacío experimental (110 mbar).
- f) **Almacenamiento:** Para el almacenamiento del producto terminado se envaso en frascos de vidrio, bajo refrigeración.

Figura 5. Diagrama de flujo del procedimiento experimental de deshidratación osmótica y aplicación de pulso de vacío.



3.3.2. Procedimiento experimental para la deshidratación osmótica de yacón

- a) **Recepción:** Se utilizó raíces de Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) de procedencia de Sandia recién recolectadas.
- b) **Selección – Clasificación:** La selección consistió en eliminar raíces de yacón que presentaron signos de deterioro. La clasificación se realizó por tamaños y forma uniforme.
- c) **Lavado:** Se realizó el lavado, por inmersión y agitación, de este modo se eliminaron sustancias y partículas extrañas adheridas a la superficie de la raíz.
- d) **Pelado:** Se lleva a cabo en forma manual. El yacón pelado se acondiciono en recipientes que contienen una solución de ácido ascórbico 0.2 %, con el objeto de evitar la oxidación, mientras se pasa a la siguiente operación unitaria.
- e) **Cortado – Rodajado:** El objetivo es obtener rodajas de yacón de 0.5 cm de espesor, para facilitar el proceso.
- f) **Inmersión en zumo concentrado (OSMOSIS):** Los cortes fueron sumergidos en el zumo concentrado (26.6 a 43.4 de acuerdo a diseño experimental) en un equipo acondicionado conformado por un desecador de vidrio de 10 litros de capacidad el cual estuvo conectado a una bomba de vacío (Presión de vacío máxima 300mbar aproximadamente) y con vacuometro que permite controlar la presión de trabajo. La presión de vacío fue de 331.8 a 668.2mbar y esta se mantuvo durante diez minutos. Al reestablecer la presión atmosférica, las muestras fueron sometidas a los tratamientos de deshidratación osmótica. Los cuales permanecían a temperaturas constantes. Las muestras fueron extraídas a los 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 150 minutos respectivamente. Se trabajó a temperaturas controladas entre 13.2 y 46.8 °C, realizándose agitación de la solución osmótica al momento de extracción de cada muestra.

Una vez alcanzado el tiempo estipulado para la DOPV, se retiraron las muestras del desecador, 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, humedad y contenido en solidos solubles.

3.3.2.1. Determinación de humedad

Las medidas del contenido en agua fueron efectuadas mediante método oficial (AOAC, 1980). Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso de la muestra, mediante desecación de la misma en una estufa a una temperatura constante de 60°C, dejando secar hasta peso constante. Una vez transcurrido el tiempo de secado de las muestras. Fueron pesadas en una balanza digital de precisión. La variación de masa, antes y después del secado en la estufa, referida al peso final de la muestra proporciona la humedad de la misma (g agua/ g de muestra).

La composición en agua se expresó en términos de fracción másica según la siguiente expresión.

$$x_w = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_o} \left[\frac{g \text{ agua}}{g \text{ muestra}} \right] \dots \dots \dots (3.1)$$

Donde:

m_o : Masa recipiente (g)

m_1 : Masa del recipiente con muestra húmeda (g)

m_2 : Masa del recipiente con muestra seca (g)

3.3.2.2. Determinación de contenido de solidos solubles

La determinación de solidos solubles se realizó por refractometría en las muestras homogenizadas previamente con un mortero. Para la determinación se empleó Brixómetro (°Brix a 30 °C). La lectura de °Brix corresponde al contenido de solidos solubles en la fracción líquida de la muestra expresada en tanto por cien (Z_s). (Cahuaya y Cayo, 2010)

$$Bx = Z_s 100 \left[\frac{g \text{ solidos solubles}}{g \text{ fraccion liquida}} \% \right] \dots \dots \dots (3.2)$$

Donde:

Bx : °Brix

Z_s : Fracción líquida de la muestra

La composición de solidos solubles puede ahora referirse, en términos de fracciones másicas, respecto a la composición global (fracción líquida +matriz sólida) mediante la expresión:

$$x_s = \frac{Z_s x_w}{(1 - Z_s)} \left[\frac{g \text{ solidos sol.}}{g \text{ totales}} \right] \dots \dots \dots (3.3)$$

3.3.2.3. Determinación de la variación de masa

Se determinó la variación de masa de cada muestra, realizando una medición del peso antes y después de cada tratamiento, para ello se empleó una balanza digital de precisión. La ecuación que se empleó para calcular la variación de masa es la siguiente (Cahuaya y Cayo, 2010):

$$\Delta M = \frac{M_t - M_o}{M_o} \left[\frac{g \text{ producto}}{g \text{ materia fresca}} \right] \dots \dots \dots (3.4)$$

Donde:

ΔM : Variación de masa

M_t : Masa de muestra al tiempo t (g de producto)

M_o : Masa inicial de la muestra (g de materia fresca)

3.3.2.4. Determinación de la variación de agua y solidos solubles

Para calcular las ganancias netas de agua y de solutos se utilizaron las siguientes expresiones propuestas por Shi y Fito (1994);

$$\Delta M_w = \frac{M_t x_w^t - M_o x_w^o}{M_o} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$\Delta M_s = \frac{M_t x_s^t - M_o x_s^o}{M_o} \dots \dots \dots (3.6)$$

Dónde:

M_o : Masa inicial de muestra (g)

M_t : Masa de muestra al tiempo t (g)

x_s^o : Fracción másica de solidos solubles de la muestra a tiempo 0 (g/g)

x_s^t : Fracción másica de solidos solubles de la muestra a tiempo t (g/g)

x_w^o : Fracción másica de agua de la muestra a tiempo 0 (g/g)

x_w^t : Fracción másica de agua de la muestra a tiempo t (g/g)

Para todas las experiencias realizadas se comprobaron los balances w de materia mediante la siguiente expresión:

$$\Delta M = \Delta M_w + \Delta M_s \dots \dots \dots (3.7)$$

La modelización de los valores de variación de masa total, solidos solubles y agua frente a la raíz cuadrada del tiempo, permite obtener los coeficientes cinéticos k^0 y k para la pérdida de peso, ganancia de solutos y pérdida de agua, respectivamente Shi y Fito (1994):

$$\Delta M = kt^{0.5} + k^0 \dots \dots \dots (3.8)$$

$$\Delta M_s = k_s t^{0.5} + k_s^0 \dots \dots \dots (3.9)$$

$$\Delta M_w = k_w t^{0.5} + k_w^0 \dots \dots \dots (3.10)$$

3.3.3. Determinación del coeficiente de difusividad efectiva en yacón

La fase líquida de la fruta puede considerarse como un sistema binario, compuesto por agua y solutos. Por eso el valor de los coeficientes de difusión efectiva puede considerarse el mismo para ambos componentes (Giraldo *et al.*, 2003).

La relación entre la fracción másica de solutos en fase líquida (FL) a diferentes tiempos de deshidratación, (Z_s) en función de la fracción másica del agua y solidos solubles de la muestra dada por la siguiente ecuación.

$$Z_s = \frac{x_s}{x_w - x_s} \dots \dots \dots (3.11)$$

Los cambios en la composición de la fase líquida de la fruta se ha modelado mediante la ecuación donde a fuerza impulsora reducida de solutos coincide con la de agua (Barat et al, 1998).

$$Y = \frac{z_s^t - y_s}{z_s^0 - y_s} = \frac{z_w^t - y_w}{z_w^0 - y_w} \dots \dots \dots (3.12)$$

Sin embargo por contemplar la acción de mecanismo hidrodinámico la ecuación anterior se corrigió definiendo la fuerza impulsora después de la acción del pulso de vacío con la siguiente ecuación:

$$Y_s^t |_{HDM} = \frac{z_s^t - y_s}{Z_{sHDM}^t - y_s} \dots \dots \dots (3.13)$$

Donde Z_{sHDM}^t es la composición de la fase líquida después del pulso de vacío, estimada a partir de la cantidad de líquido externo impregnado con un balance de masas (Chafter et al, 2001).

$$Z_s^t |_{HDM,t=0} = \frac{z_s^t(1 - X_1)(x_s^o + x_w^o) + y_s X_1}{(1 - X_1)(x_s^o + x_w^o) + X_1} \dots \dots \dots (3.14)$$

La fracción másica de líquido impregnado en la muestra se calculó mediante la ecuación a partir de la constante cinética deducida de las ganancias de solutos (Chafter et al, 2001).

$$X_1 = \frac{k_s^o / y_s}{(1 + k_s^o / y_s)} \dots \dots \dots (3.15)$$

Para obtener los coeficientes de difusión efectiva en la fase líquida de la fruta se utilizó una ecuación fickiana simplificada, al trabajar con muestras de yacón en forma de láminas de espesor conocido. La ecuación empleada para efectuar los cálculos se obtuvo a partir de la solución integrada para tiempos cortos de la segunda ley de Fick correspondiente a una lámina finita de semiespesor (Ayala *et al*, 2010)

$$1 - Y = \left(\frac{4D_e t}{\delta^2 \pi} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (3.16)$$

$$\delta = \frac{l}{1 + \frac{2l}{r}} \dots \dots \dots (3.17)$$

donde:

Y : Fuerza impulsora del proceso

D_e : Difusividad efectiva

t : Tiempo

δ : Longitud característica

l : semiespesor

r : radio

3.3.4. Análisis sensorial

Se realizó un experimento de aceptación de las “rodajas de yacón osmodeshidratado” dicho experimento se realizó con jueces semi- entrenados, conformado por estudiantes universitarios. Por lo cual se utilizó una escala hedónica facial de 5 puntos, la apreciación del color, sabor, textura y apariencia general fue evaluada con la siguiente puntuación: 5 Muy Bueno; 4 Bueno; 3 Regular; 2 Malo; 1 Muy Malo.

3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

El proceso descrito se realizó para cada uno de los tratamientos experimentales de acuerdo al Diseño Central Compuesto (DCC), de tres factores con tres niveles, dos puntos estrellas, y seis repeticiones del punto central. Ya que permite evaluar directamente la curvatura de un modelo con dos réplicas de tratamiento. El Diseño Central Compuesto (DCC), permite evaluar a la vez cinco niveles de cada factor tal como se muestra en el cuadro (Ibáñez, 2005; Gutiérrez y De La Vara, 2008).

Cuadro 1. Cinco niveles de Diseño Central Compuesto (DCC).

Nivel codificado (Xi)	Denominación
$-\alpha$	Nivel mínimo
-1	Nivel bajo
0	Nivel medio
1	Nivel alto
$+\alpha$	Nivel máximo

Para $k=3$, y $\alpha=1.682$

El número de tratamientos es igual: $N = 2^P + 2P + C$ $\alpha = (2^P)^{1/4}$

Donde:

N : Es el número total de tratamientos

2^P : Es el número de tratamientos básicos de la parte axial o estrella de combinaciones de tratamientos

$2P$: Corresponde a los tratamientos de la parte axial o estrella o combinaciones de tratamientos en los puntos axiales del diseño

C : Constituyen en tratamiento central que se repite un número determinado de veces dependiendo del número de factores o replicas en el centro del diseño

P : Numero de factores de estudio o variables

3.5. VARIABLES INDEPENDIENTES

Cuadro 2. Factores en Estudio (variables independientes)

FACTOR	NIVEL BAJO	NIVEL ALTO
PRESION AL VACIO (mbar)	400	600
CONCENTRACIÓN (°Brix)	30	40
TEMPERATURA (°C)	20	40

3.6. VARIABLES DEPENDIENTES

- Variación de masa
- Variación de agua
- Variación de solidos solubles
- Coeficiente de difusión efectiva en yacón
- Características fisicoquímicas de yacón osmodeshidratado
- Características sensoriales de yacón osmodeshidratado

3.7. MATRIZ DEL DISEÑO

En el cuadro se muestra el número de tratamientos evaluados para determinar difusión efectiva, variación de masa, variación de agua y solidos solubles.

Cuadro 3. Numero de tratamientos para tres factores en un DCC

TRATAMIENTOS	PRESIÓN (mbar)	CONCENTRACIÓN (°Brix)	TEMPERATURA (°C)
1	400	30	20
2	600	30	20
3	400	40	20
4	600	40	20
5	400	30	40
6	600	30	40
7	400	40	40
8	600	40	40
9	331,821	35	30
10	668,179	35	30
11	500	26,591	30
12	500	43,409	30
13	500	35	13,1821
14	500	35	46,8179
15	500	35	30
16	500	35	30
17	500	35	30
18	500	35	30
19	500	35	30
20	500	35	30

Fuente: Elaboración propia

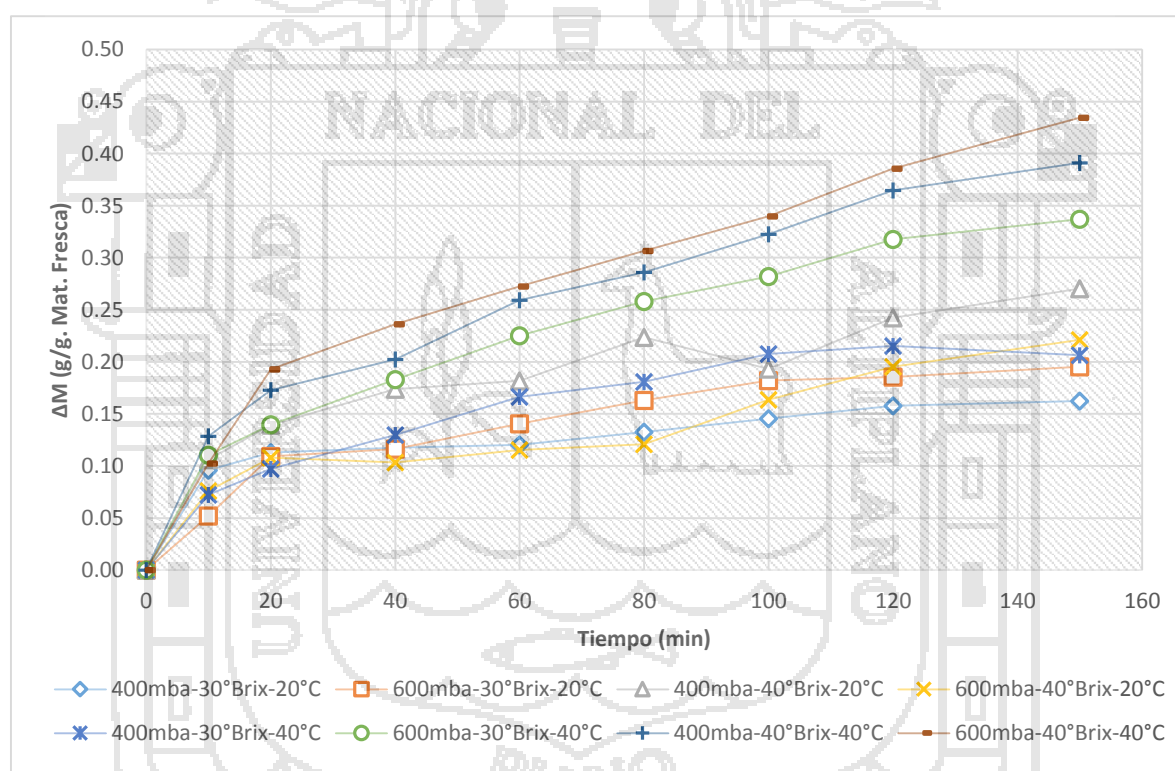
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE YACÓN

4.1.1. Determinación de variación de masa

Los resultados obtenidos para la variación de masa a partir de la ecuación 3.4, se muestra en los cuadros del 1 al 20 del anexo 2, para los diferentes tratamientos. En el gráfico 1 se muestra las diferentes variaciones de masa a diferentes condiciones de tratamiento con respecto al tiempo, obtenidas del anexo 3.

Gráfico 1. Variación de masa (ΔM) en función del tiempo para rodajas de yacón a diferentes Presiones de vacío, Concentraciones y Temperaturas.



En el gráfico 1, se observa que a medida que el tiempo aumenta, los tratamientos incrementan su pérdida de peso, además se aprecia que los tratamientos con mayor concentración de solución tienen mayor variación de masa, siendo la más alta a una concentración de 40° Brix. Para todas las temperaturas de trabajo se observa que en todos los tratamientos existe una mayor variación de masa en los primeros 10 minutos y conforme aumenta el tiempo este va disminuyendo. Según Camacho (2004), indica que las variaciones de masa es debido a que en las etapas iniciales de la deshidratación osmótica,

el proceso de pérdida de peso producido por la salida de líquido de la fruta, se realiza de forma mucho más rápida que la entrada del soluto hacia la fruta por difusión, pero a partir de un cierto tiempo, comienza a predominar la entrada de sólidos de la disolución hacia la fruta y esta comienza a ganar peso por este efecto, disminuyendo la variación de masa. Además Barbosa y Vega, (2000), indica que la mayor variación se da en los primeros minutos y luego va decreciendo, específicamente alrededor de las dos primeras horas se realiza la mayor eliminación de agua. Este mecanismo de difusión es debido al gradiente de concentración existente entre el alimento y la solución osmótica.

El descenso de pérdida de masa en 400 mbar de presión de vacío podría explicarse por el posible efecto de deformación en las células parenquimáticas del tubérculo lo cual habría dificultado la libre difusión de la solución osmótica. Según Fito *et al*, (2004), señalan que las altas presiones de vacío ejercen un efecto de deformación de las células parenquimáticas evitando el intercambio de fluido entre el fruto y el medio, conjuntamente con las diferencias de tamaño entre las moléculas de sacarosa saturan y dificultan la difusión del soluto a través de la membrana celular. Barbosa y Vega, (2000) indica que la aplicación de presión de vacío, favorece únicamente en la velocidad de deshidratación, esto es debido a que durante el pulso de vacío ocurre el mecanismo hidrodinámico (HDM), causando un incremento en la transferencia de masa y por lo tanto una cinética más rápida, lo cual no se refleja en los resultados obtenidos.

En el anexo 5 del cuadro 1, se presentan los valores de las constantes cinéticas K_m^0 , representa la ganancia en el componente para la pérdida de peso ocurrido a tiempos cortos de proceso y debidas fundamentalmente a la acción del mecanismo hidrodinámico (HDM) dependiente de gradientes de presión, concentración y temperatura, que incluye los efectos capilares, y que están sumamente influenciada por la estructura, los valores de K_m , indican la velocidad de transferencia de peso debido a mecanismos osmóticos, dependientes de gradientes de concentración (Fito y Chiralt, 1997).

En el cuadro 1 del anexo 7, se tiene el análisis de varianza (ANOVA) para la variación de masa en función de la aplicación de presión de vacío (P), concentración de la solución (C) y temperatura (T) para un tiempo de 150 min; Como se puede observar el efecto de la presión no resulta significativo, pero si existe diferencias altamente significativas para la concentración y temperatura en el proceso de deshidratación osmótica, y diferencias

significativas para la interacción: presión - concentración y presión - temperatura sobre la variación de masa, siendo los demás no significativos.

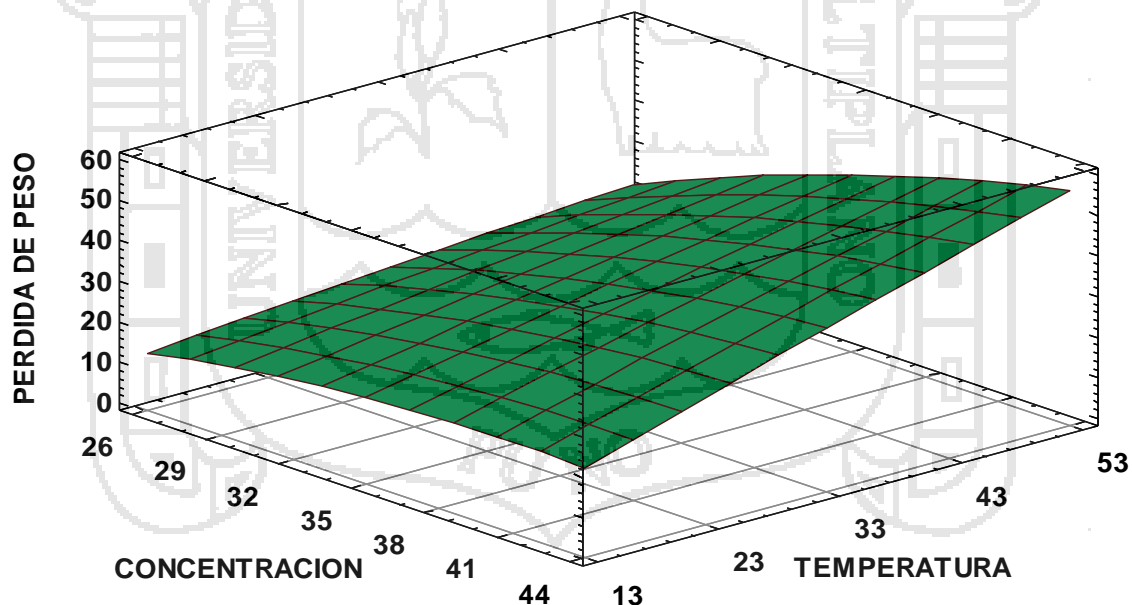
El modelo ajustado (R-cuadrada ajustada) explica el 88,2105% de la variabilidad de pérdida de masa, con al menos el 95% de nivel de confianza por lo tanto el modelo es adecuado para predecir las variaciones de masa.

El modelo matemático ajustado con los factores codificados es el siguiente:

$$\text{Variación de masa} = -103.084 + 0.19027*P + 4.79849*C - 1.84843*T - 0.000106756*P^2 - 0.00423785*P*C + 0.00238163*P*T - 0.0389714*C^2 + 0.0371038*C*T - 0.0012658*T^2$$

De los análisis de optimización se determinó que la variación de masa máxima = 50.3093% se logra aplicando una Presión de 527.075 mbar, Concentración 43,409°Brix y Temperatura 46,8179°C.

Gráfico 2. Superficie de Respuesta de pérdida porcentual de peso con respecto a la concentración y temperatura, tomando la aplicación de pulso a vacío constante en 500 mbar.



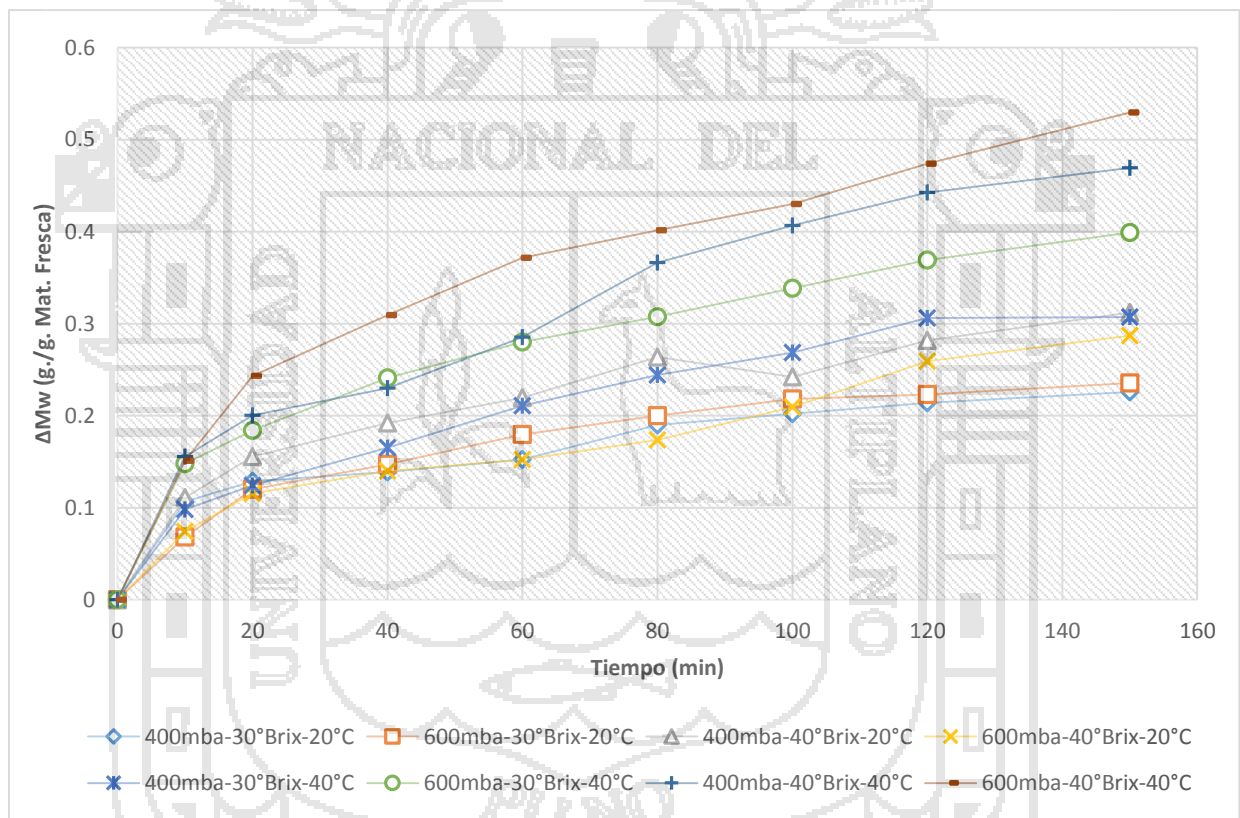
En el gráfico 2, muestra la tendencia de la variación de pérdida porcentual de peso del yacón en función de la concentración y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 500 mbar, en el cual se observa que al incrementar la concentración y la temperatura existe una mayor variación de masa.

La variación de masa en la deshidratación osmótica no permite determinar con certeza la eficiencia de la impregnación debido a que no se puede determinar o definir qué materia se transfiere. Por lo tanto, es importante determinar la pérdida de agua y ganancia de sólidos solubles.

4.1.2. Determinación de variación de agua

Los resultados obtenidos para la variación de agua se obtienen a partir de la ecuación 3.5, se muestran en los cuadros del 1 al 20 del anexo 02, para los diferentes tratamientos.

Gráfico 3. Variación de agua (ΔM_w) en función del tiempo para rodajas de yacón a diferentes presiones de vacío, concentraciones y temperaturas.



En el gráfico 3 se muestran las diferentes variaciones 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 la pérdida de agua, además se observa que a mayor concentración de solución osmótica mayor es la variación de agua. Al igual que en la variación de masa, los cambios más drásticos de variación de agua se presentaron en los primeros minutos de deshidratación, después de ese tiempo los cambios de agua son más lentos. Con respecto

Correa *et al* (2010), indica que la pérdida de agua y la ganancia de sólidos son mayores en el comienzo del proceso de deshidratación osmótica con pulsos al vacío.

Por otro lado, Fito *et al*, (2004) indica que la aplicación de pulso de vacío contribuye a la apertura de la estructura del fruto 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 variación de agua. Además los resultados se aproxima al estudio realizado por Correa *et al*, (2010), quienes desarrollaron un estudio de la cinética de 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.

Los resultados en el cuadro 8 del anexo 3, muestra que dentro de los 60 primeros minutos de deshidratación osmótica, se obtiene un valor de pérdida de agua de 0.3716 g/g materia fresca, y un valor final de 0.5295 g/g materia fresca en 150 minutos, resultando este un valor bajo con respecto al mencionado por Maldonado *et al*, (2008), en el estudio deshidratación osmótica del yacón en solución de sacarosa al 40% y temperatura de 20°C, que reportan que la mayor pérdida de agua, se obtuvo dentro de los primeros 60 minutos, alcanzando un valor de 0.6404g /g de materia fresca, a partir de los cuales un aumento de tiempo no produjo cambios apreciables en el contenido de agua de la muestras, lográndose a partir de los 90 minutos la estabilización del sistema. El valor de equilibrio fue de 0.688 g/ g materia fresca.

En el trabajo de investigación se obtuvo valores de pérdida de agua relativamente bajos, al ser trabajados con rodajas de yacón bajo las siguientes condiciones: 0.5 cm de espesor y aplicando como solución osmótica de zumo concentrado de yacón, de acuerdo a Torres (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.

Los valores de K_w , del cuadro 2 del anexo 5 indican que la pérdida de agua ocurrida en la 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. Se observa que el pulso de vacío no tiene un efecto importante en la velocidad de pérdida de agua.

En el cuadro 2 del anexo 7, se presenta el análisis de varianza para pérdida de agua en la deshidratación osmótica de rodajas de yacón, en el cual la aplicación de concentración de la solución y la temperatura presenta un efecto altamente significativo, sobre la variación de agua en rodajas de yacón. Al respecto Phisut, (2012), indica que la concentración del agente osmótico influye sobre la cinética de transferencia de masa, durante el tratamiento osmótico prolongado, el aumento de las concentraciones de soluto en los resultados aumenta las tasas de pérdida de agua y ganancia de sólidos. Según Barbosa et al, (2000), indica que las pérdidas de agua por parte del alimento, la temperatura y concentración de la solución osmótica afectan la velocidad de pérdida de agua del producto.

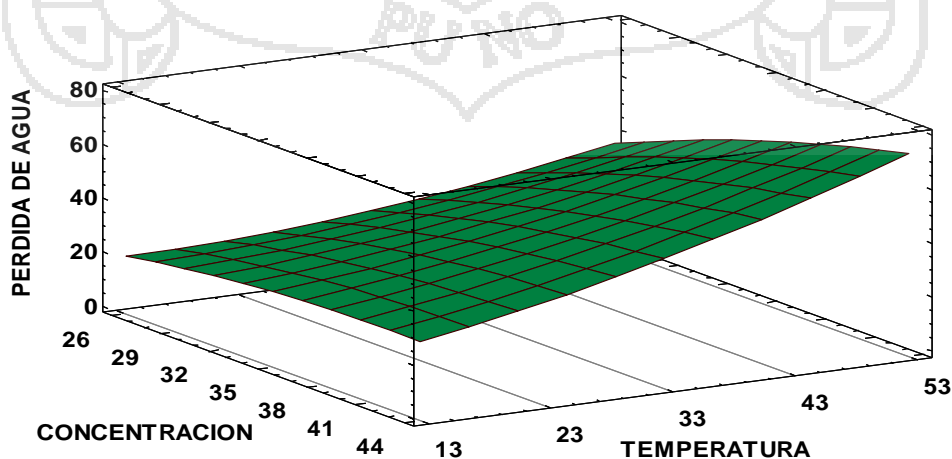
El modelo matemático ajustado con los factores codificados es el siguiente:

$$\text{Pérdida de Agua} = -59.9686 + 0.16611 * P + 3.24024 * C - 2.26193 * T - 0.000167955 * P^2 - 0.0016627 * P * C + 0.00209339 * P * T - 0.0353428 * C^2 + 0.0387627 * C * T + 0.0100332 * T^2$$

El modelo ajustado (R-cuadrada ajustada) explica el 87,9486% de la variabilidad de pérdida de agua, con al menos el 95% de nivel de confianza por lo tanto el modelo es adecuado para predecir las variaciones de agua.

De los análisis de optimización se determinó que la variación de agua máxima = 60.983%, se logra a una presión de 441.926mbar y concentración 43,409°Brix y temperatura 46,8179°C.

Gráfico 4. Superficie de respuesta de pérdida porcentual de agua con respecto a la concentración y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 500 mbar.

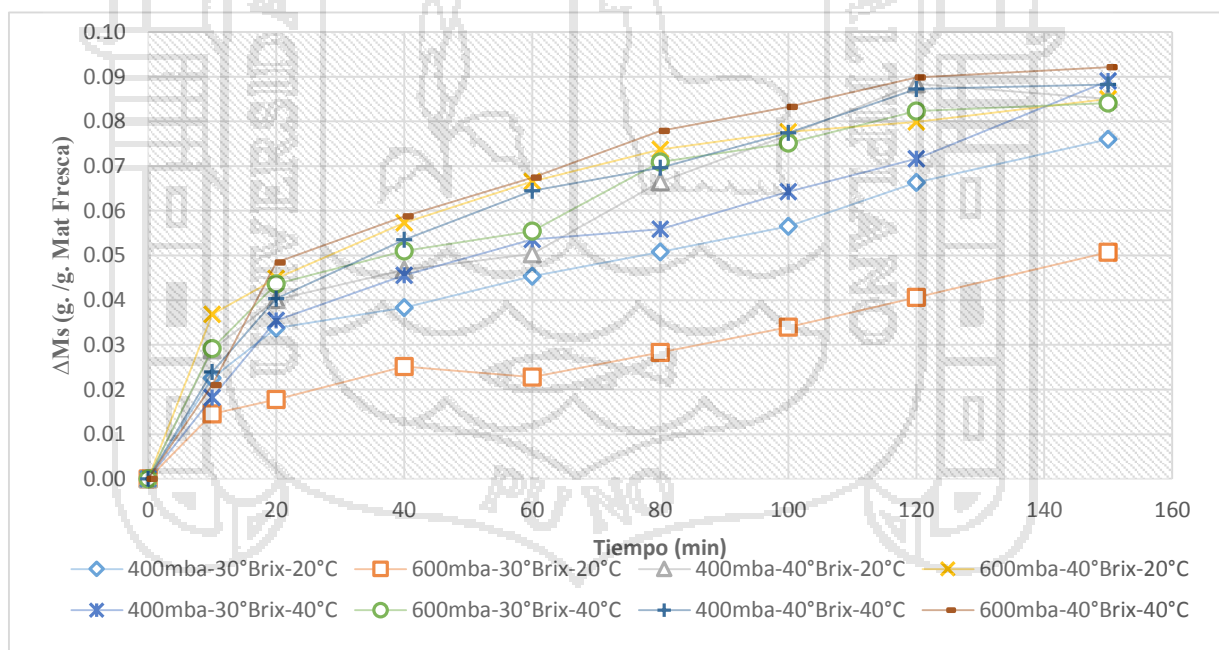


En los resultados del grafico 4 se observa el comportamiento grafico de la pérdida de agua con respecto a las variables, se fijó el valor de la presión como constante 500 mbar, por ser la variable menos significativa y se graficó la pérdida de agua en función de las otras dos variables: concentración y temperatura, Se observa que si se incrementa la concentración y se reduce la temperatura existe pérdida de agua en una menor proporción, y mientras que si se incrementan las dos variables hay mayor pérdida de agua.

4.1.3. Variación de solidos solubles

Los resultados obtenidos para la variación de contenido de solidos solubles, a partir de la ecuación 3.6, se muestra en los cuadros del 1 al 20 del anexo 02, para los diferentes tratamientos. En el grafico 5 se muestra las diferentes variaciones de contenidos de solidos solubles a diferentes condiciones de tratamiento con respecto al tiempo, obtenidas del anexo 03.

Gráfico 5. Variación de solidos solubles (ΔMs) en función del tiempo para rodajas de yacón a diferentes presiones de vacío, concentraciones y temperatura.



En el grafico 5, muestra que la ganancia de solidos aumenta a medida que aumenta el tiempo de tratamiento 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. Al respecto Ochoa y Ayala (2005) reportaron que la ganancia de solidos es proporcional a la concentración y temperatura, los resultados son similares en el efecto de

la temperatura y la concentración del jarabe de FOS que influyen en la ganancia de sólidos solubles en yacón osmódeshidratado. El experimento realizado a 600mbar de pulso de vacío, 40°Brix de solución osmótica y 40°C de temperatura es el que se presenta la mayor ganancia de sólidos solubles obteniendo un valor de 0.09214 g/ g materia fresca.

Los valores de K_S , indican que la ganancia de solutos fue ligeramente más lenta en la muestras tratadas a presión atmosférica, observando poca diferencia entre ellos. 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. Los valores de K_S , indican que la aplicación de pulso de vacío provoca una mejor transferencia de disolución osmótica y mayor ganancia de sólidos.

En los cuadros 01, 02 y 03, anexo 5, refleja los valores de las constantes cinéticas obtenidas de la deshidratación de rodajas de yacón. Se observa que la concentración de la solución osmótica es más influyente que la temperatura y presión en la cinética de pérdida de agua (K_w) y de ganancia de sólidos solubles (K_s). Ya que con el aumento de la concentración para todas las temperaturas de trabajo, el valor absoluto promedio de estas constantes (K_w y K_s) va en aumento.

En el cuadro 3 del anexo 7, se presenta el Análisis de Varianza para ganancia de sólidos solubles en la deshidratación osmótica del yacón en rodajas. En el cual se muestra que existen diferencias significativas para la concentración y la temperatura, la presión cuadrática, la concentración cuadrática y temperatura cuadrática tienen efecto significativo. Además la ganancia de sólidos indican que la aplicación del pulso de vacío no provoca una mejor transferencia de disolución osmótica y mayor ganancia de sólidos. Este comportamiento muestra que se 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.

El modelo matemático ajustado con los factores codificados es el siguiente:

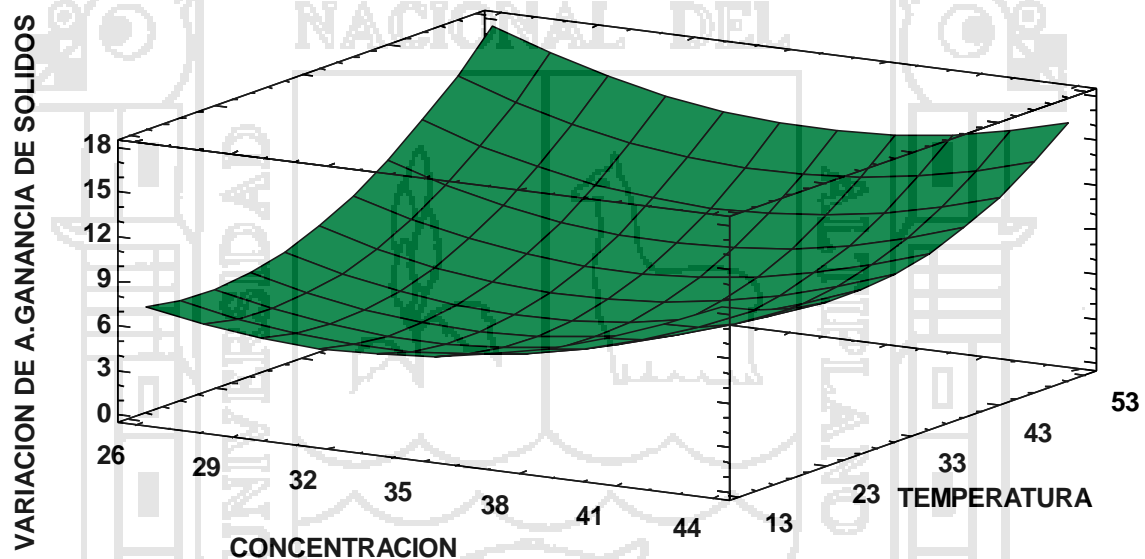
$$\begin{aligned} \text{Ganancia de Sólidos} = & 86.0293 - 0.113718 * P - 2.89804 * C - 0.310923 * T + \\ & 0.000072055 * P^2 + 0.000853729 * P * C + 0.000303996 * P * T + 0.0409028 * C^2 - \\ & 0.00903203 * C * T + 0.0100283 * T^2 \end{aligned}$$

El modelo ajustado (R-cuadrada ajustada) explica el 76,5269%, de la variabilidad de ganancia de sólidos solubles, con al menos el 95% de nivel de confianza por lo tanto el modelo es adecuado para predecir las variaciones de solidos solubles.

De los análisis de optimización se determinó que la variación de solidos solubles máxima = 14.7759% se logra a una presión de 668.179mbar y concentración 26,591°Brix y temperatura 46.55°C.

En el grafico 6, se presenta la superficie de respuesta para la ganancia de solidos solubles en función de concentración y temperatura cuando se mantiene constante la presión de vacío igual a 500 mbar.

Gráfico 6. Superficie de respuesta de ganancia de solidos con respecto a la concentración y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 500 mbar.



En el grafico 6 se observa que al incrementarse la temperatura aumenta la ganancia de solidos solubles; y se observa la significativa influencia de la concentración sobre la ganancia de solidos solubles, debido a la mayor concentración del zumo, mayor es la ganancia de solidos solubles. Se observa que la temperatura es más influyente que la concentración de la solución osmótica y presión en la de ganancia de solidos solubles. Ya que con el aumento de las temperaturas para todas las concentraciones de trabajo. El valor absoluto promedio de estas constantes va en aumento.

4.1.4. Coeficiente de difusividad en yacón

En el cuadro 7 se presenta los datos de las difusividades efectivas de zumo concentrado de yacón en rodajas de yacón a partir de la pendiente de las rectas ajustadas de la representación de $1-Y$ frente a la raíz cuadrada del tiempo, se obtuvo la difusividad efectiva en la fase líquida del yacón (D_e) para cada tratamiento, cuyos valores se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 4. Coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la concentración, temperatura y aplicación de pulso de vacío para los diferentes tratamientos en un tiempo de 150 minutos.

N° tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	D_e (m ² /s)
1	400	30	20	1.562558E-10
2	600	30	20	9.158956E-11
3	400	40	20	1.399470E-10
4	600	40	20	1.382794E-10
5	400	30	40	3.245250E-10
6	600	30	40	5.517635E-10
7	400	40	40	3.659574E-10
8	600	40	40	3.995541E-10
9	332	35	30	2.052129E-10
10	668	35	30	1.488823E-10
11	500	27	30	2.624409E-10
12	500	43	30	2.005881E-10
13	500	35	13	4.869290E-11
14	500	35	47	5.844628E-10
15	500	35	30	1.544933E-10
16	500	35	30	1.694859E-10
17	500	35	30	1.393900E-10
18	500	35	30	1.396374E-10
19	500	35	30	1.227899E-10
20	500	35	30	1.201350E-10

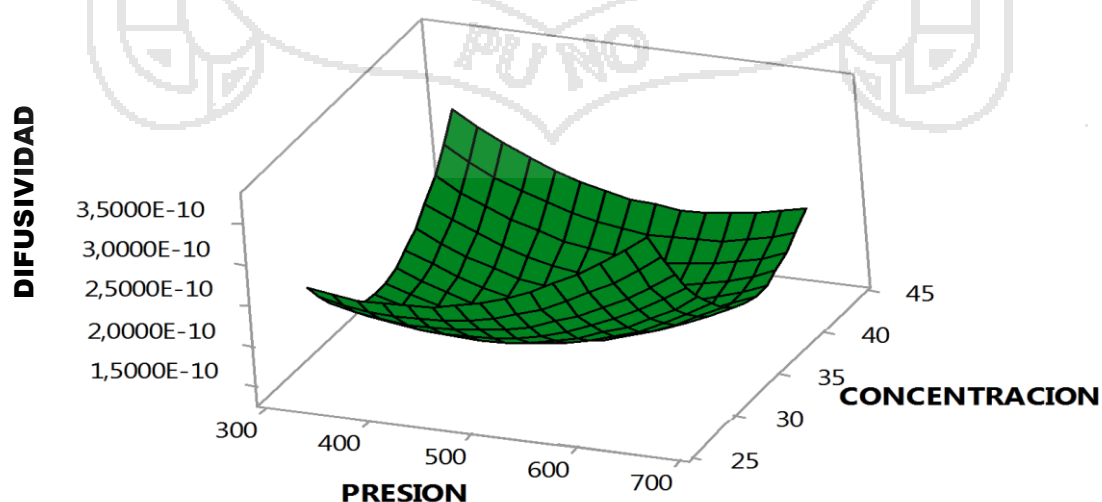
Los resultados de difusividad efectiva de zumo concentrado de yacón en rodajas de yacón fueron obtenidos al desarrollar las ecuaciones de 3.11 a 3.16, que se detallan en el anexo 7. En donde se observó que la mayor difusividad efectiva de zumo concentrado de yacón corresponde al tratamiento 14 a una presión de vacío de 500mbar, a una concentración de 35°Brix y a una temperatura de 47°C, dando un valor de 5.844628E-10m²/s de difusividad efectiva y, la menor difusividad se da en el tratamiento 13 a una presión de vacío de 500mbar, a una concentración de 35°Brix y temperatura de 13°C obteniendo un valor de 4.869290E-11, por lo cual se deduce que la mayor influencia sobre la difusividad efectiva

se da por la mayor concentración y la temperatura, esto se debe a que al inicio del proceso existe un mayor diferencial de concentraciones entre el producto y la solución hipertónica y a medida que transcurre el tiempo esta diferencial se reduce y disminuye la velocidad de penetración del zumo concentrado de yacón.

En el trabajo de investigación se obtuvo valores de difusividad efectiva relativamente bajos en estudios realizados en yacón a diferentes concentraciones y temperaturas de estudio, Maldonado et al, (2008); Gavidia et al, (2013) y Rojas y Vásquez, (2012), obtuvieron valores de difusividades más altas, pero si concuerdan que la mayor influencia sobre la difusividad efectiva se da por la concentración y la temperatura. La diferencia de los valores obtenidos de difusividad efectiva fueron influenciados por dos factores: (1) está dado por la forma geométrica, ya que se trabajó con rodajas de 0.5cm de espesor y (2) el agente osmótico utilizado fue zumo concentrado de yacón, que probablemente han influenciado sobre la difusividad efectiva. Así mismo, Phisut, (2012), menciona que el agente osmótico de bajo peso molecular penetra más fácilmente en la célula de la fruta en comparación con el agente osmótico de elevado peso molecular, como los fructooligosacáridos que es diferente de la sacarosa, esto es debido a que los fructooligosacáridos tienen un peso molecular mayor que sacarosa, lo que resultaría una menor tasa de difusión.

Efectos principales de las variables de estudio sobre la difusividad efectiva de zumo concentrado de yacón en rodajas de yacón.

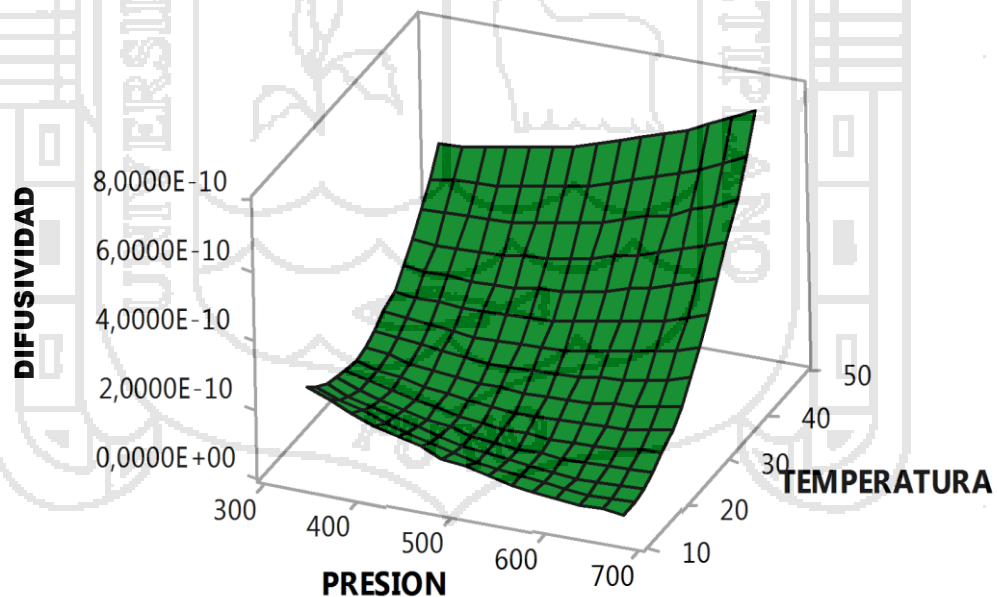
Gráfico 7. Superficie de respuesta de coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la aplicación de presión de vacío y concentración de jarabe, tomando la temperatura constante en 30°C



En el gráfico 07, se presenta la superficie para el coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la aplicación de presión de vacío y concentración, tomando la temperatura constante en 30°C. En donde se observa que la concentración es la principal fuerza motriz de la transferencia al aumentar la concentración, en cuanto a la presión favorece a la difusión pero no de una forma muy determinante como se observa en el gráfico a su vez se puede mencionar que la presión es altamente significativa si interactúa con la temperatura y significativa con la concentración.

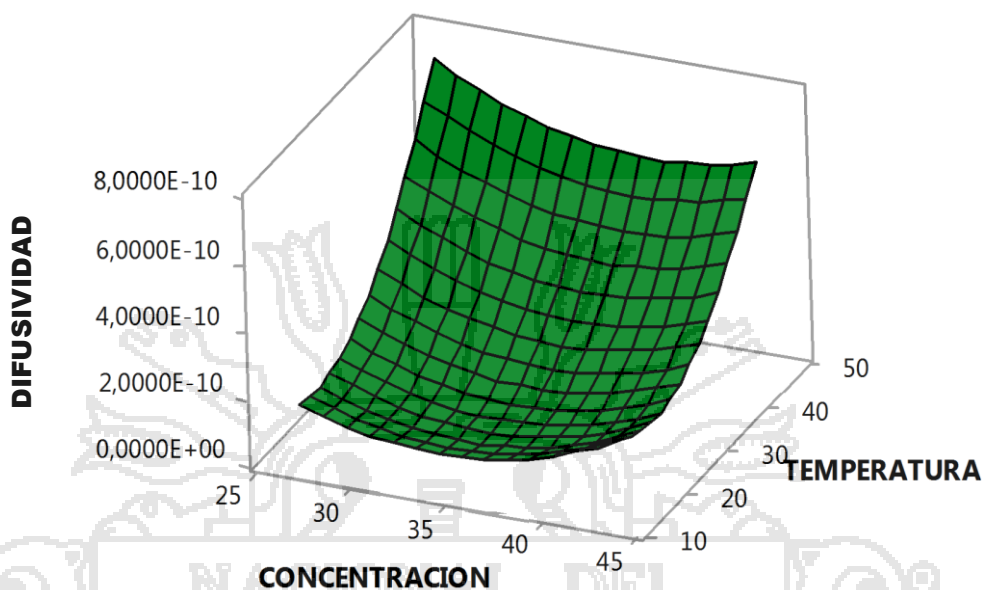
Según Correa et al, (2010), que al aplicar pulsos de vacío aumenta la pérdida de agua y favorece la absorción de sólidos, aumenta la velocidad de transferencia de masa considerando el mecanismo hidrodinámico acoplada a la ley de difusión de Fick para promover una mejor representación del fenómeno de transferencia. Además indican que al aplicar altas presiones de vacío combinadas con altas concentraciones reducen la velocidad de pérdida de agua, es decir hay posibles taponamientos.

Gráfico 8. Superficie de respuesta de coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la aplicación de presión de vacío y temperatura, tomando la concentración de jarabe constante en 35°Brix.



En el gráfico 8, se presenta la superficie de respuesta de coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la aplicación de presión de vacío y temperatura, tomando la concentración constante en 35°Brix, en donde se puede observar el efecto de la presión junto a la temperatura, que al incrementar la temperatura se observa una mayor difusividad teniendo un punto óptimo de 664.75mbar a una temperatura de 46.8179°C.

Gráfico 9. Superficie de respuesta de coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la concentración de jarabe y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 500 mbar.



En el gráfico 9, se presenta la superficie de respuesta de coeficiente de difusión efectiva en yacón con respecto a la aplicación de concentración y temperatura, tomando la concentración constante en 35°Brix, en donde se puede observar el efecto de la presión junto a la temperatura, que al incrementar la temperatura se observa una mayor difusividad

Los resultados del análisis de varianza se presenta en el cuadro 4 del anexo 7, donde nos muestra que la aplicación de temperatura, concentración cuadrática y temperatura cuadrática son altamente significativas, en cambio la concentración la presión cuadrática presión y la interacción presión – temperatura tienen un efecto significativo sobre la difusividad, y el resto son significativamente diferentes al 95% de nivel de confianza. La acción directa de la presión de vacío en los tratamientos de la deshidratación osmótica no tuvo un efecto significativo. Al comparar los coeficiente de difusión efectiva con los datos obtenidos por Maldonado et al. (2008) en la deshidratación de osmótica de yacón a 25°C, 40°Brix y a presión atmosférica se obtuvieron valores más altos. Cardoso (2007) indica que varios autores coinciden en que la comparación de difusividad durante el proceso de deshidratación es difíciles debido a los diferentes métodos y modelos empleados para estimar la difusividad.

El modelo matemático ajustado con los factores codificados es la siguiente:

$$\text{DIFUSIVIDAD} = 1.631\text{E-}9 - 1.27\text{E-}12*\text{P} - 5.66\text{E-}11*\text{C} - 2.40\text{E-}11*\text{T} + 1.3\text{E-}15*\text{P}^2 + 1.057\text{E-}12*\text{C}^2 + 4.795\text{E-}13*\text{T}^2 - 2.34\text{E-}14*\text{P}*C + 293\text{E-}14*\text{P}*T - 2.53\text{E-}13*\text{C}*T$$

El modelo ajustado (R-cuadrada ajustada) explica el 91.42% de la variabilidad de difusividad efectiva, con al menos el 95% de nivel de confianza por lo tanto el modelo es adecuado para predecir la difusividad efectiva.

De los análisis de optimización se obtiene el valor óptimo para el coeficiente de difusión efectiva en yacón igual a $7.0095 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, aplicando una presión de vacío de 668.75mbar, concentración de solución osmótica de 26.591°Brix y temperatura de 46.8179 °C.

4.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE YACÓN, ZUMO CONCENTRADO Y ANÁLISIS SENSORIAL DE YACÓN OSMODESHIDRATADO

4.2.1. Composición Química Proximal Yacón y Zumo Concentrado

Se analizó las características químicas del morfotipo blanco de raíces de yacón, provenientes de la comunidades de la provincia de Sandía (Puno) como se muestra en el cuadro 10, se puede apreciar la composición química de la raíz fresca y zumo concentrado de yacón.

Cuadro 5. Composición química de raíz de yacón y zumo concentrado de yacón en base húmeda.

Características	Yacón	Zumo concentrado de yacón (0.2% de ácido ascórbico)
Humedad %	85,89	70,885
Cenizas %	1,88	0,003
Proteínas %	2,49	0,086
Grasa %	0,58	0,000
Fibra %	0,70	0,000
Carbohidratos %	8,45	29,026
Solidos solubles	8.500	35.000
pH	7.04	4.9

Fuente: Elaboración Propia a partir del informe de resultados del Laboratorio de Evaluación Nutricional UNA- PUNO.

La humedad alcanzada por el yacón, es de 85.89%, este valor es ligeramente más bajo de acuerdo a la humedad determinada por Mayta (2008) que fue de 89.6%; Cancino y

Guevara (2005) que fue de 87.93%. Mayta (2008) manifiesta que los valores de humedad disminuye con el tiempo de exposición al sol, siendo el morfotipo blanco quien presenta un porcentaje de humedad con exposición de 48 horas se tiene 81.21%. Con respecto al contenido de proteína total 2.49% es alto en relación con los valores obtenidos por Mayta (2008) para yacón fresco, quien obtuvo 0.53% de proteína. Según Cárdenas, (1969), esto puede deberse a las condiciones climáticas de cultivo (altitud, latitud), que inciden en los caracteres bioquímicos del valor biológico del tubérculo.

Los contenidos de fibra bruta 0.70% y cenizas 1.88% son relativamente elevados con respecto a Mayta (2008) señala valores de 0.46% y 0.36% respectivamente en cuanto a la variación de cenizas puede deberse a la composición del suelo, por ejemplo Montaldo, (1991) manifiesta que las raíces de las plantas desarrolladas en suelos deficientes en calcio pierden su habilidad en absorber y asimilar nitratos. Los contenidos de grasa 0.58% y carbohidratos 8.45% son relativamente alto y bajo respecto al señalado por Mayta (2008) quien obtuvo para grasa 0.1% y para carbohidratos 9.58% la grasa está presente en cantidad muy limitada en el yacón en relación con sus demás componentes. Este resultado es justificable, puesto que, los constituyentes grasos al igual que la fibra y proteína son muy poco abundante en este tipo de tubérculo y están en mayor proporción en las semillas (National Research Council, 1989)

En cuanto a los valores de zumo concentrado, los datos obtenidos de humedad 70.885%, carbohidratos 29.026%, sólidos solubles 35°Brix y pH 4.9, son diferentes a los citados por los autores como Cancino y Guevara, (2005), en la que reportan un contenido de humedad (25.24%), carbohidratos (69.57%), sólidos solubles (76.5°Brix) y un pH de 5.09. La diferencia que existe con los valores obtenidos, es debido a la menor concentración de sólidos solubles con respecto a los citados por los autores (cuadro 04) que obtiene un jarabe mayor a 70 °Brix, influyendo directamente en la reducción de contenido de humedad. Además Manrique *et al.* (2005) reporta que diferentes factores pueden modificar fácilmente la concentración de carbohidratos en la materia prima. Por ello, la composición relativa de los FOS y de los azúcares simples puede variar mucho en el jarabe de yacón. De acuerdo a la obtención de jarabe de yacón, realizada por López, (2007) reportaron valores de pH mayor a 4.0, esto para evitar la despolimerización de los FOS, para lo cual se utilizó 0.2% en ácido ascórbico, el valor de pH obtenido 4.9 es mayor, lo cual garantiza la conservación del FOS, evitando que se conviertan en azúcares simples durante el almacenamiento del jarabe de yacón.

4.2.1.1. Composición Química Proximal Yacón Osmodeshidratado

En el cuadro 6 se presentan los resultados de los análisis proximal de la muestra seleccionada, que fue osmodeshidratada.

Cuadro 6. Composición Química Proximal Yacón Osmodeshidratado en base húmeda

Características	%
Humedad	74.53
Cenizas	0.85
Proteínas	0.91
Grasa	0.53
Fibra	0.30
Carbohidratos	22.88

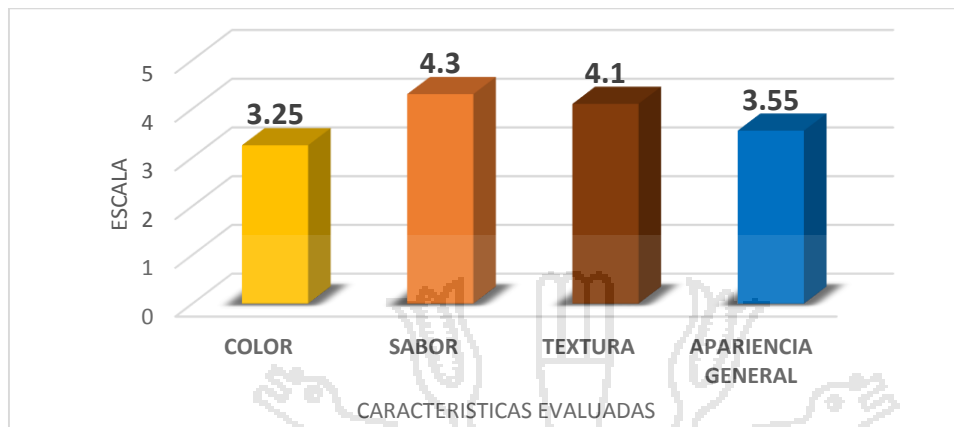
Fuente: Elaboración Propia a partir del informe de resultados del Laboratorio de Evaluación Nutricional UNA- PUNO.

Con respecto a la humedad, el yacón osmodeshidratado reportó un valor de 74.53 %, representativo de humedad intermedia. Al respecto no se cuenta con datos de análisis de productos con solo el proceso de osmodeshidratación, los reportes que se encontraron fueron con respecto a productos obtenidos por métodos combinados de deshidratación (osmodeshidratación y secado por convección), Cancino y Guevara, (2005), obtienen yacón osmodeshidratado con un porcentaje de humedad de 21.5 %. Comparando con los resultados queda una clara diferencia las que son atribuibles al proceso de secado. Los contenidos de proteína, grasa, fibra y ceniza son valores bajos, en cuanto a los carbohidratos representa 22.88%, el aumento mostrado en el contenido de carbohidratos se debe al proceso osmótico donde los sólidos del jarabe penetran al tejido vegetal a través de la membrana celular y de esta se libera agua, hasta llegar al equilibrio.

4.2.2. Características sensoriales de yacón osmodeshidratado

En base a los resultados obtenidos del cuadro de difusividad efectiva se pasó a la obtención del producto con el tratamiento con mayor valor encontrado. El grafico 10 muestra el valor promedio de las características sensoriales del yacón osmodeshidratado, observando que el mayor valor obtenido fue para el sabor con 4.3 que se encuentra entre bueno y muy bueno. Así mismo el valor más bajo fue para el color con 3.25 entre regular y bueno, similares valores se encontró para las características de textura y apariencia general, con valores de 4.1 y 3.55 respectivamente.

Gráfico 10. Valores promedio de las características sensoriales de yacón osmodeshidratado.



En cuanto al color, de acuerdo a un estudio realizado por Cancino y Guevara (2005), reportaron que este atributo recibió mayor calificativo al someter a dos jarabeos de 45 y 50°Brix, por lo cual la acentuación en el color de la rodaja es directamente proporcional a la penetración del zumo concentrado; mientras en los resultados obtenidos el zumo utilizado tuvo una concentración de 35°Brix con una coloración muy similar al color de yacón fresco, por lo cual no se observa cambios más resaltantes que favorezcan en la aceptación de este atributo. En cuanto a la característica del sabor, Cancino y Guevara (2005), indican que el sabor de las rodajas de yacón mejora debido a la ganancia de sólidos solubles aportados por los componentes del zumo concentrado, por lo que se corrobora ya que fue la característica con mayor aceptación, Barboza y Vega (2000), reportaron estudios realizados con manzana osmodeshidratada donde se observa mejoras de esta propiedad utilizando zumo concentrado de manzana (67°Brix durante 7 horas) como solución osmótica, en lugar de solución de azúcar.

En cuanto a la textura de las rodajas de yacón osmodeshidratado obtiene un valor de 4.1 entre bueno y muy bueno, ya que la inmersión en zumo concentrado de yacón mejora la consistencia, por un enriquecimiento en sólidos solubles. Respecto a la apariencia general, se encontró un valor promedio entre regular y bueno, Cancino y Guevara (2005), demostraron que si el jarabeo se hace de forma secuencial (50 a 60°Brix), las rodajas osmodeshidratadas tienden a mostrar una mejor apariencia. Por lo cual resulta importante destacar la importancia del uso de zumo concentrado que permite conservar propiedades originales del yacón

V. CONCLUSIONES

- La aplicación de temperatura, concentración, y presión tuvieron un efecto importante sobre la ganancia de sólidos, pérdida de masa y pérdida de agua, acelerando la velocidad de deshidratación osmótica. Los máximos niveles de ganancia de sólidos solubles, pérdida de peso y pérdida de agua fueron a una presión de 400 a 600 mbar, concentración entre 35 a 40°Brix con temperatura de 30 a 40 °C.
- Los valores de los coeficientes de difusividad efectiva depende directamente del efecto de la temperatura y de la concentración de la solución osmótica empleada en el proceso de deshidratación. Los máximos niveles de difusividad efectiva $7.0095 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ se presentaron al aplicar una presión de vacío de 668.7 mbar, concentración de solución osmótica de 26.6 °Brix y temperatura de 46.8 °C.
- Las características fisicoquímicas del producto osmodeshidratado, reportó: Humedad 74.5%, Cenizas 0.85%, Proteínas 0.91%, Grasa 0.53%, Fibra 0.30% y Carbohidratos 22.88%. Del análisis sensorial la característica que logró mayor valor fue el sabor con 4.3 que se encuentra entre bueno y muy bueno. Así mismo el valor más bajo fue para el color con 3.25 entre regular y bueno, similares valores se encontró para las características de textura y apariencia general, con valores de 4.1 y 3.55 respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios teniendo en cuenta otros parámetros tales como la adición de calcio, distintas geometrías, los tiempos de procesado más largos en la deshidratación osmótica con pulsos a vacío.
- Se sugiere realizar un estudio con la aplicación de pulsos de vacío (PVOD) que permite enriquecer al yacón con minerales, vitaminas y compuestos probióticos.
- Realizar estudios de almacenamiento para calcular el tiempo de vida útil y un análisis microbiológico del producto osmodeshidratado.



VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aillon, G. (2013). *Aplicación de modelos matemáticos para determinar la caducidad del zumo de tomate de árbol*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Química), Universidad Central Del Ecuador, Ecuador.
- Ayala, A., Giraldo, C., y Serna, L. (2010). *Cinética de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus)*. *Interciencia*, Vol. 35, Pag. 539 - 544.
- Barat, J. (1998). Desarrollo de un modelo de la deshidratación osmótica como operación básica. (Tesis doctoral), Universidad Politécnica de Valencia, Valencia - España.
- Barat, J. M., Barrera, C., Frías, J. M., y Fito, P. (2007). Changes in apple liquid phase concentration throughout equilibrium in osmotic dehydration. *Journal of Food Science*, Vol. 0.
- Barbosa, G. y Vega, H. (2000). *Deshidratación de los alimentos* (A. S. A. Ed.). Zaragoza-España.
- Brennan, J. (2008). *Manual del Procesado de los Alimentos* (A. S. A. Ed.). Zaragoza-España.
- Brochier, B. (2013). *Estudio da desidratacao de yacon (Smallanthus sonchifolius) usando solutos alternativos a sacarose*.
- Cahuaya, S. y Cayo, A. (2010). *Construcción de un Equipo de Deshidratación Osmótica con Pulsos de Vacío y su Evaluación en láminas de Papaya (Carica papaya L.)*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial), Universidad Nacional Del Altiplano Puno, Puno - Perú.
- Camacho, O. (2004). Procesamiento y conservación de frutas. *Programa universidad Virtual de Colombia*.
- Campos, A. y Flores, D. (2012). *Deshidratación osmótica de placas de chayote (Sechium edule) utilizando soluciones hipertónicas de cloruro de sodio y sacarosa*. (Tesis para optar el título de Ingeniero de Alimentos), Universidad Veracruzana, México.

- Cancino, K. y Guevara, A. (2005). *Influencia de la concentración del zumo en la deshidratación osmótica del yacón (Smallanthus sonchifolius Poepp. & Endl)*. (Tesis de maestría), Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.
- Cardoso, A., Barros, N., Cavalcanti, N., A. Moreira, y Barbosa, G. (2007). Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (Genipa Americana L.). *Journal Food Engineering*, 78, 551 - 555.
- Chafter, M., Gonzalez, C., Ortola, M., Chiralt, A., y Fito, P. (2001). Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Journal of Food Process Engineering*, 24.
- Chaparro, L., Soto, N., Garcia, T., Gutierrez, J. y Palmero, J. (2010). Efecto de la presión de vacío, sólidos solubles totales y tiempo de procesamiento sobre la deshidratación osmótica de rebanadas de melón. *Vol. 3*, pp. 223 - 228.
- Chaquilla, G. (1997). *Obtención de jarabe a partir de yacón (Polymnia sonchifolia)*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial), Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú.
- Chavarro, L., Ochoa, C., Ayala, A. (2006). Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (*Carica papaya* L., var. Maradol). *Vol. 3*, pp. 596 - 603.
- Chavez, K. C., y Perez, A. G. (2005). Influencia de la deshidratación del zumo en la deshidratación osmótica del yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Vol. 28*, pp. 251-256.
- Correa, J., Pereira, L., Vieira, G. y Hubinger, M. (2010). Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. *Journal of Food Engineering*, *Vol. 96*, pp. 498- 504.
- Crank, J. (1964). *The Mathematics of Diffusion*. University Press. *Oxford*.
- Curcic, B., Filipovic, V., Níćetin, M., Misljenovic, N. y Pezo, L. (2014). Evaluation of mass transfer kinetics and efficiency of osmotic dehydration of por meat. *Vol. 7*, pp. 63-72.

- Derossi, A., Pilli, T. y Severini, C. (2012). The application of vacuum impregnation techniques in food industry. *Scientific, Health and Aspects of the Food Industry*.
- Díaz, L., Puelles, J., Retto, P., Valverde, L., Rodríguez, K. y Valderrama, C. (2014). Efecto de la presión y concentración de soluciones de miel de aveja en la transferencia de masa y aceptabilidad sensorial de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) variedad "Huando" impregnadas al vacío. *Agroindustrial Science*, vol. 4, pp 95 - 107.
- Duque, A. L., Giraldo, G. y Mejía, C. (2007). Variación del color en mango, mora y uchuva en diferentes tratamientos de deshidratación osmótica. pp 19 - 26.
- Espinoza, E. J. (2003). *Evaluación sensorial de los alimentos* (Primera ed.). Tacna-Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Estaba, A., Coa, G., Natera, J. y Calcaño, A. (2006). Efecto del cloruro de calcio sobre la deshidratación osmótica a vacío en mitades de duraznos (*Prunus persica*) en soluciones de sacarosa. Vol. 6, pp. 121- 127.
- Garcell, P., Díaz, G. y Suris, C. (1998). *Transferencia de cantidad de movimiento calor y masa* (Pueblo: Habana Cuba ed.).
- Gavidia, A., Carbajal, R., Reyna, L., Hidalgo, C., Guevara, C., Cabellos, J. y Rojas, J. (2013). Efecto de la temperatura y la concentración del jarabe de inmersión en la difusividad efectiva y aceptación sensorial en cubos de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) osmodeshidratados. *Journal Agroindustrial Science*. Vol.3. pp 163-166.
- Giraldo, C., Ayala, A., y Serna, L. (2012). Influencia de la aplicación de pulsos de vacío sobre la cinética de deshidratación osmótica de pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). Vol. 19, pp. 569 - 571.
- Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., y Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, 58.

- Gomez, R. A. (2013). Evaluación sensorial de laminas de mango (*Manguifera indica* L cv. Keitt) fortificadas con cloruro de calcio mediante deshidratación osmótica con pulsos de vacío. *Vol. 4*, pp. 157- 169.
- Gutierrez, H. y Vara, R. D. I. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (M.-H. Interamericana Ed. segundo ed.). Mexico.
- Horton, D. (1998). Underground caops. Long - Terin trends in production of roots an tubers. *Winrock International morrilton, AK. A. U.*
- Ibañez, V. (2009). *Analisis y diseño de experimentos* (Universitaria Ed. Primera ed.). Puno -Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- James, R., Welty, E., E., W., y Robert, W. (1988). *Fundamentos de transferencia de momento calor y masa* (Limusa ed.).
- Lizarraga, L. (1997). Cultivos de yacón (*Polymnia sonchifolia*). Cusco - Perú: curso de Pre congreso - IX Congreso Internacional de cultivos andinos.
- López, D. (2007). Valorización de la raíz de Yacón: Obtención de un jarabe rico en fructooligosacáridos. *UPB - Investigación y desarrollo, vol 7*, pp. 93 - 106.
- Maldonado, S., Santapaola, J. E., Singh, J., Torrez, M. y Garay, A. (2008). Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratacion osmotica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Vol. 28*, pp. 251 -256.
- Manrique, I., Párraga, A., y Hermann, M. (2003). Jarabe de yacón: Principio y procesamiento. *Centro Internacional de la Papa (CIP)*. Lima - Perú.
- Martinez, J., Calero, A., Aponte, A. A., Chiralt, A., y Fito, P. (2003). Efecto del escaldado sobre la deshidratación osmótica del mango. *Vol. 4* pp. 27 - 33.
- Martinez, M. M., Garcia, G. A. P., Luna, D. P. y Espinosa, M. E. Á. (2014). Deshidratación osmótica de rodajas de fruta bomba (*Carica Papaya* L) cultivar maradol roja en tres agentes edulcorantes. *Vol. 4*, pp. 18 -21.

- Mayta, N. (2008). *Efectos de la exposición al sol en el contenido de fructooligosacáridos en trez morfotifos de raíz de yacón*. (tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial), Universidad Nacional del Altiplano, Puno- Perú.
- Montgomery, D. (2012). *Diseño y analisis de Experiments* (L. S.A. Ed. segunda ed.). Mexico.
- Moreno, J., Simpson, R., Sayas, M., Segura, I., Aldana, O. y Almonacid, S. (2011). Influence of heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv. *Packham's Triumph*). *Journal Food Engineering*, Vol. 104, pp. 621 - 627.
- Muñoz, A. (2009). Monografía del yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.). *Perúbiodiverso*.
- Nieuwenhuijzen, N. H., Zareifard, M. y Ramaswamy, H. S. (2001). Osmotic drying kinetics of cylindrical apple slices of different Sizes. *Drying Tech*, 19.
- Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Journal of International Food research*, Vol. 1, pp. 7- 18.
- Radziejewska, E., Bieganska, R. y Kidon, M. (2014). Applicability of vacuum impregnation to modify Physico - chemical, sensory and nutritive characteristics of plant origin products - A review. *International Journals of Molecular Science*, Vol. 15.
- Rafiq, K. (2012). Osmotic dehydration technique for Fruit preservation- A review. *Journal of Food Science*, Vol. 22, pp. 71- 85.
- Ramos, R. (2007). *Estudio químico-bromatológico de algunas variedades de yacón Smallanthus sonchifolius* (Poepp & Endl) H. Robinson. *De la provincia de Sandia-Puno*. (Tesis para optar el título de Químico Farmacéutico), Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Lima - Perú.
- Rodriguez, F., Aguado, J., Calles, A., Cañizares, P. y Lopez, B. (2002). *Ingenieria de la industria alimentaria: operaciones de conservacion de alimentos* (S. S.A. Ed. Vol. III). España.

- Rojas, V. (2011). *Estudio de la cinética de deshidratación osmótica en Claudia (Prunus domestica) mediante el uso de miel de abeja*. (Tesis para optar el título de Ingeniero de Alimentos), Universidad Técnica de Ambato, Ambato – Ecuador.
- Saltos, R. (1998). *Deshidratación osmótica de frutas tropicales. Proyecto de Investigación Tecnológica para el desarrollo de alimentos de humedad intermedia*. Universidad Técnica de Ambato., Ambato – Ecuador.
- Seminario, J. (2008). Análisis y recomendaciones en la cadena de valor del yacón. Modulo I: El yacón en el contexto de la biodiversidad Andina. *Perúbiodiverso*, Lima, Perú.
- Seminario, J., Valderrama, M. y Manrique, I. (2003). *El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio*. Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional de Cajamarca. Lima - Perú.
- Sereno, A., Moreira, R. y Martinez, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal Food Engineering*, 47, 43 - 49.
- Shi, X. y Fito, P. (1994). Application of osmotic dehydration technology on jam processing drying technology.
- Tapia, M. (1997). *Cultivos andinos sobreexplotados y su aporte a la alimentación*.
- Torres, J. (2007). *Optimización De Las Condiciones De Operación De Tratamientos Osmóticos Destinados Al Procesado Mínimo De Mango (Mangifera Indica L.)*. . (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Valencia.
- Yanqui, P., y Maquera, V. (2010). *Efecto de estado de madurez, concentración y temperatura en la difusión efectiva de sacarosa en papaya (Carica papaya L.) En el módulo de osmodeshidratación*. (Tesis para optar el título de Ingeniería Agroindustrial), Universidad Nacional Del Altiplano Puno, Puno - Perú.
- Yao, Z., y Le., M. (1997). mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration proceses. part. III: Parametric study. *journal of food Engineering*.

VIII. ANEXO

ANEXO 1. CODIFICACION DE VALORES DE DCC PARA DOS FACTORES.

FACTOR	NIVEL (-)	NIVEL (+)
A: Presión	400	600
B: Concentración	30	40
C: Temperatura	20	40

• **Para factor de presión de vacío**

Si: $\bar{x} = \frac{600+400}{2} = 500$ y $\Delta x = \frac{600-400}{2} = 100$

Para: $(-1.681) \rightarrow -1.681 = \frac{A-\bar{x}}{\Delta x} = \frac{A-500}{100} = 331.821$

Para: $(+1.681) \rightarrow -1.681 = \frac{A-\bar{x}}{\Delta x} = \frac{A-500}{100} = 668.179$

Para: $(0) \rightarrow 0 = \frac{A-\bar{x}}{\Delta x} = \frac{A-500}{100} = 500$

• **Para factor de concentración:**

Si: $\bar{x} = \frac{40+30}{2} = 35$ y $\Delta x = \frac{40-30}{2} = 5$

Para: $(-1.681) \rightarrow -1.681 = \frac{A-\bar{x}}{\Delta x} = \frac{A-35}{5} = 26.591$

Para: $(+1.681) \rightarrow -1.681 = \frac{A-\bar{x}}{\Delta x} = \frac{A-35}{5} = 43.409$

Para: $(0) \rightarrow 0 = \frac{A-\bar{x}}{\Delta x} = \frac{A-35}{5} = 35$

• **Para factor de temperatura:**

Si: $\bar{x} = \frac{40+20}{2} = 30$ y $\Delta x = \frac{40-20}{2} = 10$

Para: $(-1.681) \rightarrow -1.681 = \frac{A-\bar{x}}{\Delta x} = \frac{A-30}{10} = 13.1821$

Para: $(+1.681) \rightarrow -1.681 = \frac{A-\bar{x}}{\Delta x} = \frac{A-30}{10} = 46.8179$

Para: $(0) \rightarrow 0 = \frac{A-\bar{x}}{\Delta x} = \frac{A-30}{10} = 30$

ANEXO 2.

Cuadro N° 1. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 400 mbar, C= 30 °Brix y T= 20°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	13,9657	13,9657	8,80	0,9042	30,2
2	10	13,795	12,4727	12,10	0,8822	30,2
3	20	13,7993	12,2424	13,50	0,8741	30
4	40	13,7148	12,1041	14,10	0,8670	29,9
5	60	12,9701	11,4094	15,00	0,8544	29,9
6	80	13,2012	11,4511	16,20	0,8232	29,7
7	100	13,0641	11,1646	17,00	0,8214	29,7
8	120	12,6967	10,6925	18,20	0,8196	29,7
9	150	13,3782	11,2038	19,40	0,8099	29,7

Cuadro N° 2. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 600 mbar, C= 30°Brix y T= 20°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	10,3696	10,3696	7,7	0,910580302	30
2	10	12,9911	12,3148	9,7	0,888728508	29,7
3	20	13,4091	11,9466	10,6	0,887234212	29,7
4	40	13,4773	11,9087	11,7	0,863882122	29,6
5	60	12,5424	10,7777	11,9	0,850551674	29,4
6	80	12,8265	10,7361	12,8	0,848718094	29,3
7	100	13,4083	10,9656	13,7	0,846701396	28,9
8	120	12,7894	10,4178	14,5	0,843899249	28,6
9	150	12,5977	10,1363	15,8	0,838888668	28

Cuadro N° 3. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P=400 mbar, C= 40 °Brix y T= 20°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	11,7169	11,7169	7,2	0,88277365	40,3
2	10	13,55	12,1104	11,2	0,86349219	39,8
3	20	12,908	11,1077	13	0,844973461	39,6
4	40	12,3046	10,1662	14,3	0,835932825	39,5
5	60	12,5286	10,2522	15,2	0,810556154	39,3
6	80	13,0747	10,1521	17,9	0,79712193	39
7	100	13,9088	11,222	18,5	0,793971355	38,9
8	120	13,4589	10,1956	20,7	0,793395142	38,8
9	150	12,3878	9,0378	21,2	0,782234523	37,2

Cuadro N° 4. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 600 bar, C= 40 °Brix y T=20°C

N° muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	12,542	12,542	9,9	0,882912274	40
2	10	13,513	12,484	14,2	0,875308888	40
3	20	13,904	12,401	15,6	0,860365477	39,9
4	40	12,513	11,22	17,2	0,828433034	39,7
5	60	13,689	12,111	18,3	0,825462954	39,5
6	80	13,801	12,133	19,4	0,806680444	39,4
7	100	12,125	10,14	20,6	0,805066826	39,2
8	120	13,43	10,8056	22,1	0,77502547	39
9	150	11,657	9,0795	23,4	0,765087282	38,8

Cuadro N° 5. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P=400 mbar, C=30 °Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	13,0705	13,0705	8,2	0,916662572	30
2	10	13,4778	12,5013	10,9	0,882324219	30
3	20	13,7773	12,437	12,9	0,877730125	29,2
4	40	13,0636	11,3668	14,5	0,863581217	29,2
5	60	12,9087	10,759	16,1	0,846947891	29,1
6	80	13,1566	10,7758	17	0,821012138	29
7	100	13,7695	10,91	18,4	0,817888639	28,9
8	120	13,777	10,8103	20,1	0,777832776	28,9
9	150	13,7767	10,9336	21,9	0,767979469	28,8

Cuadro N° 6. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 600 mbar, C= 30°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	13,1045	13,1045	8,10	0,9190	30,00
2	10	13,3721	11,8964	12,50	0,8669	30,00
3	20	13,1010	11,2733	14,50	0,8540	27,80
4	40	12,1472	9,9241	16,30	0,8299	26,70
5	60	13,5333	10,4864	17,60	0,8245	25,90
6	80	13,7658	10,2158	19,90	0,8241	24,90
7	100	13,1885	9,4674	21,20	0,8087	24,60
8	120	13,9208	9,4973	22,90	0,8061	24,30
9	150	13,0095	8,6243	24,10	0,7843	23,80

Cuadro N° 7. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P=400 mbar, C= 40°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	12,2845	12,2845	8,2	0,879718277	40
2	10	12,858	11,205	12,4	0,830821134	39,9
3	20	13,087	10,8256	14,9	0,821189946	39,6
4	40	12,4205	9,9061	16,9	0,814528038	39,4
5	60	12,944	9,5874	19,4	0,802436284	38,7
6	80	12,5729	8,9752	22,4	0,719090365	38,1
7	100	13,1502	8,9077	24,8	0,698253968	38
8	120	12,6752	8,0527	27,5	0,688058748	35,5
9	150	13,0335	7,9366	28,9	0,673911407	34,2

Cuadro N° 8. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 600 mbar, C= 40°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	13,2136	13,2136	7,9	0,933206447	40
2	10	12,2448	10,9915	11,44	0,871341778	40
3	20	12,8467	10,3708	15,7	0,854759256	39,8
4	40	13,377	10,2175	18,2	0,81682822	39,1
5	60	12,9713	9,4362	20,8	0,771950171	36,2
6	80	12,4862	8,6574	22,9	0,766754806	35,6
7	100	13,4944	8,9109	24,5	0,762162484	34,4
8	120	13,754	8,4517	27	0,747484102	33,3
9	150	12,6833	7,1734	29,9	0,713779622	33,3

Cuadro N° 9. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 331,821 mbar, C= 35°Brix y T= 30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	13,7046	13,7046	7,4	0,89515296	35
2	10	13,1055	11,7516	10,4	0,883384298	35
3	20	13,525	11,8585	12,8	0,870854496	34,9
4	40	12,805	11,0723	15	0,861005379	34,9
5	60	12,37	10,0938	15,8	0,8578797	34,7
6	80	13,3933	10,4432	17,7	0,842942346	34,7
7	100	12,6566	9,6089	18,4	0,834617561	34,5
8	120	13,7116	10,2872	19,8	0,812964453	34,3
9	150	13,287	9,5795	21,2	0,790442425	34,2

Cuadro N° 10. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P=668,179 mbar, C= 35°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	13,2468	13,2468	8,2	0,880480989	35
2	10	13,8982	13,0155	11,6	0,866002432	34,9
3	20	13,5813	12,1224	12,4	0,864539843	34,9
4	40	13,3716	11,6765	13,1	0,853614782	34,9
5	60	13,6011	11,702	14,7	0,850460456	34,8
6	80	13,3731	10,9566	15,8	0,842605343	34,5
7	100	13,5849	10,9175	17,6	0,837833532	34,3
8	120	13,2222	10,3749	18,6	0,828248207	34,2
9	150	13,6712	10,4006	20,1	0,807134473	33,9

Cuadro N° 11. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 500 mbar, C= 26,591°Brix y T= 30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	11,979	11,979	8,4	0,911480745	26,59
2	10	13,3327	12,6597	11,5	0,897235568	26,59
3	20	13,5397	12,4418	12,9	0,888389268	26,4
4	40	13,6614	12,3472	14,5	0,879781729	26,2
5	60	13,5397	12,1463	15,6	0,865189059	26,1
6	80	12,9192	11,432	16,7	0,857815248	25,9
7	100	13,2781	11,5398	17,8	0,847951451	25,8
8	120	13,7646	12	18,2	0,837427758	25,8
9	150	13,4223	11,1512	19	0,82822319	25,2

Cuadro N° 12. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 500 mbar, C= 43,409 °Brix y T= 30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	13,4635	13,4635	8,7	0,913019292	43,4
2	10	13,7752	12,1382	15	0,8793076	42,9
3	20	13,7128	11,6914	17,5	0,858238466	42,5
4	40	12,5043	10,68	18,8	0,836864153	42,4
5	60	12,905	10,716	20	0,826717101	41,3
6	80	13,924	10,613	22,3	0,810253365	40
7	100	13,2125	9,1176	24,6	0,798981426	39,9
8	120	12,793	8,4539	25,8	0,788972361	39,5
9	150	13,8292	8,929	26,9	0,773901655	39

Cuadro N° 13. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 13,1821°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	13,4526	13,4526	7,2	0,911982132	35
2	10	13,769	12,8039	10,1	0,884755206	35
3	20	13,3384	12,2957	10,8	0,882730052	34,9
4	40	13,1032	11,7415	11,5	0,879205594	34,9
5	60	13,6511	12,0331	11,9	0,875303483	34,9
6	80	13,6011	11,4919	12,5	0,864528899	34,8
7	100	13,8145	11,835	13,1	0,854869733	34,6
8	120	13,509	11,256	13,8	0,834694609	34,6
9	150	13,9697	11,0255	15,9	0,824186776	34,4

Cuadro N° 14. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T=46,8179°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	12,9225	12,9225	7	0,933333333	35
2	10	12,8471	11,8345	12,1	0,886968164	35
3	20	12,885	10,4646	14,2	0,869892962	34,8
4	40	12,8254	10,4673	16	0,843044255	34,7
5	60	13,1909	10,0165	18,2	0,820822048	34,6
6	80	13,2699	9,586	19,5	0,80970297	34,2
7	100	12,5588	8,17989	23,5	0,746814591	34,1
8	120	12,4516	7,9599	28	0,721290988	34,1
9	150	12,7045	8,1215	29,8	0,706059259	33,8

Cuadro N° 15. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	13,562	13,562	6,9	0,90940437	35
2	10	13,723	12,0029	9,5	0,89265201	35
3	20	13,2054	11,2223	10,1	0,860303114	35
4	40	13,8249	11,1458	12	0,856605705	34,6
5	60	13,214	10,2651	13,2	0,842523755	34,6
6	80	12,977	9,5697	14,4	0,804269619	34,4
7	100	13,6361	9,4238	15,6	0,787067983	34,2
8	120	13,2212	9,1206	17,1	0,739057736	34
9	150	13,5535	9,7017	18,9	0,725815478	33,9

Cuadro N° 16. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	12,9714	12,9714	8,4	0,9003544	35
2	10	12,5661	11,4725	10,9	0,876066271	34,8
3	20	13,9011	12,056	12,8	0,872426177	34,6
4	40	13,4698	11,2346	13,9	0,853535756	34,6
5	60	13,811	10,6032	14,9	0,839063716	34,4
6	80	12,88	9,6516	16,3	0,835915773	34,2
7	100	13,2833	9,4923	18	0,831387602	34
8	120	13,311	9,2094	19,1	0,815835007	33,8
9	150	13,523	9,2884	20,2	0,787179814	32,4

Cuadro N° 17. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	12,5454	12,5454	7,1	0,880466821	35
2	10	13,3791	12,1602	9,6	0,871266201	34,8
3	20	13,434	11,987	11,9	0,860006389	34,6
4	40	13,591	11,6135	12,8	0,852601613	34,4
5	60	12,7827	10,523	13,6	0,840055827	33,8
6	80	13,0393	10,606	14,7	0,836499861	33,6
7	100	13,3681	10,5116	15,2	0,830958899	33,5
8	120	13,0795	9,9125	17,5	0,824825756	33,3
9	150	13,4444	9,3018	19,4	0,804256755	33

Cuadro N° 18. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	12,4554	12,4554	7,5	0,912516719	35
2	10	13,8101	12,1491	10,7	0,884268607	35
3	20	12,5701	10,7712	12,5	0,863867786	34,8
4	40	12,965	10,302	13,6	0,855749476	34,8
5	60	13,2919	9,7685	14,3	0,84587105	34,6
6	80	13,6043	9,8106	16,4	0,835729115	34,5
7	100	12,724	9,0155	17,3	0,803928593	34,1
8	120	12,9526	8,9948	18,3	0,790973118	34
9	150	12,3462	8,5534	19,2	0,782735151	34

Cuadro N° 19. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	13,3029	13,3029	7,5	0,907735983	35
2	10	13,4564	12,4814	9,8	0,883361071	35
3	20	13,9886	12,174	10,9	0,872694243	34,8
4	40	13,7313	11,4288	12,4	0,8717349	34,7
5	60	13,6098	11,6126	13,1	0,863768174	34,4
6	80	13,5045	10,7347	14,8	0,845154746	34,2
7	100	13,4417	10,1213	15,4	0,837897692	33,7
8	120	13,862	9,87	16,5	0,831039619	33,5
9	150	13,6107	9,9121	18,2	0,792211421	33,4

Cuadro N° 20. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Mo	Mt	°Brix de muestra	Humedad	°Brix de solución
1	0	12,5435	12,5435	7,8	0,912952879	35
2	10	12,8098	11,8411	10,7	0,873299219	35
3	20	13,797	12,3621	11	0,869435375	34,8
4	40	13,9262	12,1163	11,8	0,862656028	34,5
5	60	13,7755	11,4532	12,9	0,852215076	34,4
6	80	13,8976	11,4212	13,9	0,839910323	34,2
7	100	13,6988	11,1425	15,8	0,8221889	34,1
8	120	13,5668	10,5381	17,1	0,811722176	33,9
9	150	13,353	9,5149	18,4	0,786871832	33,4

ANEXO 3.

Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [fracción másica de agua (Xw) y solidos solubles (Xs), contenido de solidos solubles en la fase liquida (Zs); pérdida de peso ΔM_w y ganancia de solutos (ΔM_s)]

Cuadro N° 1. Para el tratamiento de PVOD. P=400mbar C=30°Brix y T=20°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔM_w	ΔM_s
1	0	0,9042	0,0872	0,0880	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8822	0,1214	0,1210	-0,095854	-0,106562	0,022552
3	20	0,8741	0,1364	0,1350	-0,112825	-0,128698	0,033784
4	40	0,8670	0,1423	0,1410	-0,117442	-0,138973	0,038359
5	60	0,8544	0,1508	0,1500	-0,120331	-0,152607	0,045385
6	80	0,8232	0,1591	0,1620	-0,132571	-0,190150	0,050789
7	100	0,8214	0,1682	0,1700	-0,145398	-0,202253	0,056523
8	120	0,8196	0,1823	0,1820	-0,157852	-0,213993	0,066317
9	150	0,8099	0,1949	0,1940	-0,162533	-0,225919	0,076009

Cuadro N° 2. Para el tratamiento de PVOD. P=600mbar C=30°Brix y T=20°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔM_w	ΔM_s
1	0	0,9106	0,0760	0,0770	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8887	0,0955	0,0970	-0,052059	-0,068118	0,014533
3	20	0,8872	0,1052	0,1060	-0,109068	-0,120115	0,017760
4	40	0,8639	0,1145	0,1170	-0,116388	-0,147244	0,025180
5	60	0,8506	0,1149	0,1190	-0,140699	-0,179700	0,022759
6	80	0,8487	0,1246	0,1280	-0,162975	-0,200182	0,028315
7	100	0,8467	0,1344	0,1370	-0,182178	-0,218129	0,033962
8	120	0,8439	0,1431	0,1450	-0,185435	-0,223169	0,040615
9	150	0,8389	0,1574	0,1580	-0,195385	-0,235598	0,050696

Cuadro N° 3. Para el tratamiento de PVOD. P=400mbar C=40°Brix y T=20°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔM_w	ΔM_s
1	0	0,8828	0,0685	0,0720	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8635	0,1089	0,1120	-0,106244	-0,111022	0,028847
3	20	0,8450	0,1263	0,1300	-0,139472	-0,155650	0,040160
4	40	0,8359	0,1395	0,1430	-0,173789	-0,192116	0,046753
5	60	0,8106	0,1453	0,1520	-0,181696	-0,219493	0,050399
6	80	0,7971	0,1738	0,1790	-0,223531	-0,263833	0,066455
7	100	0,7940	0,1802	0,1850	-0,193173	-0,242176	0,076921
8	120	0,7934	0,2071	0,2070	-0,242464	-0,281748	0,088397
9	150	0,7822	0,2104	0,2120	-0,270427	-0,312077	0,085047

Cuadro N° 4. Para el tratamiento de PVOD. P=600mbar C=40°Brix y T=20°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔM_w	ΔM_s
1	0	0,8829	0,0970	0,0990	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8753	0,1449	0,1420	-0,076149	-0,074257	0,036821
3	20	0,8604	0,1590	0,1560	-0,108098	-0,115551	0,044822
4	40	0,8284	0,1721	0,1720	-0,103333	-0,140083	0,057295
5	60	0,8255	0,1849	0,1830	-0,115275	-0,152605	0,066569
6	80	0,8067	0,1942	0,1940	-0,120861	-0,173728	0,073684
7	100	0,8051	0,2089	0,2060	-0,163711	-0,209644	0,077664
8	120	0,7750	0,2199	0,2210	-0,195413	-0,259337	0,079894
9	150	0,7651	0,2337	0,2340	-0,221112	-0,286995	0,085030

Cuadro N° 5. Para el tratamiento de PVOD. P=400mbar C=30°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9167	0,0819	0,0820	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8823	0,1079	0,1090	-0,072452	-0,098265	0,018238
3	20	0,8777	0,1300	0,1290	-0,097283	-0,124321	0,035470
4	40	0,8636	0,1465	0,1450	-0,129888	-0,165250	0,045552
5	60	0,8469	0,1625	0,1610	-0,166531	-0,210758	0,053579
6	80	0,8210	0,1682	0,1700	-0,180959	-0,244220	0,055849
7	100	0,8179	0,1844	0,1840	-0,207669	-0,268624	0,064246
8	120	0,7778	0,1957	0,2010	-0,215337	-0,306326	0,071658
9	150	0,7680	0,2153	0,2190	-0,206370	-0,307171	0,089027

Cuadro N° 6. Para el tratamiento de PVOD. P=600mbar C=30°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9190	0,0810	0,0810	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8669	0,1238	0,1250	-0,110357	-0,147773	0,029177
3	20	0,8540	0,1448	0,1450	-0,139508	-0,184163	0,043625
4	40	0,8299	0,1616	0,1630	-0,183013	-0,241027	0,051034
5	60	0,8245	0,1761	0,1760	-0,225141	-0,280180	0,055452
6	80	0,8241	0,2047	0,1990	-0,257885	-0,307497	0,070927
7	100	0,8087	0,2176	0,2120	-0,282147	-0,338537	0,075172
8	120	0,8061	0,2394	0,2290	-0,317762	-0,369109	0,082335
9	150	0,7843	0,2490	0,2410	-0,337077	-0,399079	0,084095

Cuadro N° 7. Para el tratamiento de PVOD. P=400mbar C= 40°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,8797	0,0786	0,0820	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8308	0,1176	0,1240	-0,128558	-0,155706	0,023905
3	20	0,8212	0,1438	0,1490	-0,172797	-0,200428	0,040355
4	40	0,8145	0,1657	0,1690	-0,202440	-0,230083	0,053535
5	60	0,8024	0,1931	0,1940	-0,259317	-0,285367	0,064477
6	80	0,7191	0,2076	0,2240	-0,286147	-0,366394	0,069596
7	100	0,6983	0,2303	0,2480	-0,322619	-0,406734	0,077404
8	120	0,6881	0,2610	0,2750	-0,364689	-0,442587	0,087228
9	150	0,6739	0,2739	0,2890	-0,391061	-0,469348	0,088223

Cuadro N° 8. Para el tratamiento de PVOD. P=600mbar C=40°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9332	0,0800	0,0790	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8713	0,1126	0,1144	-0,102354	-0,151050	0,020990
3	20	0,8548	0,1592	0,1570	-0,192727	-0,243182	0,048463
4	40	0,8168	0,1817	0,1820	-0,236189	-0,309304	0,058767
5	60	0,7720	0,2027	0,2080	-0,272532	-0,371638	0,067436
6	80	0,7668	0,2277	0,2290	-0,306643	-0,401571	0,077858
7	100	0,7622	0,2473	0,2450	-0,339659	-0,429920	0,083271
8	120	0,7475	0,2765	0,2700	-0,385510	-0,473885	0,089839
9	150	0,7138	0,3045	0,2990	-0,434422	-0,529508	0,092144

Cuadro N° 9. Para el tratamiento de PVOD. P=332mbar C=35°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,8952	0,0715	0,0740	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8834	0,1025	0,1040	-0,103308	-0,103029	0,020408
3	20	0,8709	0,1278	0,1280	-0,123216	-0,131602	0,040546
4	40	0,8610	0,1519	0,1500	-0,135314	-0,150654	0,059847
5	60	0,8579	0,1610	0,1580	-0,184010	-0,195131	0,059823
6	80	0,8429	0,1813	0,1770	-0,220267	-0,237883	0,069822
7	100	0,8346	0,1882	0,1840	-0,240799	-0,261511	0,071345
8	120	0,8130	0,2007	0,1980	-0,249745	-0,285222	0,079047
9	150	0,7904	0,2127	0,2120	-0,279032	-0,325269	0,081784

Cuadro N° 10. Para el tratamiento de PVOD. P=668mbar C=35°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,8805	0,0786	0,0820	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8660	0,1136	0,1160	-0,063512	-0,069480	0,027772
3	20	0,8645	0,1224	0,1240	-0,107420	-0,108810	0,030583
4	40	0,8536	0,1287	0,1310	-0,126769	-0,135078	0,033719
5	60	0,8505	0,1466	0,1470	-0,139628	-0,148769	0,047449
6	80	0,8426	0,1581	0,1580	-0,180699	-0,190133	0,050894
7	100	0,8378	0,1790	0,1760	-0,196350	-0,207156	0,065168
8	120	0,8282	0,1893	0,1860	-0,215342	-0,230590	0,069852
9	150	0,8071	0,2030	0,2010	-0,239233	-0,266440	0,075822

Cuadro N° 11. Para el tratamiento de PVOD. P=500mbar C=27°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9115	0,0836	0,0840	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8972	0,1166	0,1150	-0,050477	-0,059535	0,027119
3	20	0,8884	0,1316	0,1290	-0,081087	-0,095129	0,037321
4	40	0,8798	0,1492	0,1450	-0,096198	-0,116332	0,051264
5	60	0,8652	0,1599	0,1560	-0,102912	-0,135330	0,059874
6	80	0,8578	0,1720	0,1670	-0,115115	-0,152413	0,068592
7	100	0,8480	0,1836	0,1780	-0,130915	-0,174539	0,075996
8	120	0,8374	0,1863	0,1820	-0,128198	-0,181410	0,078851
9	150	0,8282	0,1943	0,1900	-0,169203	-0,223396	0,077817

Cuadro N° 12. Para el tratamiento de PVOD. P=500mbar C=43°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9130	0,0870	0,0870	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8793	0,1552	0,1500	-0,118837	-0,138206	0,049730
3	20	0,8582	0,1821	0,1750	-0,147410	-0,181294	0,068213
4	40	0,8369	0,1938	0,1880	-0,145894	-0,198248	0,078487
5	60	0,8267	0,2067	0,2000	-0,169624	-0,226533	0,084620
6	80	0,8103	0,2325	0,2230	-0,237791	-0,295437	0,090245
7	100	0,7990	0,2607	0,2460	-0,309926	-0,361663	0,092884
8	120	0,7890	0,2743	0,2580	-0,339178	-0,391649	0,094283
9	150	0,7739	0,2848	0,2690	-0,354337	-0,413340	0,096875

Cuadro N° 13. Para el tratamiento de PVOD. P=500mbar C=35°Brix y T=13°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9120	0,0708	0,0720	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8848	0,0994	0,1010	-0,070092	-0,089241	0,021675
3	20	0,8827	0,1069	0,1080	-0,078173	-0,098258	0,027765
4	40	0,8792	0,1142	0,1150	-0,103921	-0,124145	0,031617
5	60	0,8753	0,1182	0,1190	-0,118525	-0,140424	0,033460
6	80	0,8645	0,1235	0,1250	-0,155076	-0,181521	0,033594
7	100	0,8549	0,1289	0,1310	-0,143291	-0,179608	0,039647
8	120	0,8347	0,1336	0,1380	-0,166778	-0,216496	0,040585
9	150	0,8242	0,1558	0,1590	-0,210756	-0,261498	0,052224

Cuadro N° 14. Para el tratamiento de PVOD. P=500mbar C=35°Brix y T=47°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9333	0,0703	0,0700	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8870	0,1221	0,1210	-0,078819	-0,116275	0,042222
3	20	0,8699	0,1440	0,1420	-0,187846	-0,226847	0,046673
4	40	0,8430	0,1606	0,1600	-0,183862	-0,245293	0,060804
5	60	0,8208	0,1826	0,1820	-0,240651	-0,310043	0,068427
6	80	0,8097	0,1961	0,1950	-0,277613	-0,348415	0,071437
7	100	0,7468	0,2294	0,2350	-0,348673	-0,446913	0,079172
8	120	0,7213	0,2805	0,2800	-0,360733	-0,472236	0,109065
9	150	0,7061	0,2997	0,2980	-0,360738	-0,481977	0,121351

Cuadro N° 15. Para el tratamiento de PVOD. P=500mbar C=35°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9094	0,0674	0,0690	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8927	0,0937	0,0950	-0,125344	-0,128641	0,014559
3	20	0,8603	0,0967	0,1010	-0,150173	-0,178296	0,014738
4	40	0,8566	0,1168	0,1200	-0,193788	-0,218799	0,026774
5	60	0,8425	0,1281	0,1320	-0,223165	-0,254902	0,032133
6	80	0,8043	0,1353	0,1440	-0,262565	-0,316307	0,032374
7	100	0,7871	0,1455	0,1560	-0,308908	-0,365468	0,033139
8	120	0,7391	0,1524	0,1710	-0,310153	-0,399568	0,037766
9	150	0,7258	0,1691	0,1890	-0,284192	-0,389860	0,053678

Cuadro N° 16. Para el tratamiento de PVOD. P=500mbar C=35°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9004	0,0826	0,0840	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8761	0,1072	0,1090	-0,087028	-0,100530	0,015281
3	20	0,8724	0,1281	0,1280	-0,132731	-0,143726	0,028499
4	40	0,8535	0,1378	0,1390	-0,165942	-0,188456	0,032364
5	60	0,8391	0,1469	0,1490	-0,232264	-0,256175	0,030223
6	80	0,8359	0,1628	0,1630	-0,250652	-0,273963	0,039420
7	100	0,8314	0,1825	0,1800	-0,285396	-0,306241	0,047850
8	120	0,8158	0,1926	0,1910	-0,308136	-0,335908	0,050697
9	150	0,7872	0,1993	0,2020	-0,313141	-0,359673	0,054299

Cuadro N° 17. Para el tratamiento de PVOD. P=500mbar C=35°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,8805	0,0673	0,0710	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8713	0,0925	0,0960	-0,091105	-0,088577	0,016804
3	20	0,8600	0,1162	0,1190	-0,107712	-0,113093	0,036361
4	40	0,8526	0,1252	0,1280	-0,145501	-0,151919	0,039652
5	60	0,8401	0,1322	0,1360	-0,176778	-0,188914	0,041565
6	80	0,8365	0,1442	0,1470	-0,186613	-0,200069	0,049964
7	100	0,8310	0,1489	0,1520	-0,213680	-0,227067	0,049828
8	120	0,8248	0,1750	0,1750	-0,242135	-0,255360	0,065308
9	150	0,8043	0,1936	0,1940	-0,308128	-0,324024	0,066642

Cuadro N° 18. Para el tratamiento de PVOD. P=500mbar C=35°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9125	0,0740	0,0750	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8843	0,1060	0,1070	-0,120274	-0,134603	0,019222
3	20	0,8639	0,1234	0,1250	-0,143109	-0,172277	0,031761
4	40	0,8557	0,1347	0,1360	-0,205399	-0,232537	0,033046
5	60	0,8459	0,1411	0,1430	-0,265079	-0,290868	0,029741
6	80	0,8357	0,1639	0,1640	-0,278860	-0,309839	0,044241
7	100	0,8039	0,1682	0,1730	-0,291457	-0,342899	0,045170
8	120	0,7910	0,1772	0,1830	-0,305560	-0,363234	0,049046
9	150	0,7827	0,1860	0,1920	-0,307204	-0,370241	0,054870

Cuadro N° 19. Para el tratamiento de PVOD. P=500mbar C=35°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9077	0,0736	0,0750	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8834	0,0960	0,0980	-0,072456	-0,088380	0,015421
3	20	0,8727	0,1068	0,1090	-0,129720	-0,148248	0,019311
4	40	0,8717	0,1234	0,1240	-0,167683	-0,182176	0,029105
5	60	0,8638	0,1302	0,1310	-0,146747	-0,170723	0,037503
6	80	0,8452	0,1468	0,1480	-0,205102	-0,235924	0,043099
7	100	0,8379	0,1525	0,1540	-0,247022	-0,276818	0,041248
8	120	0,8310	0,1642	0,1650	-0,287982	-0,316020	0,043326
9	150	0,7922	0,1763	0,1820	-0,271742	-0,330802	0,054764

Cuadro N° 20. Para el tratamiento de PVOD. P=500mbar C=35°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min)	Xw	Xs	Zs	ΔM	ΔMw	ΔMs
1	0	0,9130	0,0772	0,0780	0,000000	0,000000	0,000000
2	10	0,8733	0,1046	0,1070	-0,075622	-0,105694	0,019492
3	20	0,8694	0,1075	0,1100	-0,104001	-0,133940	0,019048
4	40	0,8627	0,1154	0,1180	-0,129964	-0,162411	0,023178
5	60	0,8522	0,1262	0,1290	-0,168582	-0,204406	0,027705
6	80	0,8399	0,1356	0,1390	-0,178189	-0,222705	0,034199
7	100	0,8222	0,1543	0,1580	-0,186608	-0,244191	0,048258
8	120	0,8117	0,1674	0,1710	-0,223244	-0,282442	0,052822
9	150	0,7869	0,1774	0,1840	-0,287434	-0,352254	0,049197

ANEXO 4.

Variaciones de peso, agua y ganancia de solidos finales a partir del anexo 3.

PRESION	CONCENTRACION	TEMPERATURA	PERDIDA DE PESO	PERDIDA DE AGUA	GANANCIA DE SOLIDOS
mbar	°Brix	°C	g/g M. F.	g/g M. F.	g/g M. F.
400	30	20	-0,162533076	-0,22591875	0,076008867
600	30	20	-0,195384872	-0,235597789	0,050695523
400	40	20	-0,270427356	-0,312076741	0,085046688
600	40	20	-0,221111778	-0,286994801	0,085030116
400	30	40	-0,206370176	-0,307171161	0,089026788
600	30	40	-0,337076752	-0,399078843	0,084095478
400	40	40	-0,391061495	-0,469347672	0,088222742
600	40	40	-0,434421641	-0,52950814	0,092143837
331,82	35	30	-0,279032137	-0,325269373	0,081784033
668,18	35	30	-0,23923284	-0,266439588	0,075822362
500	26,591	30	-0,16920349	-0,22339581	0,077817069
500	43,409	30	-0,3543372	-0,413339782	0,096874753
500	35	13,182	-0,210756136	-0,261497776	0,052223756
500	35	46,818	-0,360738321	-0,481976706	0,121350635
500	35	30	-0,284192275	-0,389860044	0,053678066
500	35	30	-0,313140575	-0,359672526	0,054299083
500	35	30	-0,308128291	-0,324024325	0,066642019
500	35	30	-0,307203836	-0,370240809	0,0548698
500	35	30	-0,271742085	-0,330801745	0,054764127
500	35	30	-0,287433536	-0,3522544	0,049197385

ANEXO 5

Cuadro 01. Parámetros cinéticos para pérdida de peso

N° tratamiento	P (mbar)	C(°Brix)	T (°C)	Ys	$K_m \times 100$ ($s^{-0.5}$)	$K_m^0 \times 100$ ($s^{-0.5}$)	R ²
1	400	30	20	0,30	-0,0923	-7,3551	0,9495
2	600	30	20	0,30	-0,1926	-2,3957	0,9427
3	400	40	20	0,40	-0,2105	-6,1213	0,9244
4	600	40	20	0,40	-0,1883	-2,1591	0,8507
5	400	30	40	0,30	-0,2144	-2,6981	0,9487
6	600	30	40	0,30	-0,3066	-1,2635	0,9154
7	400	40	40	0,40	-0,3773	-3,2689	0,9911
8	600	40	40	0,40	-0,432	-1,6657	0,9817
9	332	35	30	0,35	-0,2629	-2,942	0,9741
10	668	35	30	0,35	-0,2394	-1,0601	0,9812
11	500	27	30	0,27	-0,1406	-2,232	0,9368
12	500	43	30	0,43	-0,3674	-0,0728	0,8950
13	500	35	13	0,35	-0,1873	-1,5004	0,9404
14	500	35	47	0,35	-0,4003	-0,7391	0,9338
15	500	35	30	0,35	-0,2763	-6,1474	0,9134
16	500	35	30	0,35	-0,3402	-1,1586	0,9775
17	500	35	30	0,35	-0,2544	-2,2012	0,9892
18	500	35	30	0,35	-0,2919	-5,9156	0,9341
19	500	35	30	0,35	-0,2925	-1,0196	0,9133
20	500	35	30	0,35	-0,2667	-0,434	0,9434

Cuadro 02. Parámetros cinéticos para pérdida de agua

N° tratamiento	P (mbar)	C(°Brix)	T (°C)	Ys	$K_w \times 100$ ($s^{-0.5}$)	$K_w^0 \times 100$ ($s^{-0.5}$)	R ²
1	400	30	20	0,30	-2,0464	-1,4098	0,9038
2	600	30	20	0,30	-0,2322	-3,0507	0,9600
3	400	40	20	0,40	-0,2679	-5,6617	0,9637
4	600	40	20	0,40	-0,2851	-0,0241	0,9473
5	400	30	40	0,30	-0,3238	-1,5422	0,9861
6	600	30	40	0,30	-0,3587	-6,1643	0,9990
7	400	40	40	0,40	-0,4751	-2,5881	0,9766
8	600	40	40	0,40	-0,5028	-5,2909	0,9865
9	332	35	30	0,35	-0,3189	-1,4114	0,9830
10	668	35	30	0,35	-0,2656	-0,5352	0,9840
11	500	27	30	0,27	-0,2102	1,2287	0,9800
12	500	43	30	0,43	-0,4142	-1,9702	0,9425
13	500	35	13	0,35	-0,2353	-1,5907	0,9234
14	500	35	47	0,35	-0,5250	-0,6440	0,9601
15	500	35	30	0,35	-0,4082	-2,9124	0,9691
16	500	35	30	0,35	-0,3767	-1,2690	0,9913
17	500	35	30	0,35	-0,3068	-0,3947	0,9635
18	500	35	30	0,35	-0,3564	-5,6725	0,9759
19	500	35	30	0,35	0,3391	-0,9002	0,9465
20	500	35	30	0,35	-0,3216	-1,4680	0,9562

Cuadro 03. Parámetros cinéticos para pérdida de sólidos

N° tratamiento	P (mbar)	C(°Brix)	T (°C)	Ys	K _s x100 (s ^{-0.5})	K _s ⁰ x100 (s ^{-0.5})	R ²
1	400	30	20	0,30	0,0702	0,5286	0,9711
2	600	30	20	0,30	0,0465	0,0491	0,8950
3	400	40	20	0,40	0,0872	0,6435	0,9474
4	600	40	20	0,40	0,0702	2,1827	0,9807
5	400	30	40	0,30	0,0873	0,238	0,9631
6	600	30	40	0,30	0,0793	1,2455	0,9722
7	400	40	40	0,40	0,0914	0,6585	0,9780
8	600	40	40	0,40	0,0952	0,8514	0,9410
9	332	35	30	0,35	0,0809	1,0284	0,9199
10	668	35	30	0,35	0,074	0,44	0,9503
11	500	27	30	0,27	0,078	1,1389	0,9608
12	500	43	30	0,43	0,0622	4,3475	0,9025
13	500	35	13	0,35	0,0355	1,3107	0,8956
14	500	35	47	0,35	0,1076	0,839	0,8949
15	500	35	30	0,35	0,0487	0,0532	0,8950
16	500	35	30	0,35	0,0518	0,5289	0,9289
17	500	35	30	0,35	0,0629	0,6857	0,9119
18	500	35	30	0,35	0,0455	1,0282	0,8905
19	500	35	30	0,35	0,0528	0,2804	0,9560
20	500	35	30	0,35	0,0535	0,1173	0,8760



ANEXO 6

Cuadro 01. Valores de los coeficientes de difusión efectiva en la fase líquida de yacón sometida a diferentes tratamientos.

N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	$t^{1/2}(s^{1/2})$	X_1	Z_{OHDM}	1-Y	$D_e (m^2/s)$
1	400	30	20	24,4949	0,017315	0,091702	0,140654	4,47502E-10
				34,6410			0,207866	
				48,9898			0,236671	
				60,0000			0,279878	
				69,2820			0,337488	
				77,4597			0,375894	
				84,8528			0,433504	
				94,8683			0,491114	
2	600	30	20	24,4949	0,001634	0,077369	0,088176	2,62304E-10
				34,6410			0,128602	
				48,9898			0,178011	
				60,0000			0,186994	
				69,2820			0,227420	
				77,4597			0,267846	
				84,8528			0,303780	
				94,8683			0,362172	
3	400	40	20	24,4949	0,015833	0,077455	0,107102	4,00795E-10
				34,6410			0,162908	
				48,9898			0,203212	
				60,0000			0,231116	
				69,2820			0,314825	
				77,4597			0,333427	
				84,8528			0,401634	
				94,8683			0,417136	
4	600	40	20	24,4949	0,051744	0,114877	0,095127	3,96019E-10
				34,6410			0,144228	
				48,9898			0,200345	
				60,0000			0,238924	
				69,2820			0,277504	
				77,4597			0,319591	
				84,8528			0,372200	
				94,8683			0,417795	
5	400	30	40	24,4949	0,007871	0,083718	0,116892	9,29409E-10
				34,6410			0,209364	
				48,9898			0,283342	
				60,0000			0,357320	
				69,2820			0,398932	
				77,4597			0,463662	
				84,8528			0,542264	
				94,8683			0,625488	
6	600	30	40	24,4949	0,039862	0,089729	0,167739	1,5802E-09
				34,6410			0,262855	
				48,9898			0,348459	
				60,0000			0,410284	
				69,2820			0,519667	
				77,4597			0,581492	
				84,8528			0,662340	
				94,8683			0,719409	

//...Continua



N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	t ^{1/2} (s ^{1/2})	X ₁	Z _{OHD} M	1-Y	D _e (m ² /s)
7	400	40	40	24,4949	0,016196	0,087371	0,117166	1,04807E-09
				34,6410			0,197132	
				48,9898			0,261106	
				60,0000			0,341073	
				69,2820			0,437033	
				77,4597			0,513801	
				84,8528			0,600166	
				94,8683			0,644947	
8	600	40	40	24,4949	0,020841	0,085604	0,091590	1,14428E-09
				34,6410			0,227088	
				48,9898			0,306606	
				60,0000			0,389304	
				69,2820			0,456099	
				77,4597			0,506991	
				84,8528			0,586508	
				94,8683			0,678749	
9	331,821	35	30	24,4949	0,028544	0,082142	0,081604	5,8771E-10
				34,6410			0,171204	
				48,9898			0,253337	
				60,0000			0,283203	
				69,2820			0,354136	
				77,4597			0,380269	
				84,8528			0,432536	
				94,8683			0,484802	
10	668,179	35	30	24,4949	0,012415	0,085467	0,115421	4,26385E-10
				34,6410			0,145663	
				48,9898			0,172125	
				60,0000			0,232609	
				69,2820			0,274192	
				77,4597			0,342236	
				84,8528			0,380039	
				94,8683			0,436743	
11	500	26,591	30	24,4949	0,041073	0,091585	0,134325	7,51606E-10
				34,6410			0,214639	
				48,9898			0,306427	
				60,0000			0,369532	
				69,2820			0,432636	
				77,4597			0,495740	
				84,8528			0,518687	
				94,8683			0,564581	
12	500	43,409	30	24,4949	0,091035	0,118597	0,099537	5,74465E-10
				34,6410			0,178778	
				48,9898			0,219984	
				60,0000			0,258019	
				69,2820			0,330921	
				77,4597			0,403823	
				84,8528			0,441858	
				94,8683			0,476724	
13	500	35	13,1821	24,4949	0,036097	0,082205	0,070185	1,39452E-10
				34,6410			0,096325	
				48,9898			0,122464	
				60,0000			0,137401	
				69,2820			0,159806	
				77,4597			0,182211	
				84,8528			0,208351	
				94,8683			0,286769	



//... Continua

N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	t ^{1/2} (s ^{1/2})	X ₁	Z _{OHDM}	1-Y	D _e (m ² /s)
14	500	35	46,8179	24,4949	0,023410	0,076532	0,162608	1,67385E-09
				34,6410			0,239399	
				48,9898			0,305220	
				60,0000			0,385669	
				69,2820			0,433206	
				77,4597			0,579475	
				84,8528			0,744029	
				94,8683			0,809850	
15	500	35	30	24,4949	0,001518	0,069437	0,091115	4,42454E-10
				34,6410			0,112500	
				48,9898			0,180221	
				60,0000			0,222992	
				69,2820			0,265763	
				77,4597			0,308534	
				84,8528			0,361998	
				94,8683			0,426155	
16	500	35	30	24,4949	0,014886	0,088041	0,080010	4,85391E-10
				34,6410			0,152541	
				48,9898			0,194532	
				60,0000			0,232706	
				69,2820			0,286149	
				77,4597			0,351045	
				84,8528			0,393036	
				94,8683			0,435027	
17	500	35	30	24,4949	0,019215	0,076651	0,070787	3,992E-10
				34,6410			0,154928	
				48,9898			0,187853	
				60,0000			0,217119	
				69,2820			0,257361	
				77,4597			0,275653	
				84,8528			0,359794	
				94,8683			0,429302	
18	500	35	30	24,4949	0,028539	0,082952	0,090050	3,99908E-10
				34,6410			0,157454	
				48,9898			0,198645	
				60,0000			0,224857	
				69,2820			0,303495	
				77,4597			0,337197	
				84,8528			0,374643	
				94,8683			0,408345	
19	500	35	30	24,4949	0,007948	0,077227	0,076155	3,51659E-10
				34,6410			0,116482	
				48,9898			0,171473	
				60,0000			0,197135	
				69,2820			0,259458	
				77,4597			0,281454	
				84,8528			0,321781	
				94,8683			0,384104	
20	500	35	30	24,4949	0,003340	0,078918	0,103594	3,44055E-10
				34,6410			0,114661	
				48,9898			0,144172	
				60,0000			0,184750	
				69,2820			0,221639	
				77,4597			0,291728	
				84,8528			0,339684	
				94,8683			0,387640	

ANEXO 7

Cuadro 1. Análisis de varianza para pérdida de peso en yacón

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Significancia
A:Presion	6,01958	1	6,01958	0,94	0,3545	NS
B:Concentracion	387,021	1	387,021	60,60	0,0000	**
C:Temperatura	436,074	1	436,074	68,28	0,0000	**
AA	16,4241	1	16,4241	2,57	0,1399	NS
AB	35,9187	1	35,9187	5,62	0,0392	*
AC	45,3773	1	45,3773	7,11	0,0237	*
BB	13,6798	1	13,6798	2,14	0,1740	NS
BC	27,5338	1	27,5338	4,31	0,0646	NS
CC	0,230903	1	0,230903	0,04	0,8530	NS
Error total	63,8651	10	6,38651			
Total (corr.)	1029,26	19				

R-cuadrada = 93,795 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 88,2105 porciento

Error estándar del est. = 2,52715

Error absoluto medio = 1,51561

Valor óptimo = 50,3093

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
PRESION	331,821	668,179	527,075
CONCENTRACION	26,591	43,409	43,409
TEMPERATURA	13,1821	46,8179	46,8179

Cuadro 2. Análisis de varianza para pérdida de agua en yacón

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Significancia
A:Presion	1,04215	1	1,04215	0,12	0,7387	NS
B:Concentracion	411,45	1	411,45	46,43	0,0000	**
C:Temperatura	754,837	1	754,837	85,18	0,0000	**
AA	40,6522	1	40,6522	4,59	0,0579	NS
AB	5,52917	1	5,52917	0,62	0,4479	NS
AC	35,0582	1	35,0582	3,96	0,0747	NS
BB	11,251	1	11,251	1,27	0,2861	NS
BC	30,0509	1	30,0509	3,39	0,0954	NS
CC	14,5072	1	14,5072	1,64	0,2296	NS
Error total	88,6153	10	8,86153			
Total (corr.)	1397,09	19				

R-cuadrada = 93,6572 porciento
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 87,9486 porciento
 Error estándar del est. = 2,97683
 Error absoluto medio = 1,73828

Valor óptimo = 60,983

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
PRESION	331,821	668,179	441,926
CONCENTRACION	26,591	43,409	43,409
TEMPERATURA	13,1821	46,8179	46,8179

Cuadro 3. Análisis de varianza para ganancia de sólidos en yacón

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Significancia
A:Presion	0,968391	1	0,968391	1,09	0,3204	NS
B:Concentracion	5,00405	1	5,00405	5,65	0,0388	*
C:Temperatura	21,9061	1	21,9061	24,73	0,0006	**
AA	7,48218	1	7,48218	8,45	0,0157	*
AB	1,45771	1	1,45771	1,65	0,2285	NS
AC	0,73931	1	0,73931	0,83	0,3824	NS
BB	15,0694	1	15,0694	17,01	0,0021	**
BC	1,63155	1	1,63155	1,84	0,2046	NS
CC	14,4928	1	14,4928	16,36	0,0023	**
Error total	8,85782	10	0,885782			
Total (corr.)	71,6986	19				

R-cuadrada = 87,6458 porciento
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 76,5269 porciento
 Error estándar del est. = 0,94116
 Error absoluto medio = 0,523327

Valor óptimo = 14,7759

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
PRESION	331,821	668,179	668,179
CONCENTRACION	26,591	43,409	26,591
TEMPERATURA	13,1821	46,8179	46,55

Cuadro 4. Análisis de varianza para coeficiente de Difusión efectiva en yacón

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Significancia
A:Presion	3.740E-22	1	3.740E-22	0.0374	0.548	NS
B:Concentracion	1.277E-21	1	1.277E-21	0.1277	0.277	NS
C:Temperatura	1.527E-19	1	1.527E-19	158.17	0.000	**
AA	2.298E-21	1	2.298E-21	2.38	0.154	NS
AB	1.094E-21	1	1.094E-21	1.13	0.312	NS
AC	6.859E-21	1	6.859E-21	7.11	0.024	*
BB	1.006E-20	1	1.006E-20	10.42	0.009	**
BC	1.277E-21	1	1.277E-21	1.32	0.277	NS
CC	3.313E-20	1	3.313E-20	34.32	0.000	**
Error	9.653E-21	10	9.653E-21			
Falta de ajuste	8.748E-21	5	1.750E-21	0.013		
Error puro	9.050E-22	5	1.810E-22			
Total (corr.)	2.137E-19	19				

R-cuadrada = 95.48 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 91.42 porciento

Valor óptimo = 7.0095E-10

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
PRESION	331,821	668,179	668,179
CONCENTRACION	26,591	43,409	26,591
TEMPERATURA	13,1821	46,8179	46,818

ANEXO 8

Grafico 01. Representación de 1-Y en función de la raíz cuadrada del tiempo a temperatura de 20°C.

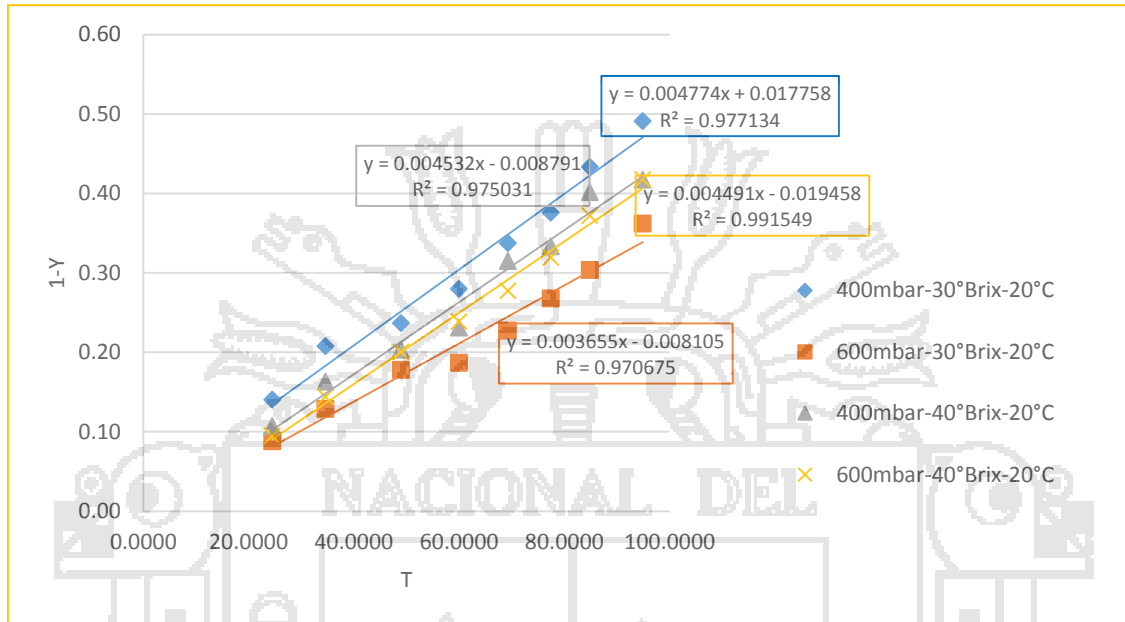


Grafico 02. Representación de 1-Y en función de la raíz cuadrada del tiempo a temperatura de 40°C.

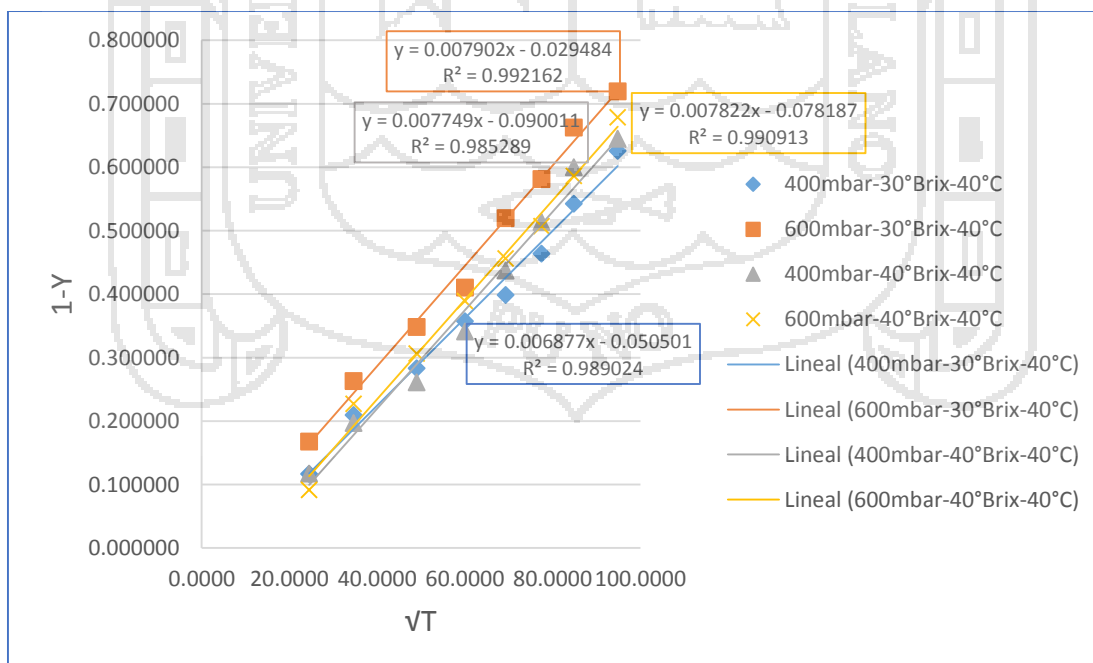


Grafico 03. Representación de 1-Y en función de la raíz cuadrada del tiempo a temperatura de 30°C.

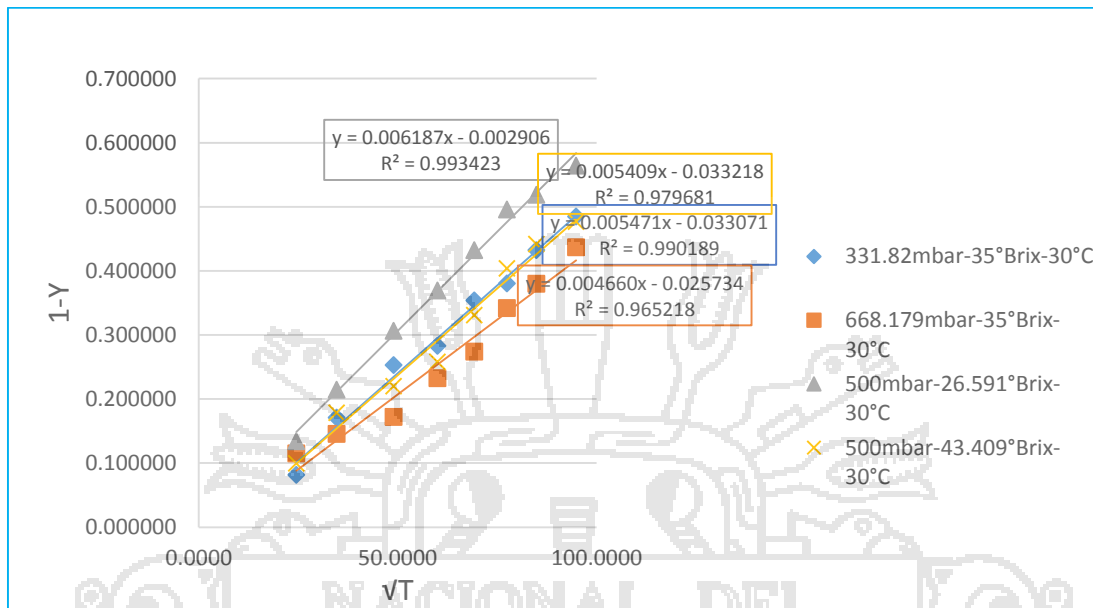


Grafico 04. Representación de 1-Y en función de la raíz cuadrada del tiempo, a presión mbar y a concentración de °Brix

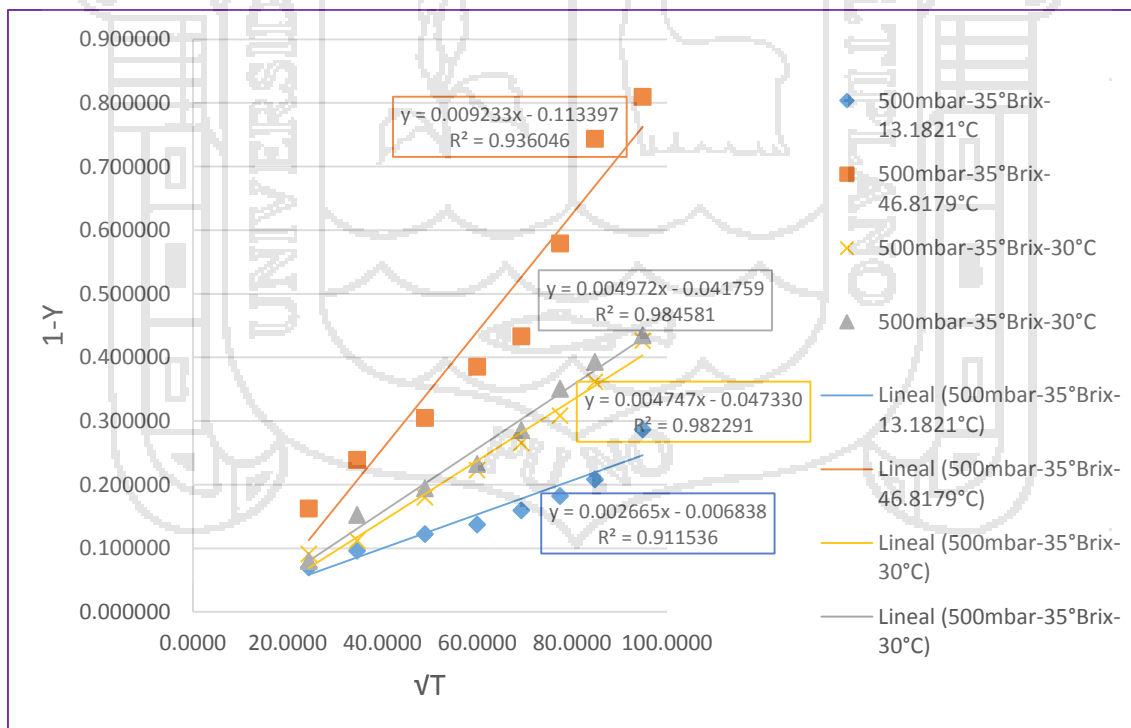
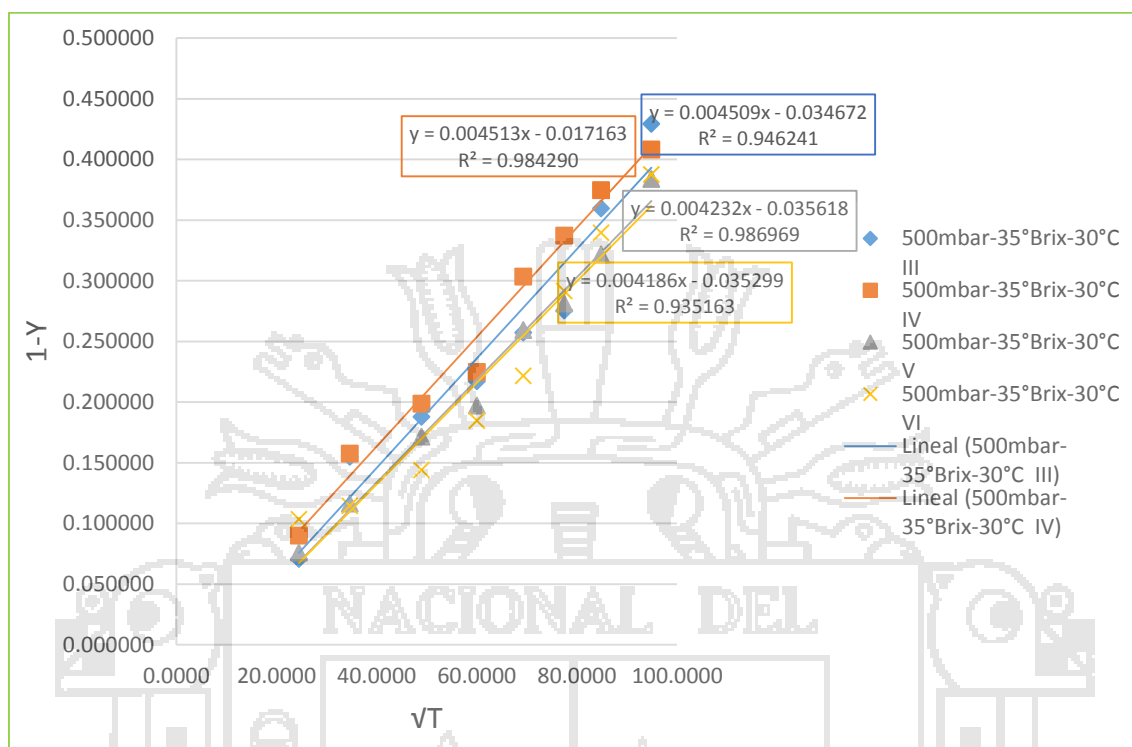


Grafico 05. Representación de 1-Y en función de la raíz cuadrada del tiempo, de los tratamientos de los puntos centrales



ANEXO 9.

Variación de masa, agua y sólidos solubles del yacón en función de la raíz cuadrada del tiempo

Gráfico 01. Para el tratamiento de P= 400 mbar, C= 30 °Brix y T= 20°C

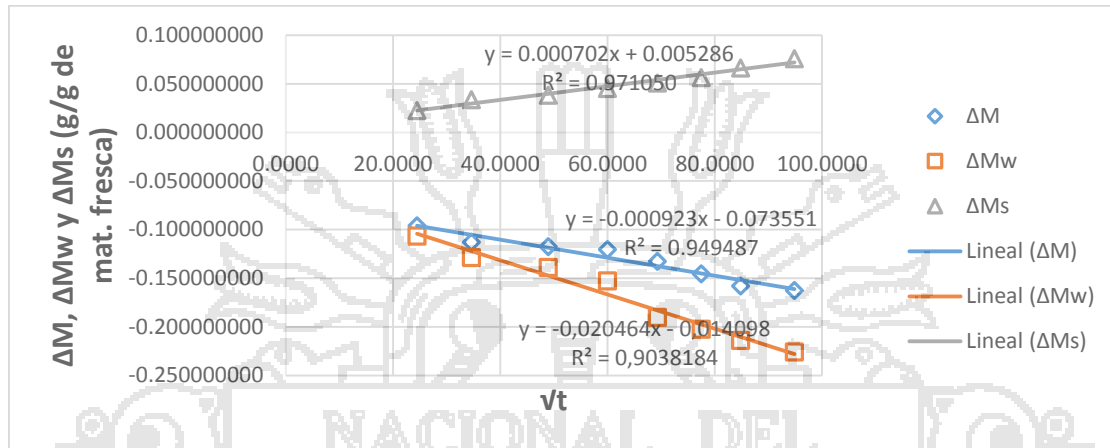


Gráfico 02. Para el tratamiento de P= 600 mbar, C= 30°Brix y T= 20°C

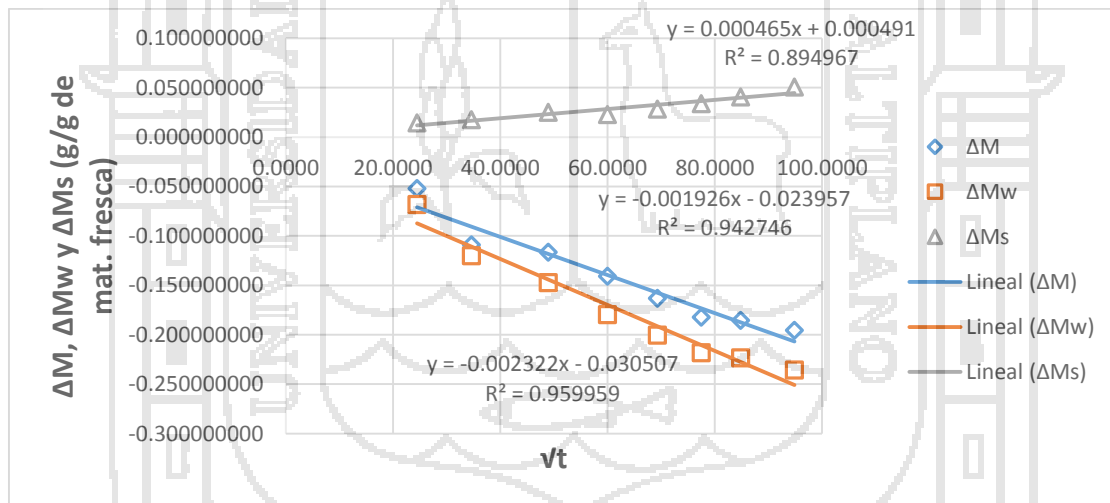


Gráfico 03. Para el tratamiento de P=400 mbar, C= 40 °Brix y T= 20°C

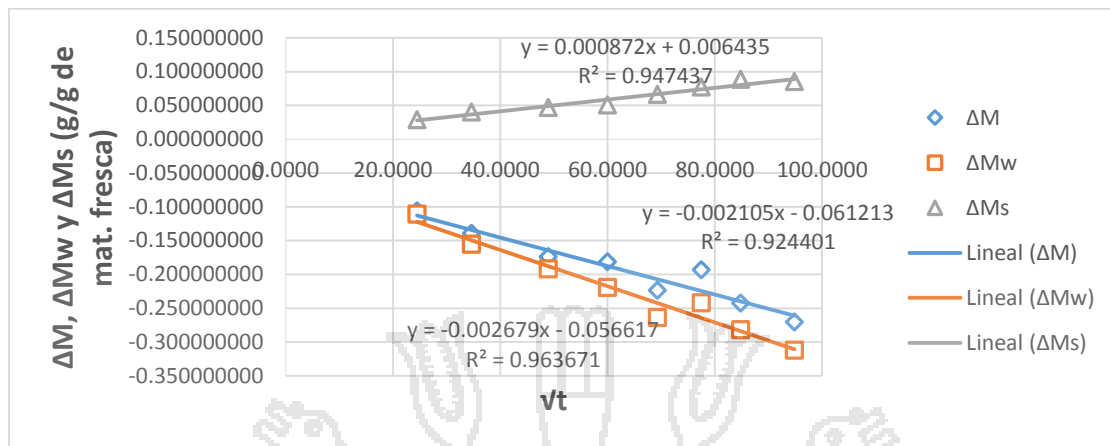


Gráfico 04. Para el tratamiento de P= 600 bar, C= 40 °Brix y T=20°C

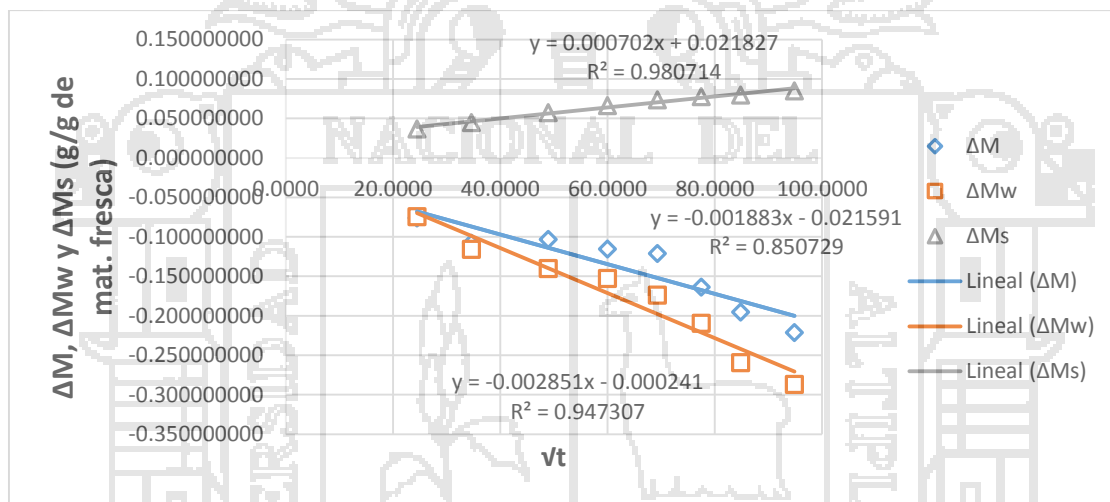


Gráfico 05. Para el tratamiento de P=400 mbar, C=30 °Brix y T=40°C

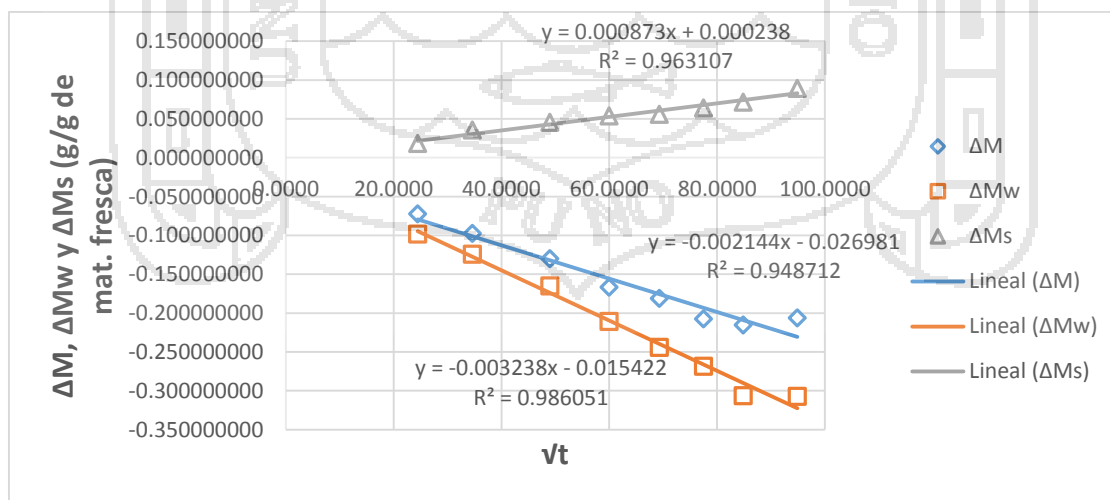


Gráfico 06. Para el tratamiento de P= 600 mbar, C= 30°Brix y T=40°C

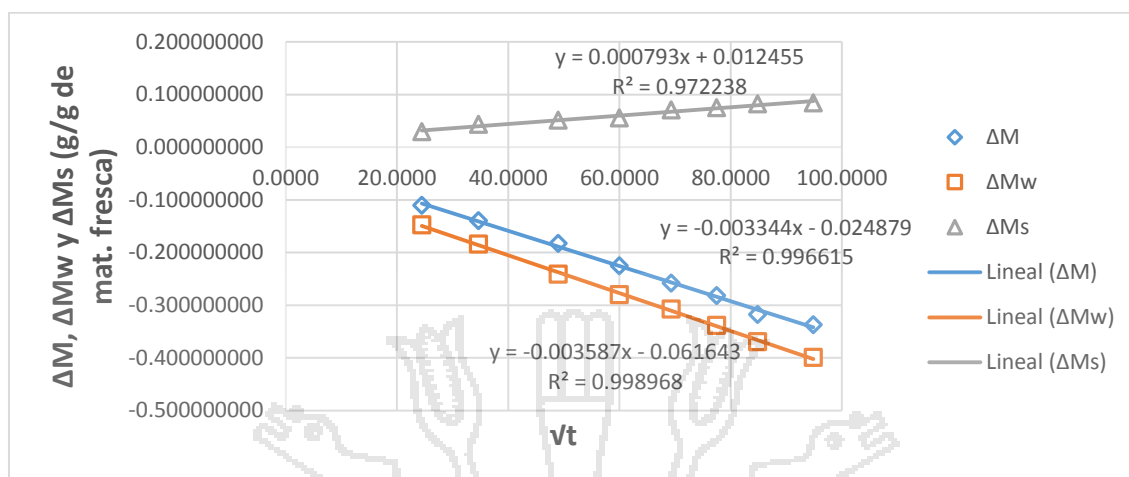


Gráfico 07. Para el tratamiento de P=400 mbar, C= 40°Brix y T=40°C

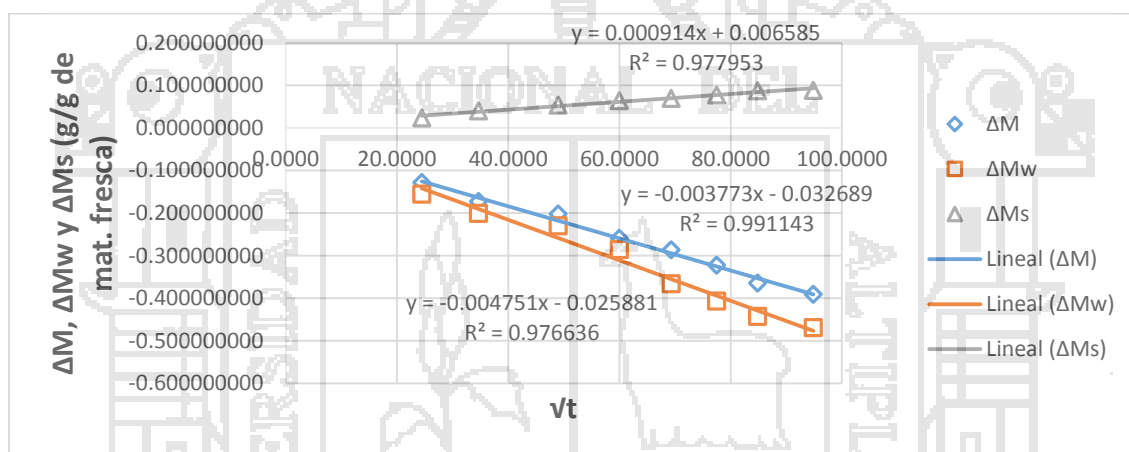


Gráfico 08. Para el tratamiento de P= 600 mbar, C= 40°Brix y T=40°C

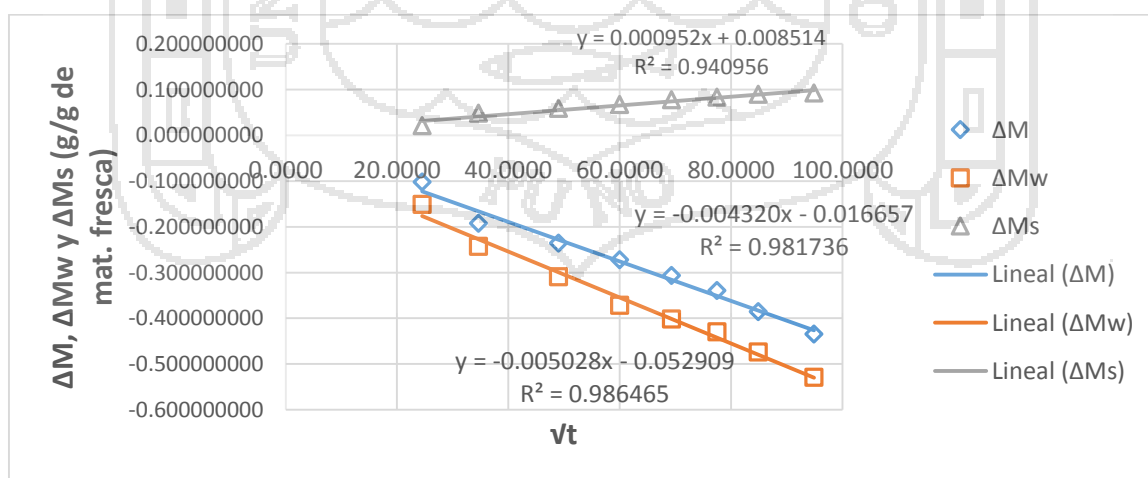


Gráfico 09. Para el tratamiento de P= 331,821 mbar, C= 35°Brix y T= 30°C

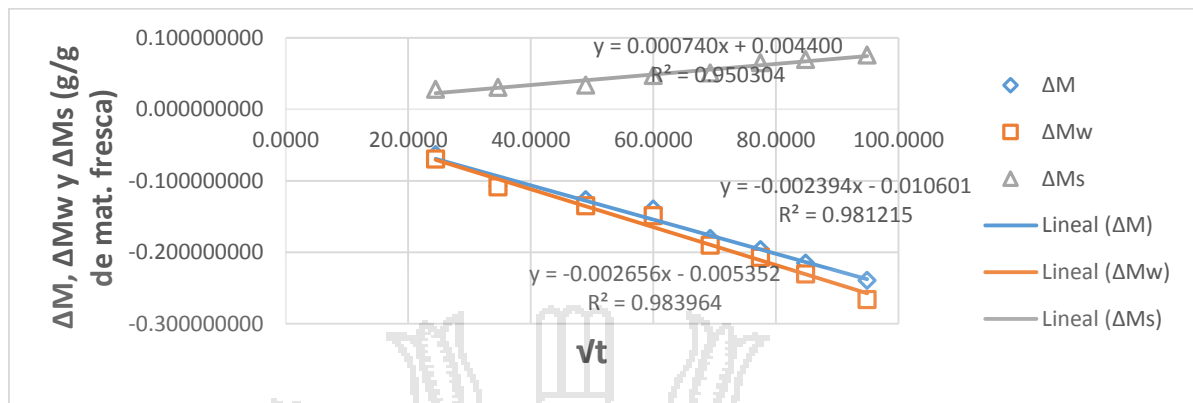


Gráfico 10. Para el tratamiento de P=668,179 mbar, C= 35°Brix y T=30°C

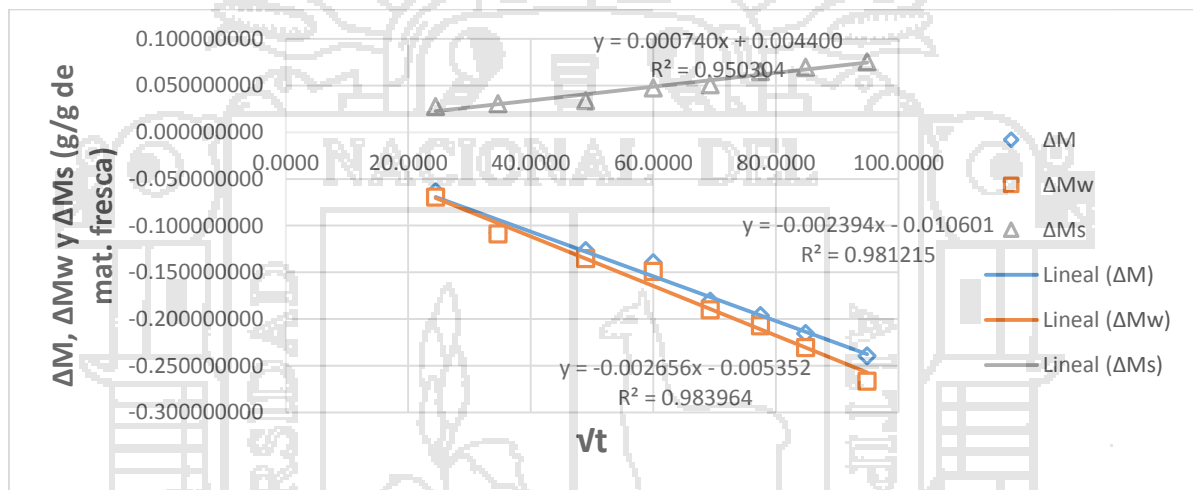


Gráfico 11. Para el tratamiento de P= 500 mbar, C= 26,591°Brix y T= 30°C

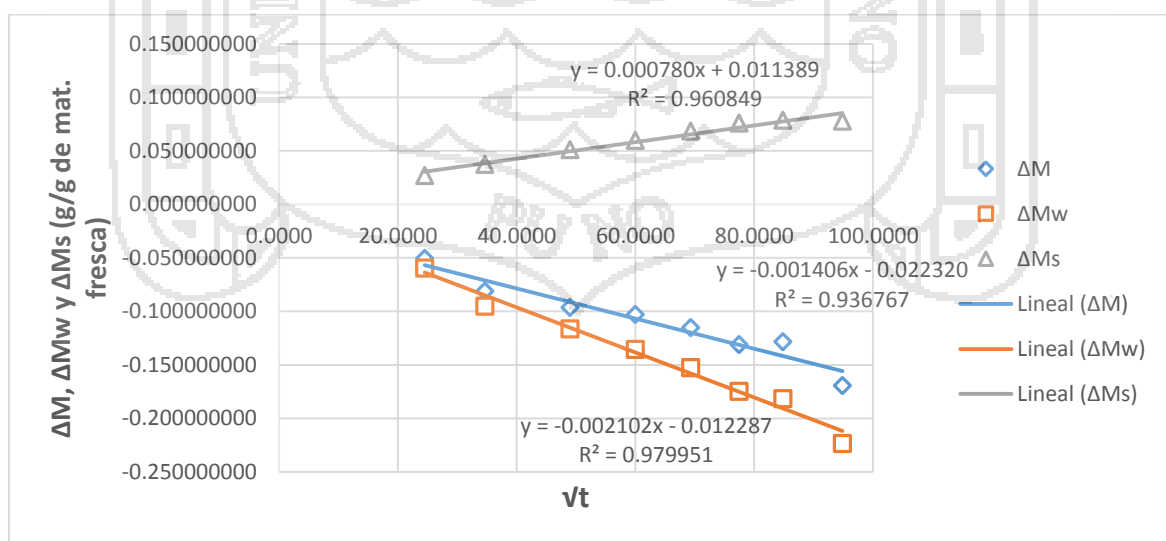


Gráfico 12. Para el tratamiento de P= 500 mbar, C= 43,409 °Brix y T= 30°C

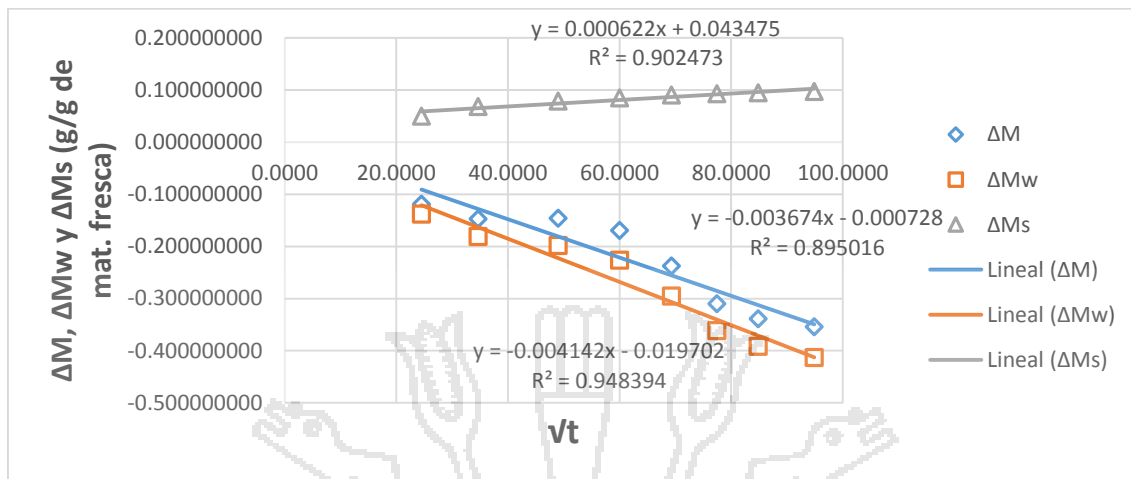


Gráfico 13. Para el tratamiento de P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 13,1821°C

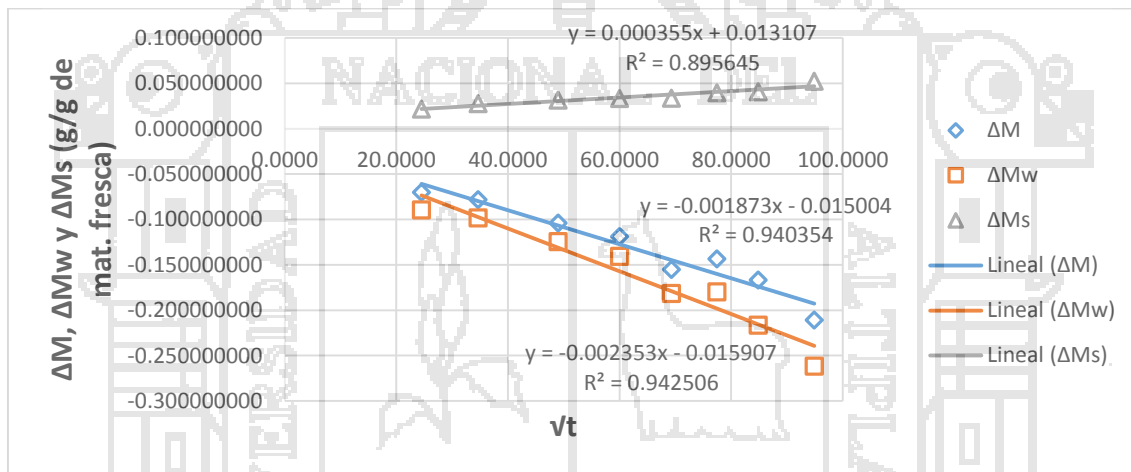


Gráfico 14. Para el tratamiento de P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T=46,8179°C

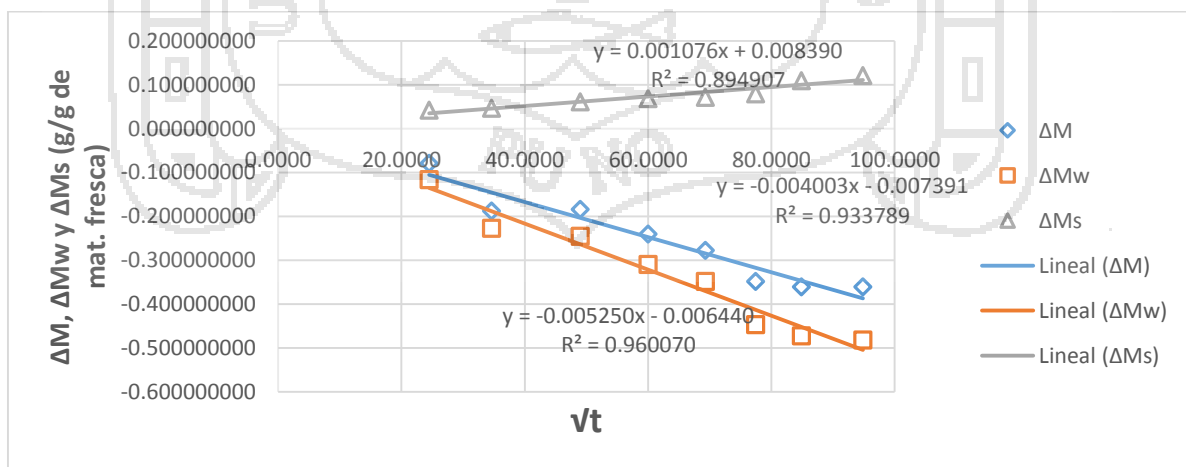


Gráfico 15. Para el tratamiento de P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

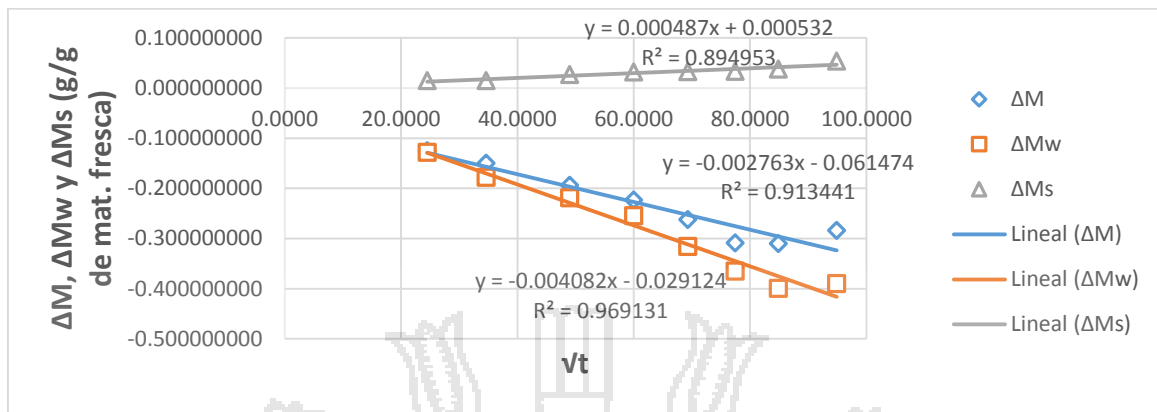


Gráfico 16. Para el tratamiento de P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

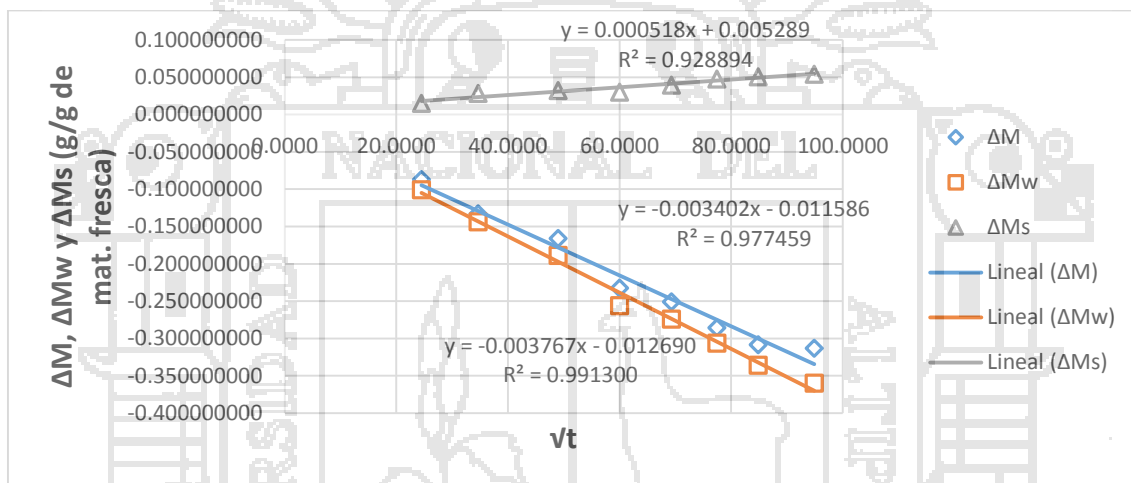


Gráfico 17. Para el tratamiento de P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

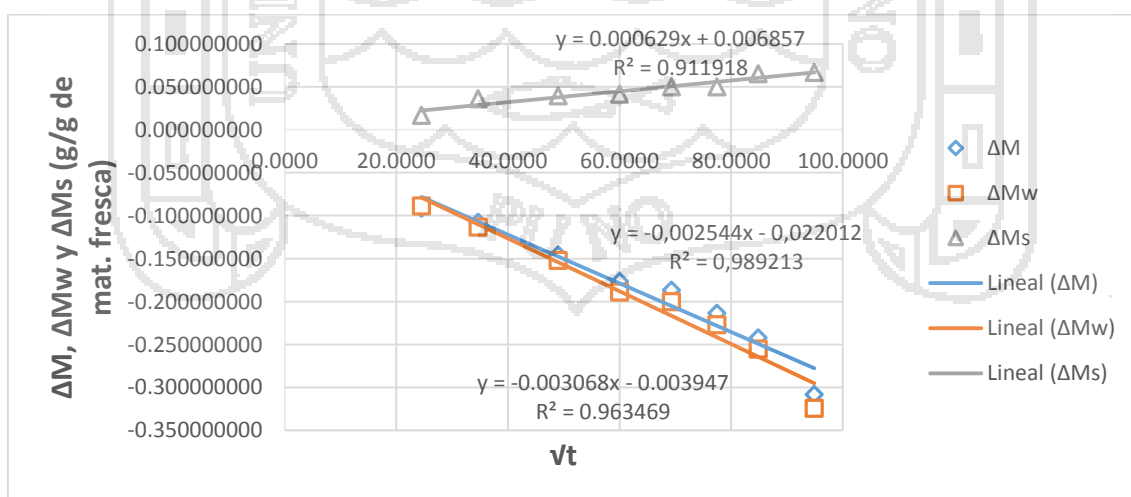


Gráfico 18. Para el tratamiento de 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

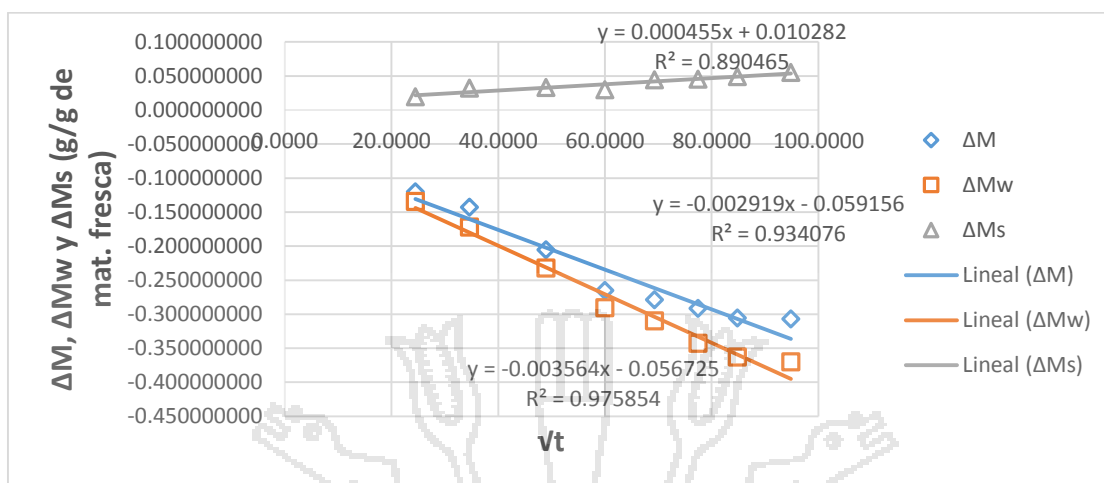


Gráfico 19. Para el tratamiento de P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C

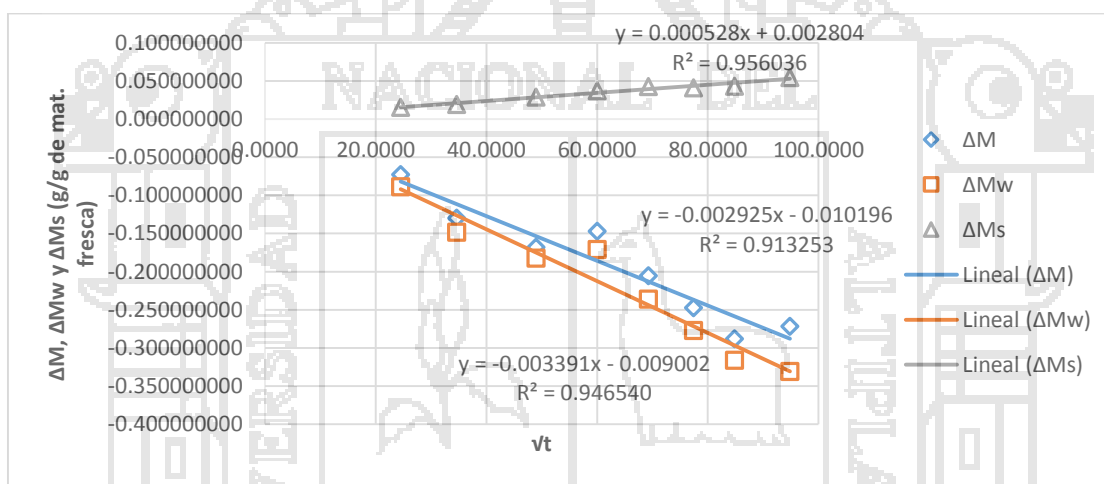
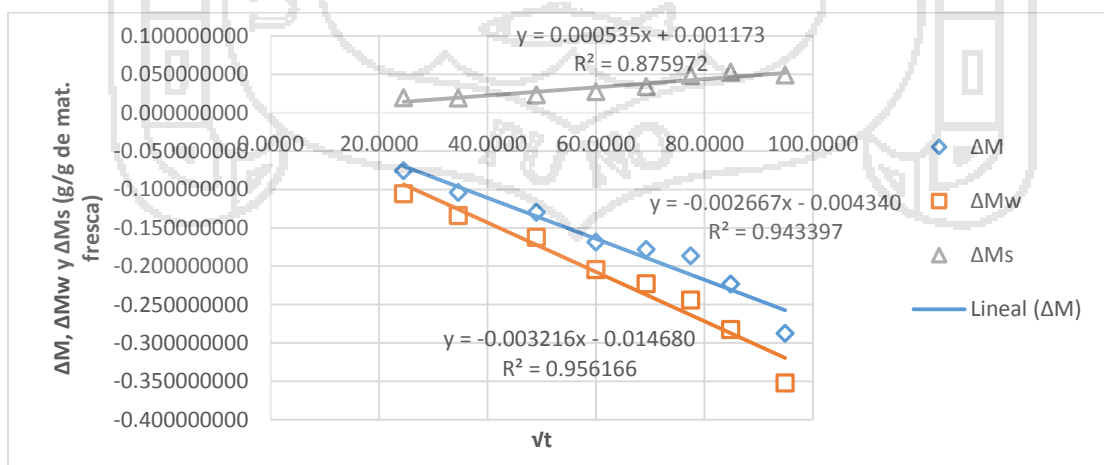


Gráfico 20. Para el tratamiento de P= 500 mbar, C= 35 °Brix y T= 30°C



ANEXO 10.

Panel de fotos de investigación



Yacón lavado y pelado



Zumo de yacón



Zumo concentrado de yacón a 35°Brix



Equipo de rotavapor



Módulo de DOPV



DOPV de yacón



Yacón deshidratado osmóticamente y envasado al vacío



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

Nombre del panelista: Edad:

Producto: Fecha: .../.../.....

INSTRUCCIÓN: verifique Ud. el, sabor, color, textura y apariencia general e indique con una X cual le gusta o disgusta

	Color	Sabor	Textura	Apar. General
Muy bueno				
Bueno				
Regular				
Malo				
Muy malo				

Observaciones:

.....

.....

.....

.....

.....



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Av. Floral 1153, C.U. Telf. (051) 366080 IP. 20102 Casilla 291 e-mail: fca-una@eudoramail.com



LABORATORIO DE EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS ALIMENTOS N° 046-2015-LENA-EPIA-FCA

SOLICITANTE : Liliana, VILCA YUCRA
 TESIS : E.P. INGENIERIA AGROINDUSTRIAL - FCA
 PRODUCTOS : YACON, ZUMO CONCENTRADO DE YACON Y YACON OSMO DESHIDRATADO
 ANALISIS SOLICITADO : FÍSICO QUÍMICO
 FECHA DE RECEPCION : 08-06-15
 FECHA DE ENSAYO : 08-06-15
 FECHA DE EMISION : 03-08-15

RESULTADOS:

De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS:

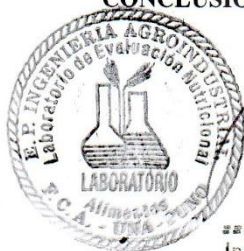
ENSAYOS	MUESTRAS		
	YACON	ZUMO CONCENTRADO DE YACON	YACON OSMO DESHIDRATADO
Humedad %	85,90	70,89	74,53
Cenizas %	1,89	0,003	0,85
Proteína % (F x 6.25)	2,49	0,89	0,91
Grasa %	0,58	0,00	0,53
Fibra %	0,70	0,00	0,30
Carbohidratos %	8,44	28,22	22,88

METODOS UTILIZADOS EN LABORATORIO:

- AOAC. 1990

CONCLUSIÓN : Los resultados Físico Químicos están conformes.

Puno, C. U. 03 de Agosto del 2015



Ing. OSWALDO P. P. ALCA
 Control de Calidad de Alimentos
 LABORATORIO
 C.I.P. 160625



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FAC. CS. AGRARIAS
 Ing. M.Sc. M. Alfredo Calahuanca P.
 DECANO