



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

TITULACIÓN

TESIS PROFESIONAL

**“OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE
OSMODESHIDRATACIÓN DE JÍCAMA (*pachyrhizus
erosus*) MEDIANTE LA METODOLOGÍA SUPERFICIE
DE RESPUESTA“**

**PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTA

SANTIAGO HERNÁNDEZ TOLENTINO

DIRECTOR DE TESIS

DR. HÉCTOR ALEJANDRO JIMÉNEZ ÁVALOS

XOYOTITLA, ÁLAMO TEMAPACHE, VER. JUNIO DE 2024

Agradecimientos

A mis padres Flora Tolentino e Ignacio Hernández y mis hermanos Francisco J. y M. Rosario, por todo su cariño, confianza y apoyo durante toda mi vida.

Al Doctor Héctor A. Jiménez, por haberme permitido trabajar bajo su asesoría, por sus enseñanzas, por la confianza y dedicación otorgada.

Al Doctor Leandro Chaires y al Maestro Miguel A. Pérez, por el tiempo tomado al proyecto siendo la comisión revisora.

A los maestros Pascual Hernandez y Humberto Lezama, por todo el apoyo brindado durante la carrera, por la gran dedicación y atención.

A los maestros de que permitieron mi formación académica en el instituto tecnológico Superior de Álamo Temapache, por su profesionalismo, por sus enseñanzas y sus consejos.

A mis Amigos(as), en especial a Mariela Pérez y Wendy S. Leyva por haberme hecho reír, confiar y formar parte de experiencias muy especiales, algo que jamás olvidaré.

A todos a quien directa e indirectamente han permitido la realización de este proyecto.

Índice general

Agradecimientos	ii
Índice de figuras.....	iv
Índice de tablas	v
Resumen.....	6
Introducción	7
1. Objetivos.....	8
1.1 Objetivo general	8
1.1.1 Objetivos específicos.....	8
1.2 Justificación.....	9
1.3 Hipótesis.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Alimentos mínimamente procesados	10
2.2 Deshidratación osmótica	10
2.2.1 Descripción.....	10
2.2.2 Ventajas	11
2.2.3 Parámetros de proceso osmótico	12
2.2.3.1 Materia Prima.....	12
2.2.3.2 Tipo de solución osmótica	12
2.2.3.3 Concentración de la Solución Osmótica	13
2.2.3.4 Presión.....	13
2.2.3.5 Temperatura	14
2.2.3.6 La velocidad del jarabe con respecto al producto	14
2.2.3.7 Geometría y tamaño del producto.....	14
2.2.3.8 La relación de la solución osmótica.....	15
2.3 Jícama.....	15
2.3.1 Origen y distribución geográfica	15
2.3.2 Áreas de producción en México	16
2.3.3 Época de producción	16
2.3.4 Botánica y clasificación taxonómica	16
2.3.5 Composición nutricional.....	17
2.3.6 Importancia.....	18

3. Materiales y métodos	19
3.1 Materiales y métodos	19
3.1.1 Diagrama de flujo para la deshidratación osmótica y análisis.....	19
3.1.2 Materiales	20
3.1.3 Deshidratación osmótica.....	20
3.1.4 Determinaciones analíticas	21
3.1.5 Diseño experimental y análisis estadístico	22
3.1.6 Cinéticas de la deshidratación osmótica	23
4. Resultados	24
4.1 Análisis de varianza	25
4.2 Efectos principales	26
4.3. Gráficos de superficie.....	27
4.3.1 Gráficos de superficie para pérdida de agua.....	27
4.3.2 Gráficos de superficie para pérdida de peso	27
4.3.3 Gráficos de superficie para ganancia de solidos.....	28
4.3.4 Gráfico de superficie de la deseabilidad.....	29
4.4 Cinéticas de %P.A., %P.P. y %G.S.	29
Cinética de la actividad de agua.....	31
Conclusiones	32
Trabajos futuros	33
Referencias bibliográficas.....	33

Índice de figuras

Figura 1. Osmosidad según la concentración y agente	13
Figura 2. a_w según la concentración y agente.....	13
Figura 3. Planta de jícama.....	17
Figura 4. Raíz tuberculosa de jícama	17
Figura 5. Raíz de Jícama fresca	20
Figura 6. Cubos para la osmodeshidratación	20
Figura 7. Cubo de acero para la DO	20
Figura 8. Intercambiador de calor del deshidratador	20

Figura 9. Efectos principales de P.A.....	26
Figura 10. Efectos principales de P.P.	26
Figura 11. Efectos principales de G.S.....	26
Figura 12. Efecto de temperatura y concentración para PA	27
Figura 13. Efecto de concentración y presión para PA.....	27
Figura 14. Efecto de temperatura y presión para PA	27
Figura 15. Efecto de temperatura y concentración para PP	28
Figura 16. Efecto de concentración y presión para PP	28
Figura 17. Efecto de temperatura y presión para PP	28
Figura 18. Efecto de temperatura y concentración para GS	28
Figura 19. Efecto de concentración y presión para GS.....	28
Figura 20. Efecto de temperatura y presión para GS	28
Figura 21. Efecto de temperatura y concentración	29
Figura 22. Efecto de concentración y presión.....	29
Figura 23. Efecto de temperatura y presión	29
Figura 24. Cinética de % Pérdida de agua	29
Figura 25. Cinética de % Pérdida de peso	30
Figura 26. Cinética de % Ganancia de sal	30
Figura 27. Evolución de la actividad de agua según el tiempo	31

Índice de tablas

Tabla 1. Contenido nutrimental de <i>Pachyrhizus erosus</i>	18
Tabla 2. Ecuaciones y nomenclatura para las respuestas.....	21
Tabla 3. Valores codificados y naturales	22
Tabla 4. Ecuaciones y nomenclatura para la actividad de agua.....	23
Tabla 5. Diseño experimental y variables de respuesta	24
Tabla 6. Análisis de varianza de los modelos	25
Tabla 7. Coeficientes de regresión.....	25
Tabla 8. Ecuaciones polinomiales.....	26

Resumen

La deshidratación osmótica es un tratamiento de bajo costo que permite reducir la humedad y la actividad de agua debido al incremento de solutos en los tejidos celulares del alimento, lo que permite aumentar la vida de anaquel, además de provocar una favorable reducción de peso, agilizando la distribución y los costos de transporte. Es una buena alternativa para tratar alimentos de origen vegetal sensibles al frío, como es el caso de la jícama, ya que al ser un tratamiento no térmico ayuda a mantener las características de los alimentos frescos.

Desde el punto de vista del productor puede ser una opción para generarle valor agregado a su producto, lo que a su vez incrementa la estabilidad microbiológica por la reducción de la actividad de agua. Cabe mencionar que las tendencias de consumo se enfocan a los alimentos mínimamente procesados, la deshidratación osmótica puede ser considerada para la jícama después del troceado, ya que una vez cortada esta reduce de manera considerable su vida de anaquel a causa de sus altos contenidos de humedad, cercanos o superiores al 90%.

Por lo anterior mencionado se llevó a cabo la optimización de la deshidratación osmótica de la jícama, modificando las condiciones de operación más relevantes, como son la concentración de NaCl, temperatura de la solución, pulsos de vacío; esta se realizó usando la metodología superficie de respuesta, específicamente el diseño factorial de tres niveles. Se comprobó que los tres parámetros tienen efecto significativo sobre los porcentajes de pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia de sólidos. Se corroboró la validez de la optimización, comparando los resultados predichos por los modelos ajustados, con los observados de la cinética de deshidratación osmótica con las condiciones óptimas. Los resultados de la cinética permitieron optimizar el tiempo de operación, por lo que las condiciones quedaron de la siguiente manera: la concentración adecuada es de 25% p/v de NaCl, temperatura de operación de 25 °C, presión vacuométrica de -0.51 bar en pulsos de 5 minutos cada 25 minutos, a 3 horas y 54 minutos, para obtener una pérdida de agua de 30.44%, pérdida de peso de 18.96% y una ganancia de sólidos de 15.95%, con una reducción en la actividad de agua a aproximadamente 0.84.

Introducción

La deshidratación osmótica tiene como objetivo la reducción del contenido de humedad y la actividad de agua, en ella se sumergen los materiales alimenticios de humedad alta en una solución osmótica, por lo general una solución de azúcar o de cloruro de sodio (Sharma y Steven 2003; Wails, 2011). 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 (Barbosa-Canovas, 2000). La fuerza impulsora para que se produzca la migración de agua desde el alimento es provista por la diferencia de potencial químico del agua en el alimento y en el medio deshidratante. Constituye una herramienta más que interesante desde el punto de vista de la formulación y desarrollo de nuevos productos (Wais, 2011).

Para la optimización de las operaciones existen técnicas que estudian la relación entre una o más respuestas y los factores experimentales, a este conjunto de técnicas se le conoce como la metodología superficie de respuesta (Preciado, 2003). Las respuestas van cambiando de acuerdo con los niveles de los factores, la metodología superficie de respuesta (MSR) se encarga de generar una función polinómica, la cual se puede ajustar a un modelo de primer o segundo orden. Dicha función polinómica contiene los coeficientes de regresión estimados y las representaciones de los niveles de cada factor o interacción. Estas herramientas fueron desarrolladas para estudiar la relación entre una respuesta y varios factores relacionados, y se ha aplicado en diferentes procesos biológicos (Box y Wilson, 1951). Han resultado ser muy efectivas para la optimización para estudios de DO (Azoubel y Murr, 2003; Corzo y Gómez, 2004; Valdez *et al.*, 2007; Ozdemir *et al.*, 2008; Chauhan *et al.*, 2009; Bambicha *et al.*, 2011; Zapata y Montoya, 2012). En este proyecto se evaluarán las condiciones de operación más importantes, como es la temperatura, concentración de NaCl y los niveles de los pulsos de vacío sobre la deshidratación osmótica de jícama (*Pachyrhizus erosus*), ya que este material vegetal contiene altos contenidos de agua, cercanos al 90% lo hace ser un alimento perecedero, se implementará entonces la optimización mediante la MSR, la cual permite según varios autores minimizar los costos, maximizar las ganancias, reducir el empleo de ingredientes o conservadores costosos, incrementar las características deseables del alimento sin comprometer su inocuidad durante el desarrollo de un nuevo producto (Floros y Chinnan, 1988; Ge *et al.*, 2002; Kong *et al.*, 2004; Téllez *et al.*, 2003; Zhou y Regenstein, 2004).

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la concentración del agente osmodeshidratante, temperatura y pulsos de vacío como variables de la deshidratación osmótica en jícama *Pachyrhizus erosus*, mediante la metodología superficie de respuesta, para la optimización de las condiciones de operación.

1.1.1 Objetivos específicos

- ✓ Comprobar la significancia de los factores y sus respectivas interacciones (concentración de NaCl, temperatura y pulsos de vacío) sobre la pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia del soluto, usando el diseño factorial de tres niveles.
- ✓ Optimizar la deshidratación osmótica a través de la deseabilidad, considerando la misma relevancia las tres variables de respuesta.
- ✓ Corroborar la optimización de los factores arrojados por la máxima deseabilidad mediante una cinética, comprobando si existen diferencias significativas con un intervalo de confianza del 95%.
- ✓ Establecer los puntos máximos de las ecuaciones polinómicas arrojadas en la cinética para la optimización del tiempo.

1.2 Justificación

La jícama en México se le encuentra abundantemente en los mercados y es una especie de importancia comercial, debido a su alto consumo local así como por sus exportaciones a Estados Unidos (León, 2000). Las raíces son hervidas en sopa o cocidas como cualquier otro vegetal, también pueden ser batidas con huevo en forma de frituras (National Academy of Sciences, 1979; Urbina 1906). Sin cortarse pueden permanecer por 2 o 3 semanas en buena condición, pero cortadas deben ser cubiertas con un plástico y consumidas antes de una semana (Schneider, 1986) ya que es un alimento perecedero por su alto contenido de humedad de hasta un 90%, lo que hace necesario usar operaciones de eliminación de agua para extender su vida útil (Abud *et al.*, 2008), otra alternativa podría ser la refrigeración, pero estudios postcosecha han demostrado que la raíz intacta es muy sensible a daño por frío cuando se almacena a 10 °C o menos (Bergsma y Brecht 1992; Cantwell *et al.*, 1992; Mercado y Cantwell, 1998; Paull y Chen 1988), por lo que este método se descarta. En este trabajo se propone la deshidratación osmótica (DO), ya que según Ayala *et al.* (2009) es una alternativa de conservación de productos vegetales, debido a que es un proceso de bajo costo. Se ha reportado el estudio sobre la optimización de DO de jícama con sacarosa como soluto (Abud *et al.*, 2008), pero no hay estudios acerca de la optimización de dicho proceso utilizando como soluto el cloruro de sodio (NaCl), el cual es un eficaz conservante, ya que reduce la actividad de agua de los alimentos, por lo tanto no la hace disponible para el crecimiento microbiano. La adición de sal a los alimentos también puede causar que las células microbianas al someterse al choque osmótico pierdan agua, causando así su muerte o retraso en el crecimiento (Institute of medicine, 2010). Por otra parte, el costo de los dos agentes osmóticos más comunes (Cloruro de sodio y Sacarosa) da cierta ventaja al cloruro de sodio, aunado a que este influye mayormente en la reducción de la a_w además de poseer una presión osmótica superior a las mismas concentraciones (Camacho, 1994; Grover y Nicol, 1940).

1.3 Hipótesis

La concentración de NaCl, temperatura y pulsos de vacío tienen influencia sobre la deshidratación osmótica de la jícama, por lo que es posible optimizar las condiciones de operación mediante herramientas estadísticas como la metodología superficie de respuesta.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Alimentos mínimamente procesados

El procesamiento mínimo de frutas y hortalizas tiene el propósito de facilitar su consumo, mantener las características de los productos frescos, además de incrementar su vida de anaquel para hacer posible su distribución hacia los consumidores, aunque generalmente se deterioran más rápido que la materia vegetal intacta. Su mínimo procesamiento consiste en operaciones de clasificación, lavado, pelado, reducción de tamaño, etc. (Huxsoll y Bolin, 1989; Parzanese, 2012; Ragaert *et al.*, 2011). Algunas operaciones de procesamiento mínimo pueden dañar los tejidos de las frutas u hortalizas, lo que da lugar a reacciones metabólicas indeseables y deterioro microbiológico, haciendo el producto no apto para la distribución (Baldwin y Bai, 2011; Ahvenainen, 1996). La exposición de la superficie de corte, favorece la contaminación con bacterias, hongos y levaduras. Por lo mencionado anteriormente es necesario encontrar métodos que ayuden a frenar el deterioro de estos productos constituye uno de los principales objetivos de la industria del sector. En este sentido, deben aplicarse técnicas de conservación que puedan prolongar la vida útil del producto minimizando la modificación de sus características sensoriales y nutricionales (Rotondo *et al.*, 2008).

Los géneros y especies vegetales, así como la cantidad de microorganismo presentes en los productos mínimamente procesados, varía con la fruta u hortaliza de que se trate, las prácticas de cultivo y la higiene durante la manipulación y procesado (Brackett, 1994; Artés *et al.*, 2007).

Uno de los aspectos más importantes tratándose de la estabilidad del alimento es la actividad de agua, la cual es una porción de agua disponible para el crecimiento microbiano, el desarrollo de reacciones enzimáticas que propician el deterioro del alimento, mismas que se pueden controlar mediante métodos no térmicos como la deshidratación osmótica.

2.2 Deshidratación osmótica

2.2.1 Descripción

La deshidratación osmótica es una técnica útil para la concentración de frutas y vegetales, es realizada colocando los alimentos sólidos, enteros o en piezas en soluciones acuosas de azúcar o sal con altas presiones osmóticas, esto da lugar, por lo menos, a dos grandes flujos en

contracorriente: un importante flujo de agua del alimento hacia la solución y una transferencia simultánea de soluto de la solución al alimento, que son ambos debidos a los gradientes de actividad de agua y de soluto a través de la membrana de la célula (Torreggiani, 1993).

La extracción se debe a la fuerza impulsora que se crea por la alta presión osmótica de la solución o por el gradiente de concentración entre la solución osmótica y el sólido a deshidratar (Rastogi y Raghavarao, 1996). La principal aplicación del proceso de DO es como pretratamiento a otros procesos de conservación de materiales biológicos, con el propósito de mejorar la calidad de los productos terminados, reducir el tiempo de proceso y ahorrar energía. Además de su utilización como pretratamiento, la DO tiene otras aplicaciones en la producción de materia prima para ser incorporada como ingrediente en productos de frutas tales como jaleas, mermeladas, helados, lácteos y confitados, todo lo cual le abre una excelente posibilidad para el aprovechamiento y la exportación de frutas (Yanyun y Jing, 2004; Falade e Igbeka, 2007).

La cinética de los procesos osmóticos normalmente se expresa en términos de la pérdida de agua (PA), pérdida de peso (PP) y la ganancia de sólidos (GS) (Lerici *et al.*, 1988; Lenart y Flink, 1984; Levi *et al.*, 1983).

2.2.2 Ventajas

Al ser un tratamiento con efecto térmico suave favorece a la retención del color y del sabor, es simple y económico realizarlo (el gasto de energía oscila entre 2 a 3 veces menos que los métodos de secado convencionales), inhibe la actividad de las polifenol oxidasas, mejora la textura y las propiedades de rehidratación, reduce el volumen de los productos ahorrando el costo de procesamiento, almacenamiento y transporte (Chavan y Amarowicz, 2012).

Se ha demostrado que a medida que aumenta la concentración de NaCl en el alimento, disminuye la actividad de la polifenol oxidasa. Lo mismo ocurre con diferentes azúcares cuando las concentraciones son superiores a 0.5 M, siendo la sacarosa y la fructosa más efectivas que la glucosa (Pitotti *et al.*, 1989). La aplicación de esta técnica permitiría a los productores ofrecer la fruta para su procesamiento inmediato, o bien mantenerla durante varios meses como producto de humedad intermedia para su posterior industrialización cuando las condiciones de mercado lo aconsejen (Schwartz, 1993).

2.2.3 Parámetros de proceso osmótico

2.2.3.1 Materia Prima

El grado de compactación del tejido, actividad enzimática, el estado de madurez, el cultivar, el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles, espacio intercelular, proporción entre las diferentes sustancias pécticas y grado de gelificación de la pectina son factores que afectan el grado de deshidratación (Tepper, 1996). La fruta debe poseer estructura celular rígida o semirrígida, que se pueda cortar en trozos como cubos, tiras o rodajas. La variabilidad se presenta también entre especies de fruta y entre variedades de una misma especie (Maestrelli, 1997).

2.2.3.2 Tipo de solución osmótica

El agente osmodeshidratante debe ser compatible con los alimentos como el azúcar de mesa (sacarosa), jarabes concentrados, como la miel de abejas o jarabes preparados a partir de azúcares o cloruro de calcio, jarabe de lactosa, jarabe de glucosa con glicerol, jarabe de panela, entre muchos otros (Molano *et al.*, 1996). El cloruro de sodio puede aplicarse para carnes y vegetales, este permite reducir la actividad de agua, la sacarosa y la lactosa se usan comúnmente en frutas, aumenta la retención de sustancias volátiles, el glicerol puede aplicarse a frutas y vegetales, este tiene la función de mejorar la textura (Hidalgo *et al.*, 2009). Se pueden lograr numerosas combinaciones para obtener la máxima pérdida de agua, las mejores propiedades sensoriales y el menor costo de la solución. Aumentando la masa molar de los solutos se obtiene baja ganancia de sólidos y alta pérdida de agua, disminuyendo la masa molar de los solutos (usando glucosa, fructosa y sorbitol) se obtiene aumento de GS, por mayor penetración de las moléculas (Maestrelli, 1997). Cuando se utilizan soluciones con solutos de mayor peso molecular, la pérdida de agua se incrementa y la ganancia de solutos resulta despreciable respecto de cuando se usa un soluto de menor peso molecular (Della, 2010). Otro factor importante para considerar un soluto es su naturaleza química, estos van a ejercer cierta presión osmótica, modificando así las variables de respuesta de la deshidratación en la figura 1, se compara la osmosidad de las soluciones dependiendo del soluto. (Camacho, 1994: De Pabón *et al.*, 2009)

2.2.3.3 Concentración de la Solución Osmótica

El aumento de la concentración de la solución incrementa la pérdida de agua del producto y la velocidad de secado ya que la actividad de agua de la solución decrece con un aumento en la concentración de solutos este no implica un aumento en la impregnación de sólidos a la fruta. La fuerza impulsora para la DO es la diferencia de presiones osmóticas entre el producto y la solución concentrada en la cual está inmerso (Cornejo, 2010). Aunque en algunos casos las altas concentraciones de las soluciones osmóticas forman capas de soluto sobre la superficie del producto, las cuales actúan como barrera haciendo difícil la salida de agua (Saurel *et al.*, 1994). Es importante destacar la concentración para la disminución de la actividad de agua, observando la influencia de la concentración de los dos agentes osmodeshidratante más comunes, la actividad de agua se ve reducida como se observa en la figura 2 (Grover y Nicol, 1940).

Figura 1. Osmosidad según la concentración y agente

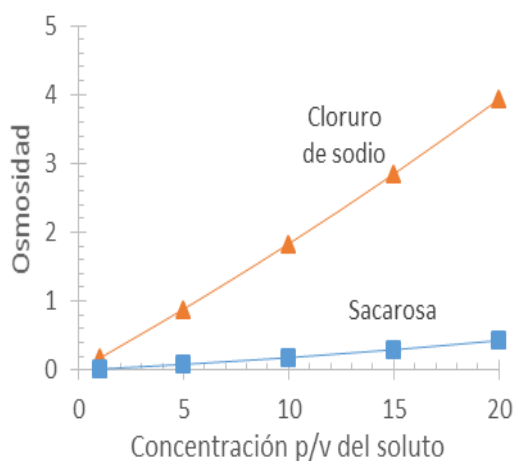
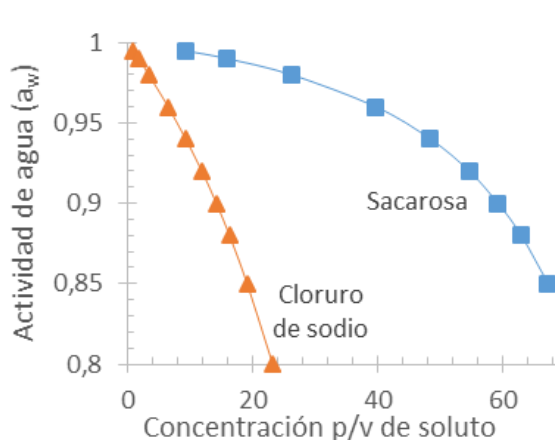


Figura 2. a_w según la concentración y agente



2.2.3.4 Presión

Bajo presiones de vacío se acelera los tiempos de procesamiento y permite una reducción de la energía durante el proceso (Corzo *et al.*, 2007), además se aumenta la ganancia de sólidos, posiblemente porque se liberan gases atrapados en el tejido, dejando el espacio libre para los solutos (Hawkes y Flink, 1978), la liberación de estos gases intracelulares ayuda a la entrada de la solución osmótica, incrementando el área de transferencia de masa, esto favorece a la extracción de agua (Rastogi *et al.*, 2004; Jongen, 2002). El mecanismo hidrodinámico (HDM) describe el efecto de la presión de vacío sobre la transferencia de masa entre la parte interna de los poros del alimento y la fase líquida externa. Este mecanismo (HDM) ocurre debido a las diferencias de presiones que se presentan en el sistema y provocan la expansión del gas ocluido en los poros y el

ingreso de un considerable volumen de solución osmótica a la estructura porosa del alimento, aumentando así la superficie de contacto entre el alimento y la solución, favoreciendo la cinética de transferencia de masa (Shi, *et al.*, 1995; Fito y Pastor, 1994; Shi y Fito, 1993; Huayamave y Cornejo, 2005).

2.2.3.5 Temperatura

Los intercambios de masa aumentan al aumentar la temperatura, pero sobre 45 °C se puede observar oscurecimiento enzimático y alteración de los aromas. Altas temperaturas, por ejemplo 60 °C, modifican las características del tejido, favorecen la impregnación y por lo tanto aumentan la ganancia de sólidos (Maestrelli, 1997). Se puede decir entonces que la temperatura presenta dos efectos. Uno de ellos es que el aumento de temperatura favorece la agitación molecular y por consiguiente mejora la velocidad de difusión. El otro es la modificación de la permeabilidad de la membrana celular con un incremento de la temperatura (Della, 2010).

Por otra parte las bajas temperaturas podrían limitar la transferencia de masa debido a un incremento en la viscosidad del agente osmótico (Lazarides y Mavroudis, 1996).

2.2.3.6 La velocidad del jarabe con respecto al producto

La deshidratación aumenta en el inicio cuando se agita la solución (Pointing *et al.*, 1966; Bongirwar y Sreenivasan, 1977); posteriormente, la difusión controla la velocidad de salida del agua (Tepper, 1996). La velocidad de la solución disminuye la resistencia a la transferencia de masa en la superficie del producto, además de uniformizar la temperatura y la concentración de solutos en la solución. Sin embargo existen casos en que puede dañarse el producto y debe evitarse (Della, 2010).

2.2.3.7 Geometría y tamaño del producto

Este factor es importante, variará la superficie por unidad de volumen expuesta a la difusión ya que si el sólido es de gran tamaño o espesor, la deshidratación será lenta debido, a la gran longitud que habrá de correr el agua, por otro lado si el sólido es pequeño y delgado la deshidratación será

más rápida. En el caso de cubos o esferas al aumentar el lado o el radio, respectivamente, la superficie por unidad de volumen disminuye y entonces, la pérdida de agua resulta inferior para tamaños superiores (Della, 2010).

2.2.3.8 La relación de la solución osmótica

Esta expresa la cantidad de solución requerida por unidad de peso del alimento a procesar cuando se sumerge el alimento en la solución, éste va perdiendo agua de manera progresiva y a una velocidad directamente proporcional al nivel de concentración de la solución. El agua, por tanto, diluye la solución osmótica a la misma velocidad con que fluye desde el alimento. Esto provoca un descenso muy pronunciado de la fuerza osmótica (Suca, 2007).

2.3 Jícama

2.3.1 Origen y distribución geográfica

La jícama es una leguminosa del género *Pachyrhizus* que se cultiva por sus raíces modificadas en forma de tubérculos radicales, largos y anchos. Las especies más ampliamente consumidas en el mundo son *P. erosus* y *P. tuberosa*, ambas originarias de América (Fraile *et al.*, 2008). Es proveniente de América central, fue cultivada por los aztecas, toltecas y mayas, y poco después fue introducida a Filipinas por los españoles y de ahí se extendió al continente asiático (González, 1996).

El nombre de la jícama es derivado de la palabra náhuatl “Xicamatl” que quiere decir “raíz acuosa de ombligo” (Burciaga, 2001), otros nombres comunes en idiomas indígenas de México son: cajtzot, xicama (náhuatl), Chikam, Mehen-chicam (maya), guyati (zapoteco), jicame (cora), sigan (popoluca), xata-té (huichol), cobem (huasteca), cuyin (totonaca), mechen, cájtzote, caltzotl (Vibrans, 2009). La jícama es consumida cruda o en ensaladas, y actualmente es una botana de origen vegetal preferida en varios países asiáticos y latinoamericanos, incluyendo a México, que la consume sazónada con chile y limón (Reyes y J., 2011). Se encuentra distribuida en los estados de Jalisco, Michoacán, Guerrero, Morelos, Oaxaca, Puebla, Veracruz, Yucatán, Chiapas, Nayarit, Sinaloa, Aguascalientes, Guanajuato, San Luís Potosí y Tamaulipas (Heike, 2009).

2.3.2 Áreas de producción en México

En México la producción de jícama se lleva a cabo en 15 estados, sin embargo, es en cuatro donde se concentra el 74.64 % de la producción nacional, estos son: Nayarit, Michoacán, Veracruz y Puebla. Nayarit tenía una producción 54,837.09 toneladas, Veracruz 31,651.54, Michoacán 25,030.76 y Puebla alcanzó la producción de 23,305.78 toneladas, a los estados anteriormente le siguen Morelos, Guerrero, Guanajuato, Colima, Sinaloa, Yucatán, México, Campeche y Quintana Roo (SIAP, 2012).

2.3.3 Época de producción

La producción de jícama se lleva a cabo en diferentes fechas del año, dependiendo del uso que se dará al producto y la región productora. En la mayoría de los estados la siembra se realiza de febrero a marzo y se cosecha de octubre a noviembre; en Morelos se siembra de junio a agosto y se cosecha de noviembre a enero; mientras que en Nayarit se siembra de septiembre a noviembre y se cosecha de febrero a marzo (Saray, 1980; Heredia, 1996; Burciaga, 2001; Fundación Produce Nayarit, 2012).

2.3.4 Botánica y clasificación taxonómica

De acuerdo con Sorensen y Stolen (1990), algunas de las características morfológicas son importantes para la identificación de *P. erosus*, dentro de las que se puede mencionar: la ausencia de pelos en sus pétalos, la longitud de la inflorescencia, la cantidad de flores en las inflorescencias laterales, el color y tamaño de las vainas, la cantidad reducida de pelos en las vainas maduras, el color y forma de las semillas. La planta (Figura 3) es una enredadera rastrera o trepadora y una de las leguminosas de crecimiento más rápido y vigoroso (National Academy of Sciences, 1979; Sorensen, 1988). Posee tallos delgados muy ramificados de color verde a negro azulado y de dos a seis metros de largo. Los tallos son espiralmente estriados y están cubiertos en las partes jóvenes de una pubescencia fina y ferrugínea (National Academy of Sciences 1979; Schroeder, 1967; Sorensen, 1988). Las raíces son tuberosas (Figura 4) y están formadas por uno o por varios pseudotubérculos, los cuales varían considerablemente de forma y tamaño (Westphal y Jansen, 1989). Los hay ovales, piriformes y achatados globosos, no obstante, los más corrientes y apreciados son aquellos con forma de trompo, de base más o menos plana y ápice obtuso, los

cuales miden desde cinco hasta 20 cm de ancho. Las raíces tienen una corteza delgada y fácilmente desprendible, cuyo color va desde café claro a café oscuro. En su interior son de color blanco translúcido (León, 1987; Martínez, 1959; Sorensen 1988). La clasificación taxonómica de la *Pachyrhizus erosus* se describe a continuación: es del reino plantae, phylum *Spermatophyta* de la clase Dicotyledoneae, orden fabales, familia fabaceae, genero Pachyrhizus, y especie Pachyrhizus erosus (L) Urban (1905) (CABI, 2012).

Figura 3. Planta de jícama



Figura 4. Raíz tuberculosa de jícama



2.3.5 Composición nutricional

Las raíces de la jícama son ricas en carbohidratos, aminoácidos libres, oligopéptidos y proteínas (Zinsou, 1992); en calcio, hierro, tiamina y riboflavina; bajas en sodio y calorías, pero una buena fuente de potasio y de ácido ascórbico (National Academy of Sciences 1979; Singh et al. 1981).

Contiene la mayoría de los aminoácidos esenciales, tales como alanina ($380\text{-}3500\text{ mg kg}^{-1}$), arginina ($720\text{-}6635\text{ mg kg}^{-1}$), ácido aspártico ($3870\text{-}35670\text{ mg kg}^{-1}$), cistina ($110\text{-}1015\text{ mg kg}^{-1}$), glicina ($310\text{-}2855\text{ mg kg}^{-1}$), histidina ($370\text{ - }3410\text{ mg kg}^{-1}$), isoleucina ($310\text{-}2855\text{ mg kg}^{-1}$), leucina ($410\text{-}4425\text{ mg kg}^{-1}$), lisina ($510\text{ - }4700\text{ mg kg}^{-1}$), metionina ($130\text{-}1200\text{ mg kg}^{-1}$), Fenilalanina ($320\text{ - }2950\text{ mg kg}^{-1}$), prolina ($430\text{ - }4330\text{ mg kg}^{-1}$), serina ($470\text{ - }4330\text{ mg kg}^{-1}$), tirosina y valina (Duke, 1992).

En la tabla 1 muestra el contenido de nutrientes en 100 g de muestra en base húmeda (Philips-Mora, Morera y Sorensen, 1993).

Tabla 1. Contenido nutrimental de *Pachyrhizus erosus*

	Raíz	Vaina	Semillas
Energía (cal)	39	45	--
Humedad (%)	87	86	8.2
Proteína (g)	1.3	2.2	21.9
Lípidos (g)	0.1	0.2	15.9
Carbohidratos (g)	10.3	8.7	23.6
Almidón	9.7	--	--
Azúcares reductores	2.2	--	--
Azúcares no reductores	2.5	--	--
Fibra	0.7	2.5	6.3
Cenizas (g)	0.5	0.6	4.9
Minerales (mg)			
Calcio	15	121	
Fosforo	16	39	Alto
Hierro	0.6	1.3	Alto
Cobre	0.4	--	--
Sodio	6	--	--
Potasio	175	--	--
Vitaminas (mg)			
A	Trazas	575 UI	--
B1	0.06	0.11	--
B2	0.05	0.09	--
C	18.7	1056	--

2.3.6 Importancia

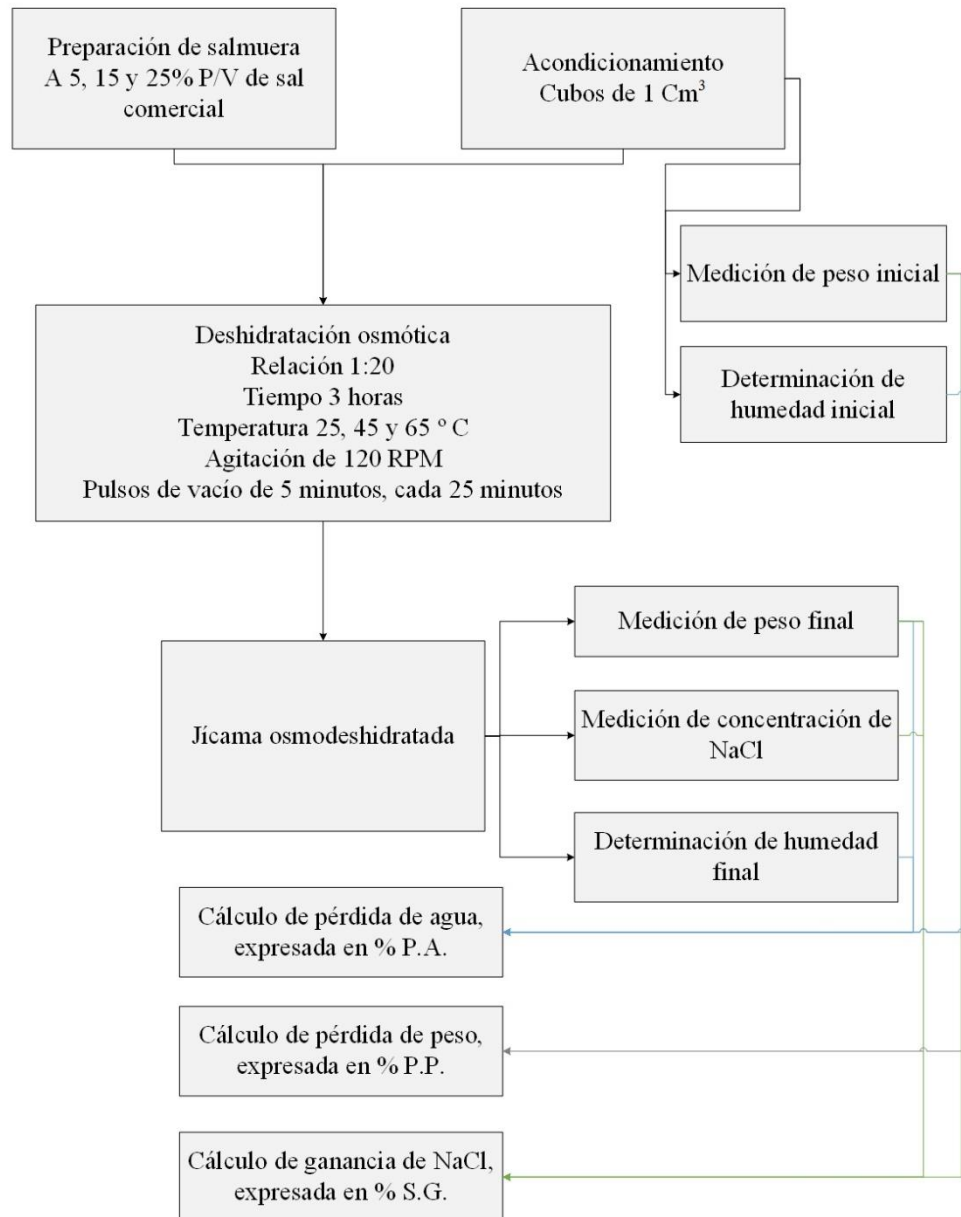
Pachyrhizus erosus es la especie de mayor importancia y potencial para el futuro, existen importantes áreas de producción en México, El Salvador, Hawaii, China, India, Indonesia, Filipinas (Philips-Mora, Morera, y Sorensen, 1993), Brasil y Nigeria (Mercado, 2004).

En algunos países latinoamericanos el consumo es muy popular, principalmente en personas de bajo poder adquisitivo. En México se le encuentra abundantemente en los mercados y es una especie de importancia comercial, debido a su alto consumo local así como por sus exportaciones a Estados Unidos. En este último país se le encuentra todo el año en los mercados de las comunidades hispanas y china, así como en supermercados de todo el país, en Brasil se considera un cultivo alimenticio útil para los trópicos húmedos (Philips-Mora, Morera y Sorensen, 1993). Los tubérculos radicales carnosos y subterráneos de la jícama, además de ser un alimento rico en nutrientes y agua, proveen sustancias nitrogenadas que enriquecen el suelo donde crecen, porque presenta bacterias nitrificantes que viven en simbiosis en la raíz formando nódulos, dichas bacterias pertenecen a los géneros *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (Fraile et al., 2008).

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales y métodos

3.1.1 Diagrama de flujo para la deshidratación osmótica y análisis



3.1.2 Materiales

Se emplearon jícamas compradas en el mercado de Álamo Ver. (Figura 5). Se lavaron y se cortaron en cubos de 1 cm³ (Figura 6). La solución osmótica para las corridas estaba compuesta de sal comercial (NaCl) y agua desionizada, las concentraciones manejadas para el diseño experimental fueron de 5, 15 y 25% p/v.

Figura 5. Raíz de Jicama fresca



Figura 6. Cubos para la osmodeshidratación



3.1.3 Deshidratación osmótica

Para llevar a cabo la deshidratación se empleó de un equipo de DO de la planta piloto de alimentos del ITSAT, el cual consta de un cubo de acero inoxidable enchaquetado (Figura 7), una unidad de recirculación de agua con control de temperatura (Figura 8), una bomba peristáltica a una velocidad de 120 RPM para evitar la presencia de gradientes de concentración y una bomba de vacío. Se colocaron las muestras dentro del equipo en bolsas de tela, la relación de las muestras con la solución osmótica se manejó de 1:20. Los pulsos de vacío se realizaron cada 25 minutos y su duración fue de 5 minutos. Los niveles de concentración, temperatura y vacío se observan en la tabla 3

Figura 7. Cubo de acero para la DO



Figura 8. Intercambiador de calor del deshidratador



3.1.4 Determinaciones analíticas

Terminada la corrida se procedió a escurrir y secar con papel absorbente para eliminar el exceso de salmuera. La humedad se determinó por gravimetría tanto a la jícama fresca como a la osmodeshidratada, para ello se tomaron 5 gramos de muestra y se llevó a una estufa eléctrica (Genlab Termal control) a convección forzada a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, posteriormente se enfriaron en un desecador y se tomaron los pesos finales en una balanza analítica (AOAC, 1995), para el cálculo de humedad se utilizó la formula **(1)**, la cual se encuentra en la tabla 2, al igual que las formulas siguientes. El % P.A. (Porcentaje de pérdida de agua) fue calculado con la formula **(2)**, esta se expresa en gramos de agua perdida en 100 gramos de jícama fresca.

El % P.P. (Porcentaje de pérdida de peso) se calculó obteniendo el peso de las muestras frescas y el peso de las muestras osmodeshidratadas, se usó la formula **(3)**. Para la medición de la transferencia del NaCl del medio hacia los tejidos de la jícama se obtuvo una solución homogeneizada compuesta por muestra osmodeshidratada y 50 mililitros de agua desionizada, posteriormente se separó la fase solida de la liquida (solución de interés) en una centrifuga (Z-326) a 10000 RPM durante 10 minutos, al final de la separación se realizaron las lecturas de conductividad eléctrica a temperatura ambiente en un Conductímetro (Biochrom WPA CM35), finalmente se realizó una curva patrón con 6 concentraciones de sal, se obtuvo la ecuación de la recta y se determinó el contenido de sal de acuerdo a los pesos de las muestras osmodeshidratadas (Khin *et al*, 2005). Para el cálculo de % G.S. (Porcentaje de ganancia de sal) se utilizó la formula **(4)**.

Tabla 2. Ecuaciones y nomenclatura para las respuestas

NOMENCLATURA	ECUACIÓN
m_o = Peso de muestra fresca antes de la deshidratación en estufa.	1) $\% X_h = \frac{m_o - m_t}{m_o}$ 2) $\% P.A. = \frac{M_o X_{ho} - M_t X_{ht}}{M_o}$ 3) $\% P.P. = \frac{M_o - M_t}{M_o}$ 4) $\% G.S. = \frac{M_t X_{st} - M_o X_{so}}{M_o}$
m_t = Peso de muestra después de deshidratación en estufa.	
M_o = Peso de la muestra antes de la osmodeshidratación.	
X_{ho} = Contenido de humedad antes de la osmodeshidratación.	
M_t = Peso de la muestra osmodeshidratada.	
X_{ht} = Contenido de humedad de la muestra osmodeshidratada.	
X_{st} = Contenido de sal después de la osmodeshidratación.	
X_{so} = Contenido de sal antes de la osmodeshidratación.	

3.1.5 Diseño experimental y análisis estadístico

Las condiciones óptimas para la DO de jícama se establecieron por la aplicación de un diseño factorial de tres niveles, evaluándose la temperatura, concentración y la presión de vacío (X_1 , X_2 y X_3), se obtuvieron un total de 27 corridas. Se establecieron modelos polinomiales de segundo orden para cada respuesta como se muestra en la ecuación (5) posteriormente se ajustaron los modelos dejando las variables o interacciones significativas en un intervalo de confianza del 95%, todo fue realizado con el programa Statgraphics Centurion XVI.

$$5) Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{13} X_1 X_3$$

Los niveles utilizados para cada variable del proceso fueron de -1, como valor mínimo, 0, como valor central y 1 como máximo. Las variables de procesamiento naturales (unidades experimentales) y codificadas se observan en la tabla 3:

Tabla 3. Valores codificados y naturales

NIVELES CODIFICADOS	NIVELES NATURALES		
	Temperatura en °C (X_1)	Concentración en % de NaCl (X_2)	P. de vacío en bar (X_3)
-1	25±2	5±1	0
0	45±2	15±1	-0.2
1	65±2	25±1	-0.4

Se maximizó el % P.A. y % P.P. y se minimizó el % G.S., se obtuvieron así las condiciones óptimas individuales de las respuestas, posteriormente se procedió al cálculo de las condiciones óptimas de todas las respuestas, para ello se usó la función de deseabilidad, el cual combina todas las respuestas en una sola medida, se tuvo en consideración de igual impacto y peso las 3 variables de procesamiento. El modelo matemático análogo a esta reacción (Ecuación 6) es la media geométrica de los valores de conveniencia individuales. (Harrington, 1965; Derriger y Suich, 1980).

$$6) D = \left(\prod_{i=1}^n d_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

Se consideró lo siguiente: Si la función de deseabilidad alcanza un valor de 0 indica que no hay conformidad en la meta deseada, pero cuando alcanza el 1, indica la conformidad total.

3.1.6 Cinéticas de la deshidratación osmótica

Para comprobar la validez de la optimización se llevó a cabo una cinética de 5 horas, se comparó los resultados observados de la tercera hora con el previsto de la MSR, para ello se utilizó el análisis de varianza de un factor con un intervalo de confianza del 95%. Posteriormente se obtuvieron las ecuaciones polinómicas para las tres variables de respuesta con la utilización del programa Microsoft Excel 2013, enseguida se calcularon los valores máximos de las ecuaciones de segundo y tercer grado usando el criterio de la primera derivada. Obtenidos los valores de tiempo que generaban mayor % P.A. y P.P. y menor % G.S. se procedió al cálculo de la media y a partir de ello se obtuvo un único tiempo con sus respectivas respuestas. Para la observación de los cambios más importantes de cada respuesta se realizó la prueba tukey con un nivel de significancia del 5%.

Para el cálculo de actividad de agua se usó la ecuación 7 (tabla 4), de Ross (1975), para componentes iónicos (sistema 1) y no iónicos (sistema 2), como es el caso de la jícama osmodeshidratada, la cual contiene azúcares y sal. El sistema 1, se resolvió con la utilización de la ecuación 8 y 9. La ecuación 8 de Pitzer (1973) usó solo el cloruro de sodio como soluto electrolítico, el coeficiente osmótico de este fue de 0.932 y 2, el número de especies iónicas (positivo Na^{+1} y negativo Cl^{-1}) (Oliag, 2016: Kitic *et al*, 1986). La ecuación 8, de Favetto y Chirife (1985), desarrollada a partir de los trabajos de Pitzer (1973), donde la constante del cloruro de sodio es 0.0371. La ecuación de Norrish (1966) y de Money y Born (1951), permitieron calcular la actividad de agua del sistema 2, la constante de la sacarosa fue de 6.47, considerando que el azúcar más abundante en la jícama es la sacarosa, en 3.24% (Norman, *et al.*, 2007).

Tabla 4. Ecuaciones y nomenclatura para la actividad de agua

NOMENCLATURA	ECUACIÓN
a_w = Actividad de agua a_{w1} = Actividad de agua del sistema 1 a_{w2} = Actividad de agua del sistema 2 m = Molalidad del cloruro de sodio v = Número de especies iónicas ϕ = Coeficiente osmótico de la sal k = Constante del cloruro de sodio x_w = Fracción molar del agua x_s = Fracción molar de la sacarosa n = Número de moles de sacarosa por 100 gramos de agua	7) $a_w = (a_w)_1 \times (a_w)_2$ 8) $a_{w1} = \exp(-0.018mv\phi)$ 9) $a_{w1} = 1 - km$ 10) $a_{w2} = x_w \exp[-kx_s^2]$ 11) $a_{w2} = 1[1 + 0.27n]^{-1}$

4. Resultados

La tabla 5 contiene el diseño manejado y los valores obtenidos de la media de dos repeticiones. Para % P.A., % P.P y % G.S. se obtuvieron valores máximos de 34.09, 24.69 y 40.54 y mínimos de 6.92, 2.53 y 6.66, respectivamente. Los valores máximos observados de % P.A. son inferiores a los de otros estudios (Abud *et al.*, 2008; Zapata y Montoya, 2012; Barman y Badwaik, 2016; Fernandes *et al.*, 2016).

Tabla 5. Diseño experimental y variables de respuesta

Corrida	Factores			Resultados experimentales		
	Concentración	Temperatura	Presión	% P.A.	% P.P.	% G.S.
	X1	X2	X3			
1	-1	-1	-1	11.65	9.17	6.66
2	0	-1	-1	20.82	12.89	14.83
3	1	-1	-1	23.05	11.51	15.64
4	-1	0	-1	15.34	10.17	7.41
5	0	0	-1	14.48	10.54	17.21
6	1	0	-1	24.41	14.11	17.78
7	-1	1	-1	9.20	2.53	10.34
8	0	1	-1	13.44	6.62	13.95
9	1	1	-1	8.90	5.17	18.95
10	-1	-1	0	16.73	13.56	25.07
11	0	-1	0	26.77	21.40	34.87
12	1	-1	0	32.72	22.70	20.81
13	-1	0	0	15.41	12.51	27.02
14	0	0	0	20.25	17.67	32.80
15	1	0	0	34.09	24.69	40.54
16	-1	1	0	6.92	2.47	12.16
17	0	1	0	13.50	7.97	21.26
18	1	1	0	26.18	14.54	34.37
19	-1	-1	1	15.82	13.80	24.04
20	0	-1	1	24.88	14.94	33.23
21	1	-1	1	31.66	20.59	38.77
22	-1	0	1	16.74	13.47	25.08
23	0	0	1	15.36	12.31	26.86
24	1	0	1	28.07	15.33	39.81
25	-1	1	1	7.68	4.87	12.24
26	0	1	1	15.22	6.33	21.91
27	1	1	1	21.32	9.20	29.89

4.1 Análisis de varianza

La tabla 5 muestra el análisis de varianza del modelo polinomial de segundo orden propuesto (ecuación 5) y el modelo ajustado. Los valores-P correspondientes a los coeficientes con valor inferior a α (0.05) son estadísticamente significativos. Los valores marcados con * no son significativos sin embargo fueron tomados en el modelo para su respectivo ajuste.

Tabla 6. Análisis de varianza de los modelos

Fuente	% P.A. (Valor-P)		% P.P. (Valor-P)		% G.S. (Valor-P)	
	Original	Ajustado	original	ajustado	Original	Ajustado
β_1	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
β_2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0484	0.0462
β_3	0.0264	0.0195	0.0165	0.0096	0.0000	0.0000
β_{11}	0.5236	--	0.9592	--	0.4011	--
β_{12}	0.3844	--	0.9300	--	0.0685	0.0658*
β_{13}	0.1011	0.0853*	0.6442	--	0.2165	0.2124*
β_{22}	0.1160	0.0991*	0.0038	0.0018	0.0216	0.0202
β_{23}	0.7311	--	0.2778	0.2412*	0.0205	0.0192
β_{33}	0.0166	0.0117	0.0004	0.0001	0.0012	0.0010
R^2	86.98	85.95	88.06	87.90	87.83	87.29
R^2 ajust.	80.09	81.74	81.84	84.27	81.38	81.64

Se muestra en la tabla 6 los valores de los coeficientes de los modelos de las tres variables de respuesta, los correspondientes a 0 no se observan en las ecuaciones polinomiales de la tabla 7, la cual también contiene el máximo valor obtenido del R^2 ajustada.

Tabla 7. Coeficientes de regresión

Coeficiente	% P.A.	% P.P.	% G.S.
β_0	22.94630	17.55070	30.61960
β_1	6.38389	3.07167	5.91889
β_2	-4.54111	-4.49222	-2.15833
β_3	1.97000	1.56278	7.17000
β_{11}	0.00000	0.00000	0.00000
β_{12}	0.00000	0.00000	2.41833
β_{13}	1.72000	0.00000	1.59583
β_{22}	-2.32444	-3.40778	-4.44611
β_{23}	0.00000	-0.80667	-3.17583
β_{33}	-3.72778	-4.52611	-6.84444

La ecuación de la pérdida de agua explica el 85.95% de la variabilidad, mientras que la de pérdida de peso el 87.90% y finalmente la de ganancia de sólidos con el 87.29%

Tabla 8. Ecuaciones polinomiales

Ecuación	R ²	R ² ajustada
% P.A. = 22.9463 + 6.38389X ₁ - 4.54111X ₂ + 1.97X ₃ + 1.72X ₁ X ₃ - 2.32444X ₂ X ₃ - 3.72778X ₃ X ₃	85.95	81.74
% P.P. = 17.5507 + 3.07167X ₁ - 4.49222X ₂ + 1.56278X ₃ - 3.40778X ₂ X ₂ - 0.806667X ₂ X ₃ - 4.52611X ₃ X ₃	87.90	84.27
% G.S. = 30.6196 + 5.91889X ₁ - 2.15833X ₂ + 7.17X ₃ + 2.41833X ₁ X ₂ + 1.59583X ₁ X ₃ - 4.44611X ₂ X ₂ - 3.17583X ₂ X ₃ - 6.84444X ₃ X ₃	87.29	81.64

4.2 Efectos principales

Enseguida se muestran los gráficos de efectos principales resultantes de los modelos obtenidos. La figura 9 indica la pérdida de agua, se observa que la concentración tiene un efecto lineal positivo, deduciéndose así que concentraciones superiores a la manejada pueden ser beneficiosas para la pérdida de agua; por su parte, la temperatura tiene un efecto cuadrático negativo (no significativo, pero útil para el ajuste del modelo), indicando el punto óptimo en -0.98 (25.4 °C). La presión tiene un efecto cuadrático positivo mostrado en el aumento en la presión vacuométrica hasta 0.50 (-0.30 bar) lo cual genera la mayor pérdida de agua.

Figura 9. Efectos principales de P.A.

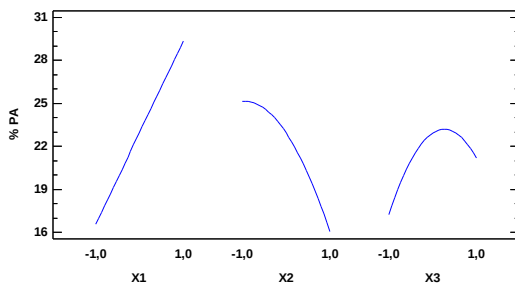
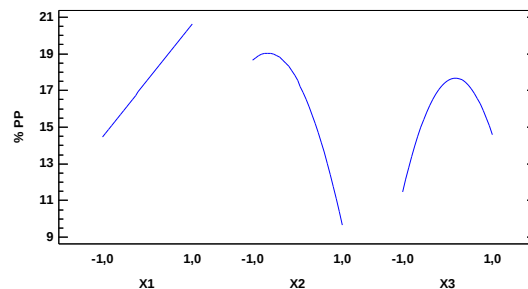
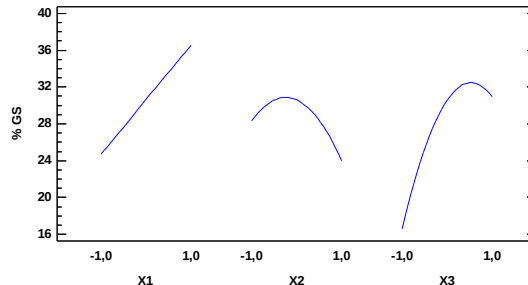


Figura 10. Efectos principales de P.P.



Para la P.P. y G.S., correspondientes a las figuras 10 y 11, muestran los mismos comportamientos; la concentración lineal y la temperatura y presión de vacío como cuadráticos. La presión de vacío incrementa hasta cierto punto la transferencia de materia,

Figura 11. Efectos principales de G.S.

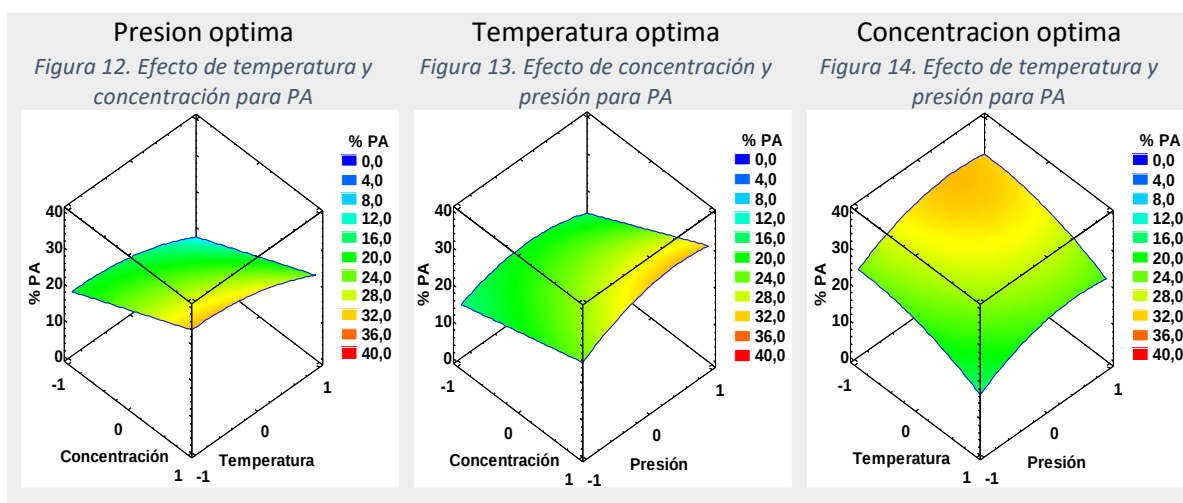


lo que trae beneficios a la deshidratación osmótica, sin embargo también perjudica, ya que se incrementa la ganancia de la sal.

4.3. Gráficos de superficie

4.3.1 Gráficos de superficie para pérdida de agua

Para mostrar la evolución de las variables de respuesta, se posicionaron los factores constantes en los puntos óptimos, en la figura 12 se observa el efecto de la concentración con la temperatura. Las temperaturas cercanas a 25 °C generan la suficiente agitación molecular y por consiguiente una adecuada difusión, provocando así la pérdida de agua, temperaturas superiores a la óptima pueden modificar la permeabilidad de la membrana de la jícama, reduciendo la eficacia del proceso. Por su parte la concentración de 25% o superiores de NaCl aumenta el diferencial de las presiones osmóticas, favoreciendo la pérdida de agua.

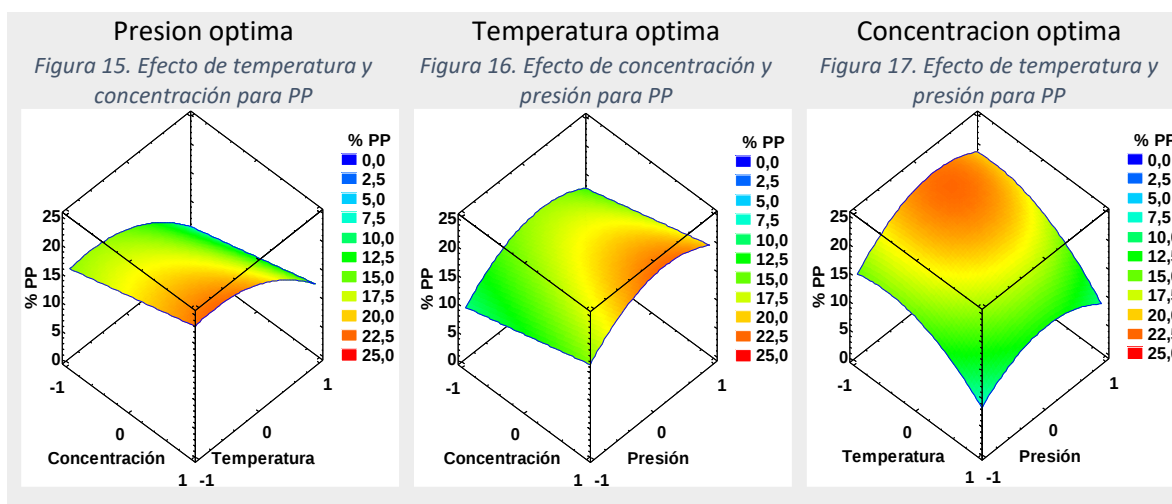


En la figura 13 muestra que a temperatura constante, el aumento de la pérdida de agua es favorecido concentración más alta de NaCl y por presiones vacuométricas cercanas a -0.3 bar (punto óptimo). En la figura 14 se observa que a concentración constante la presión de vacío vuelve a tener efecto positivo, esto se debe a que causó la pérdida de gases en el interior de los tejidos de la jícama, lo que generó un mayor espacio para el intercambio de masa. Se observa de manera gráfica una interacción entre la presión y la temperatura, aunque esta no es significativa.

4.3.2 Gráficos de superficie para pérdida de peso

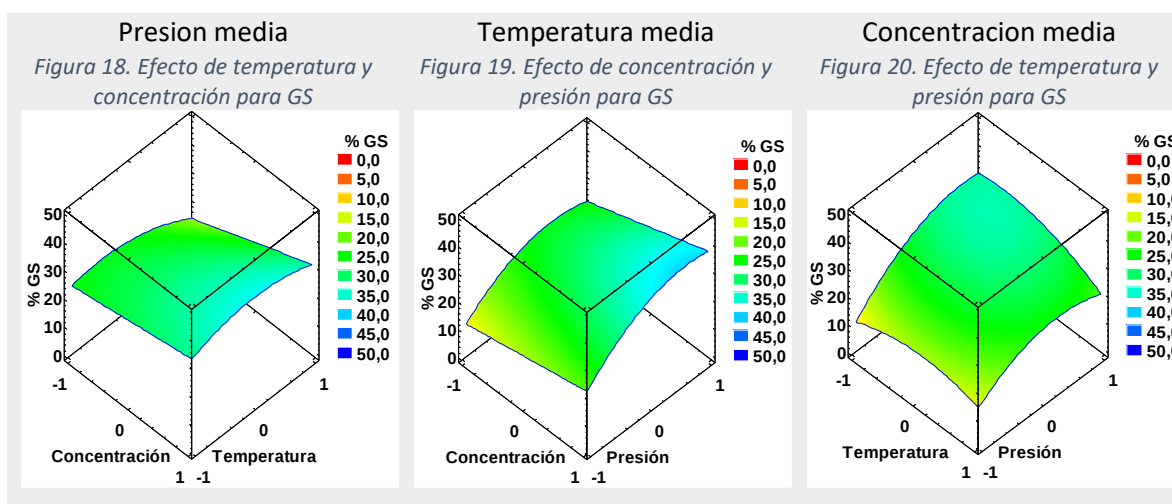
Las condiciones óptimas para maximizar son una temperatura de 31.2 °C, concentración de 25% de NaCl y una presión de -0.25 bar. Se puede observar de manera gráfica la evolución de la pérdida de peso según las variables de procesamiento en la figura 15, 16 y 17. Se llegan

a apreciar las interacciones cuadráticas, y la interacción entre la presión y la temperatura, aunque fue tomada en el modelo, no resultó significativa.



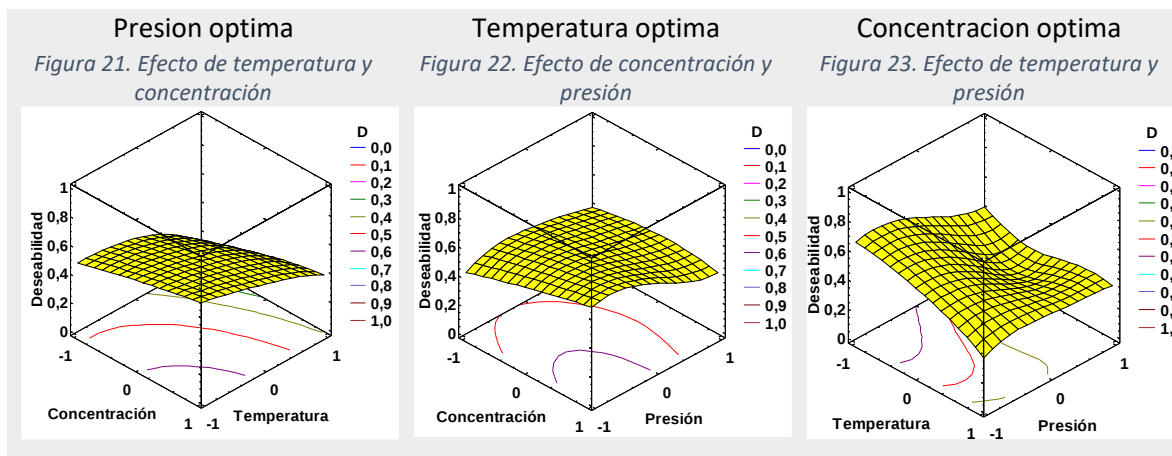
4.3.3 Gráficos de superficie para ganancia de solidos

Para la ganancia de solidos se consideraron en los valores constantes los puntos centrales, esto debido a que es una minimización, por consiguiente los valores deseables (mínimos) no fueron tomados en cuenta, ya que ofrecen menor beneficio a la DO, se puede observar la evolución de ganancia de sólidos en las figuras 18, 19, y 20. Los valores óptimos para generar la mínima ganancia de NaCl son temperatura de 25 °C, concentración del 5% y 0 bar de presión de vacío. Se observa una interacción significativa entre la temperatura y la presión.



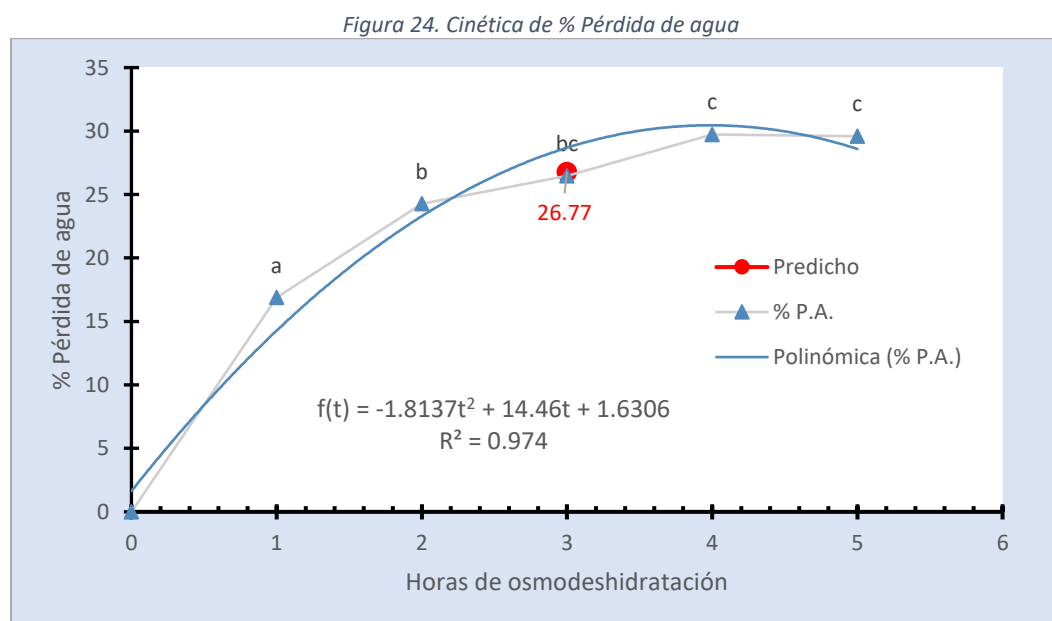
4.3.4 Gráfico de superficie de la deseabilidad

El valor de la deseabilidad global fue de 0.68, la cual considera manejar una solución de 25% p/v de NaCl a temperatura de 25 °C y con pulsos de vacío (5 minutos) de -0.05 bar cada 25 minutos, para obtener el porcentaje de pérdida de agua igual a 26.77, pérdida de peso de 17,47 y un porcentaje de ganancia de NaCl de 19.24. La evolución de la deseabilidad se observa en las figuras 21, 22 y 23.

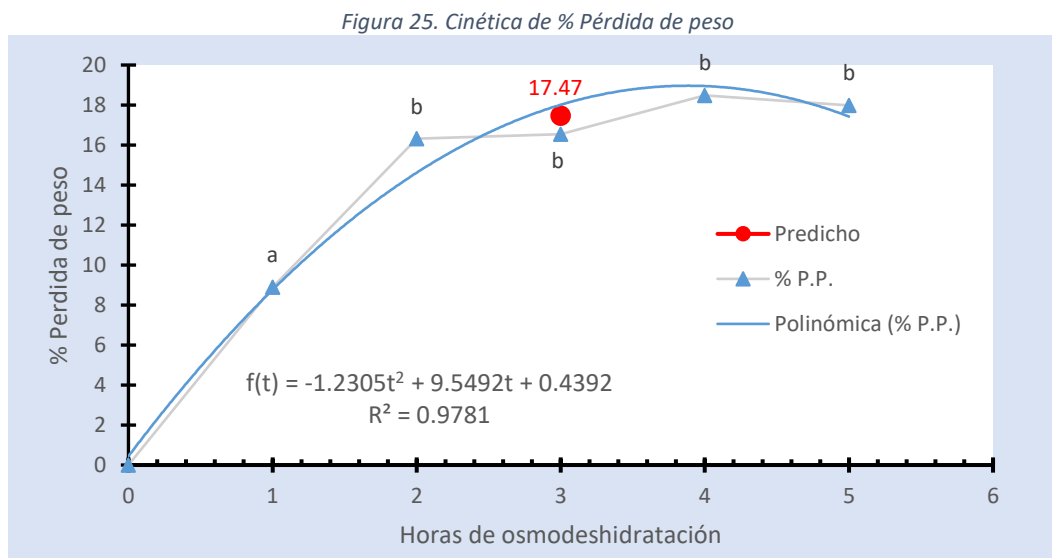


4.4 Cinéticas de %P.A., %P.P. y %G.S.

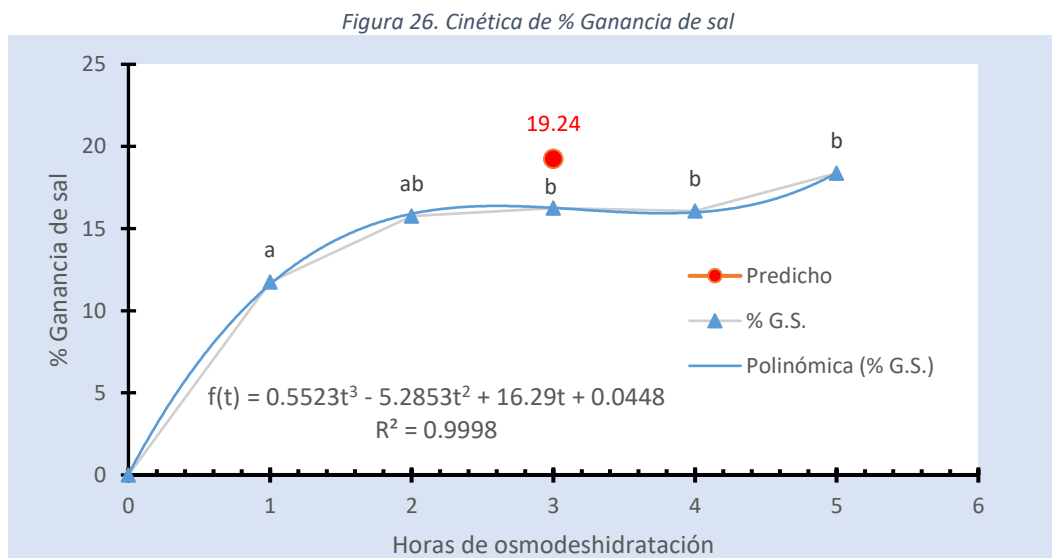
En la figura 24 se observa que los cambios más importantes se dan entre la hora 2 y 4 de la DO, en la hora 3 el resultado del modelo de la MSR y el valor de la cinética a la tercera hora de la cinética son estadísticamente iguales, por lo que se comprueba la validez de la optimización.



En la figura 25 la pérdida de peso se ve aumentada significativamente hasta la hora 2, de igual manera, corroborando la validez de la optimización mediante la MSR no se observaron diferencias significativas con el valor observado de la cinética de % P.P.



En la figura 26 al igual que para % P.A. y % P.P los cambios más importantes se comienzan a dar en la hora 2, no existe diferencia significativa entre el resultado de la optimización y el valor observado.

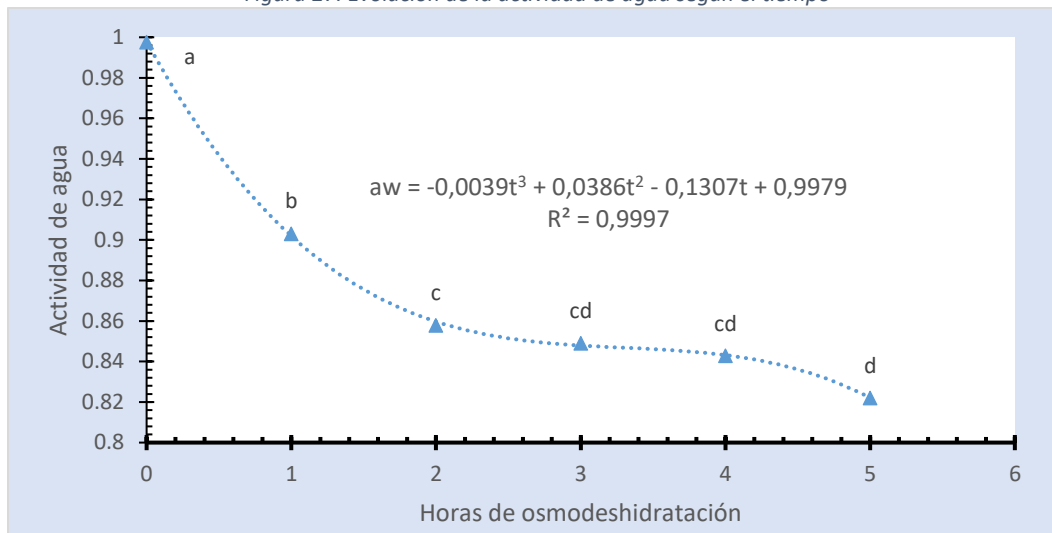


Según las ecuaciones polinómicas que describen las tres cinéticas, los valores máximos para la pérdida de agua, pérdida de peso y el mínimo para ganancia de sal, el tiempo requerido es 3 horas con 54 minutos (3.91 horas), para obtener una pérdida de agua de 30.44%, pérdida de peso de 18.96%, una ganancia de sal de 15.95%.

Cinética de la actividad de agua

La actividad de agua desciende gradualmente hasta alcanzar el equilibrio osmótico cuando la actividad de agua del alimento se iguala a la actividad de agua de la solución osmodeshidratante (Gómez *et al.*, 2013), considerando lo anterior, la extrapolación de la ecuación contenida en la figura 27, muestra que el equilibrio osmótico se alcanza a las 5 horas 24 minutos.

Figura 27. Evolución de la actividad de agua según el tiempo



La a_w se redujo con el tiempo de procesamiento, según la ecuación polinómica al tiempo óptimo, esta alcanzó un valor cercano a 0.84, por lo que puede considerarse como un alimento de humedad intermedia, ya que estos se sitúan en un rango de 0.65 a 0.85 de a_w (Fuentes y Ariana, 2005).

Conclusiones

La metodología superficie de respuesta (Diseño factorial de tres niveles) resultó efectiva para optimizar las condiciones de operación de la DO de jícama, ya que los resultados observados de la operación con las condiciones arrojadas por la máxima deseabilidad son estadísticamente iguales a los observados durante la cinética a la tercera hora.

De acuerdo a la cinética de la pérdida de agua los cambios más importantes se dan de la hora 2 a la hora 4, por su parte la cinética de pérdida de peso, a partir de la hora 2 en adelante no sufre cambios significativos, de la misma manera para la ganancia de sal, aunque extrapolando el tiempo de la ecuación de tercer grado la ganancia de sal comienza a aumentar.

La concentración del agente osmodeshidratante, temperatura de operación y los pulsos de vacío son estadísticamente significativos para las tres variables de respuesta observadas (% P.A., % P.P. y % G.S.), por lo que es muy importante controlar dichas condiciones. La concentración adecuada es de 25% p/v de NaCl, temperatura de operación de 25 °C, presión vacuométrica de -0.51 bar en pulsos de 5 minutos cada 25 minutos, a 3 horas y 54 minutos, para obtener una pérdida de agua de 30.44%, pérdida de peso de 18.96% y una ganancia de sal de 15.95%, con una reducción en la a_w a 0.84 y el cambio de humedad de 90.4 a 74.63%.

Los resultados mostrados de la pérdida de peso y pérdida de agua son inferiores a los obtenidos en otros estudios de deshidratación osmótica; en particular, los valores óptimos de DO de jícama propuestos Abud et al. (2008) la sacarosa como agente osmodeshidratante resulta ser 217% más efectiva para el aumento de % P.A. que el NaCl y 263.59% más efectiva para la reducción del contenido de humedad, por lo que es menester considerar otros agentes osmóticos o combinaciones de ellos que incrementen el % P.A. y % P.P. o incluso de agentes reticulantes para reducir el % G.S. El NaCl resulta eficiente para la reducción de la a_w , aunque el exceso de sal que adquiere (>15%) la jícama le impide ser un alimento mínimamente procesado o ser considerado para la elaboración de snacks.

La DO con NaCl en jícama puede servir únicamente para la estabilización junto con procesos complementarios, y al tiempo de requerirse sea empleada la rehidratación para la difusión controlada del soluto. Es imperativo la realización de estudios de factibilidad desde el punto de vista económico para el procesador.

Trabajos futuros

- Estudio la cinética de rehidratación y la difusión del cloruro de sodio de la jícama osmodeshidratada.
- Predicción de tiempo de vida útil en condiciones establecidas de temperatura, humedad relativa y permeabilidad de empaque.
- Comparación de los tiempos de vida útil de jícama deshidratada osmóticamente con diferentes solutos.

Referencias bibliográficas

1. Abud, M., Vázquez, D., Ruiz, M., Grajales, A., Moscosa, M., Ventura, L. y Dendooven, L. (2008). Optimization of osmotic dehydration of yam bean (*Pachyrhizus erosus*) using an orthogonal experimental design. *Journal of Food Engineering*, 84(3), 413–419.
2. Ahvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 7(6), 179-187.
3. AOAC (1995). Official method of analysis. 16. Gaithersburg.
4. Artés-Hernández, F., Rivera-Cabrera, F., y Kader, A. A. (2007). Quality retention and potential shelf-life of fresh-cut lemons as affected by cut type and temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 43(2), 245-254.
5. Ayala, AA, Serna-Cock L. y Giraldo-Cuartas C.J. (2009), Efecto de la agitación sobre la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus Megalanthus S.*) empleando soluciones de sacarosa. *Interciencia*, 34(7), 492-496.
6. Azoubel, P. M. y F. E. Murr. (2003). Optimization of osmotic dehydration of cashew apple (*Anacardium occidentale L.*) in sugar solutions. *Food Science and Technology International*, 9(6), 427-433.
7. Baldwin, E. y Bai, J. (2011). Physiology of fresh-cut fruits and vegetables. En: Martín-Belloso, O. y Soliva-Fortuny, R. (Eds.). *Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing*. CRC Press. Florida, USA. 87-113.

8. Bambicha, R. R., Agnelli, M. E. y Mascheroni, R. (2011). Optimización del proceso de deshidratación osmótica de calabacita en soluciones ternarias. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(2), 121-136.
9. Barbosa-Cánovas, G. V., y Vega-Mercado, H. (2000). *Deshidratación de alimentos*. Acribia.
10. Barman, N. y Badwaik, L. (2016). Effect of ultrasound and centrifugal force on carambola (*Averrhoa carambola L.*) slices during osmotic dehydration. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 37-44.
11. Bergsma, K. A., y Brecht, J. K. (1992). Postharvest respiration, moisture loss, sensory analysis and compositional changes in jicama (*Pachyrhizus erosus*) roots. En II International Symposium on Specialty and Exotic Vegetable Crops 318 (325-332)
12. Bongirwar, D. R. y Sreenivasan, A. (1977). Studies on osmotic dehydration of banana. *Journal of Food Science and Technology*, 14(3), 104-112.
13. Box, G. y Wilson, K. (1951). The experimental attainment of optimum conditions. *J. Royal Statist. Soc. (Series B)*, 13(1), 1-45.
14. Brackett, R. E. (1994). Microbiological spoilage and pathogens in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. En: *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. R. C. Wiley (Ed.). Capítulo 7, pp. 269-312. Chapman & Hall, New York, London.
15. Burciaga, D. H. C. (2001). Comportamiento físico-químico durante el desarrollo del tubérculo de jícama (*Pachyrhizus erosus L. Urban*). Universidad Autónoma de Nuevo León, Tesis de Maestría. En línea: http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080124312/1080124312_02.pdf Fecha de consulta: 03-diciembre-2016.
16. CABI. (2012). Crop Protection Compendium. Obtenido de: <http://www.cabi.org/cpc/> Fecha de consulta: 04-noviembre-2016.
17. Camacho, G. (1994). Deshidratación osmótica de frutas. *ICTA. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá*.
18. Cantwell, M., Orozco, W., Rubatzky, V., y Hernández, L. (1992). Postharvest handling and storage of jicama roots. In II International Symposium on Specialty and Exotic Vegetable Crops 318 (pp. 333-344).

19. Chauhan, O. P., Shah, A., Singh, A., Raju, P. S., y Bawa, A. S. (2009). Modeling of pre-treatment protocols for frozen pineapple slices. *LWT-Food Science and Technology*, 42(7), 1283-1288.
20. Chavan, U. y Amarowicz, R. (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and vegetables. *Journal of Food Research*, 1(2), 202-209.
21. Cornejo M. V. (2010). Deshidratación de rebanadas de aguacate variedad Hass por el método Osmo-Vac (osmótico-vació) y evaluación de calidad. Instituto politécnico nacional. Tesis de Maestría. En línea:
<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/7028/1/DESHIDRATACION.pdf>
fecha de consulta 15-enero-2017.
22. Corzo, O., Bracho, N., Rodríguez, J., y González, M. (2007). Predicting the moisture and salt contents of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. *Journal of food engineering*, 80(3), 781-790.
23. Corzo, O., Y Gomez, E. R. (2004). Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of food engineering*, 64(2), 213-219.
24. De Pabón, L. M. C., Zapata, J. E., Ospina, N., Mazo, A. Z., y Restrepo, S. L. (2009). Efectos de los componentes del jarabe en la deshidratación osmótica de papaya. *Vitae*, 8(1).
25. Della R. P. (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Universidad Tecnológica nacional. Tesis de maestría. En línea: <http://posgrado.frba.utn.edu.ar/investigacion/tesis/MTA-2010-Rocca.pdf> Fecha de consulta: 5-Enero-2017.
26. Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of quality technology*, 12(4), 214-219.
27. Duke, J. (1992). Phytochemical and ethnobotanical databases. Obtenido de:
<https://phytochem.nal.usda.gov/phytochem/plants/> fecha de consulta: 10-diciembre-2016.
28. Falade, K. O., e Igbeka, J. C. (2007). Osmotic dehydration of tropical fruits and vegetables. *Food Reviews International*, 23(4), 373-405.

29. Favetto, G. J., y Chirife, J. (1985). Simplified method for the prediction of water activity in binary aqueous solutions. *International Journal of Food Science & Technology*, 20(5), 631-636.
30. Fernandes, L., Gomes, J., Cardoso, M. L., y Barbosa, M. (2016). Osmotic dehydration of yacon (*Smallanthus sonchifolius*): Optimization for fructan retention. *Food Science and Technology*, vol. 71, 77-87.
31. Fito, P., y Pastor, R. (1994). Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 21(4), 513-519.
32. Floros, J. y Chinnan, M. (1988). Computer graphics-assisted optimization for product and process development. *Food Technol*, 42(2), 72-78.
33. Fraile, M. E., Martínez-Bernal, A., García-Suárez, M. D. y Slomianski, R. (2008). Nutritivas y apetecibles: conozca de leguminosas comestibles. Parte II. Tubérculos y algunos árboles interesantes, Vol. 68, 56-62.
34. Fuentes, A. R., y Arana, E. R. (2008). Elaboración de un alimento de humedad intermedia de nanche (*Byrsonima crassifolia*) utilizando el diseño de mezclas. *Industria Alimentaria*, 5(1).
35. Fundación Produce Nayarit. (2012). Jícama. Guía Para la Asistencia Técnica Agrícola de Nayarit. Obtenido de:
<http://www.fupronay.org.mx/guia%20tecnica/guia/ArchivosPDF/JICAMA.pdf>
Fecha de consulta: 04- Diciembre-2016.
36. Ge, Y., Ni, Y., Yan, H., Chen, Y. y Cai, T. (2002). Optimization of the supercritical fluid extraction of natural vitamin E from wheat germ using response surface methodology. *J. Food Science*, 67(1), 239-243.
37. Gómez, r. A., Somaroo de Fendel, B., Farías Vera, C. M., y Méndez Natera, J. R. (2013). Effect of calcium chloride on slices of osmotically dehydrated mango (*Mangifera indica* L.) variety Keitt with vacuum pulse. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13(1), 135-139.
38. González, F. (1996). Jicama ((*Pachyrrhizus erosus*)) Obtenido de:
<http://electrocomm.tripod.com/jicama.html> Fecha de consulta 21-diciembre-2016

39. Grover, D. W., y Nicol, J. M. (1940). The vapour pressure of glycerin solutions at twenty degrees. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 59, 175-177.
40. Harrington, E. C. (1965). The desirability function. *Industrial quality control*, 21(10), 494-498.
41. Hawkes, J., y Flink, J. M. (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *Journal of food processing and preservation*, 2(4), 265-284.
42. Heike, B. (2009). *Pachyrhizus erosus (L.) Urb.* Jícama. Obtenido de: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/pachyrhizus-erosus/fichas/ficha.htm> Fecha de consulta: 07-Diciembre-2016.
43. Heredia, Z. A. (1996). Guía para cultivar Jícama en el Bajío. (p. 24) INIFAP, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México.
44. Hidalgo A. y Vargas G. (2009). Análisis del efecto del tipo de agente osmótico en la transferencia de masa durante el secado y en la vida útil del babaco deshidratado. Escuela superior Politécnica del Litoral, facultad de Mecánica y Ciencias de la Producción. Tesis de ingeniería de alimentos. En línea: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/10389/D-42420.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Fecha de consulta: 16-Enero-2017.
45. Huayamave, E. C., y Cornejo, F. (2005). Influencia de Presiones de Vacío en la Transferencia de Masa Durante la Deshidratación Osmótica del Mango. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 18(1).
46. Huxsoll, C.C. and Bolin, H.R. 1989. Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. *Food Technol.* 43(Z): 124-128
47. Institute of Medicine (US), Henney, J.E., Taylor, C.L., y Boon, C.S. (2010). Strategies to Reduce Sodium Intake in the United States. Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK50952/> fecha de consulta 15-Enero-2017.
48. Jongen, W. (2002). The use of vacuum technology to improve processed fruit and vegetables. *Fruit and vegetable processing: Improving quality* (375) Woodhead Publishing Limited: England.
49. Khin, M. M., Zhou, W., y Perera, C. O. (2006). A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 77(1), 84-95.

50. Kitic, D., Jardim, D. C. P., Favetto, G. J., Resnik, S. L., y Chirife, J. (1986). Theoretical prediction of the water activity of standard saturated salt solutions at various temperatures. *Journal of Food Science*, 51(4), 1037-1041.
51. Kong, Q., He, G., Chen, Q., y Chen, F. (2004). Optimization of medium composition for cultivating *Clostridium butyricum* with response surface methodology. *Journal of food science*, 69(7), 163-168.
52. Lazarides, H. N., y Mavroudis, N. E. (1996). Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium. *Journal of food engineering*, 30(1-2), 61-74.
53. León, J. (1987). Leguminosas y fabáceas. *Botánica de los cultivos tropicales* (282) IICA: Costa Rica.
54. Lenart, A., y Flink, J. M. (1984). Osmotic concentration of potato. *International Journal of Food Science & Technology*, 19(1), 65-89.
55. León, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales* (p. 522) 3ra edición, Editorial Agroamérica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura: San José, Costa Rica.
56. Lerici, C., Mastrocola, D., Sensidoni, A. y Dalla, R. (1988). Preconcentration and Drying of Food Materials (123-133) Amsterdam: Elsevier science publisher.
57. Levi, A., Gagel, S., y Juven, B. (1983). Intermediate moisture tropical fruit products for developing countries* I. Technological data on papaya. *International Journal of Food Science & Technology*, 18(6), 667-685.
58. Maestelli, Andrea (1997). Fundamentos de la deshidratación osmótica de frutas. En: Curso taller deshidratación osmótica directa de vegetales. *Memorias del Curso Taller "Deshidratación Osmótica Directa de Vegetales* (p. 37) Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos.
59. Martínez, M. (1959). Jícama. En *Plantas útiles de la flora mexicana* (340-344) México: Botas.
60. Mercado, S. E. y Cantwell, M. (1998). Quality changes in jicama roots stored at chilling and nonchilling temperatures. *Journal of food quality*, 21(3), 211-221.
61. Mercado, S. E. (2004). Cultivos no tradicionales y su potencial de exportación como frutos mínimamente procesados en México. *Memoria de Symposium Estado actual*

- del mercado de frutos y vegetales cortados en Iberoamérica. (101-113) San José, Costa Rica.
62. Molano Larrazábal, C., Serna Gallego, C. C., y Castaño Castrillón, J. J. (1996). Deshidratación de piña variedad cayena lisa por métodos combinados. *Cenicafé*, 47(3), 140-158.
 63. Money, R. W., y Born, R. (1951). Equilibrium humidity of sugar solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2(4), 180-185.
 64. National Academy of Sciences. (1979). Root Crops: Yam Bean. En *Tropical Legumes* (21-27, 305-307) Resources for the future: Washington, USA.
 65. Noman, A. S. M., Hoque, M. A., Haque, M. M., Pervin, F., y Karim, M. R. (2007). Nutritional and anti-nutritional components in *Pachyrhizus erosus* L. tuber. *Food chemistry*, 102(4), 1112-1118.
 66. Norrish, R. S. (1966). An equation for the activity coefficients and equilibrium relative humidities of water in confectionery syrups. *International Journal of Food Science & Technology*, 1(1), 25-39.
 67. Oliag, P. T. (2016). Predicción del valor de actividad de agua de un alimento húmedo o de humedad intermedia. En:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68347/Talens%20-%20Predicci%C3%B3n%20del%20valor%20de%20actividad%20de%20agua%20de%20un%20alimento%20h%C3%BAmedo%20o%20de%20humedad%20intermedia.pdf?sequence=1> Fecha de consulta: 22 de marzo de 2017
 68. Ozdemir, M., Ozen, B. F., Dock, L. L., y Floros, J. D. (2008). Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *LWT-food science and technology*, 41(10), 2044-2050.
 69. Paull RE y Chen NJ. (1988). Compositional changes in yam bean during storage. *Hort Science*, (vol. 23), 194-196.
 70. Parzanese, M. 2012. Vegetales mínimamente procesados. *Alimentos Argentinos* 55, 31-39 En:
http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/revista/ediciones/55/productos/R55_vegetales.pdf Fecha de consulta: 20 de marzo de 2017

71. Phillips-Mora, W., Morera, J., y Sorensen, M. (1993). Las jícamas silvestres y cultivadas (*Pachyrhizus* spp.). Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Costa Rica. En línea:
<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11038e/A11038e.pdf> Fecha de consulta: 10-Enero-2017
72. Pitotti, A., Dal Bo, A. y Stecchini, M. (1994), Effect of maillard reaction products on proteases activity in vitro. *Journal of food quality*, (vol. 17), 211–220.
73. Pitzer, K. S. (1973). Thermodynamics of electrolytes. I. Theoretical basis and general equations. *The Journal of Physical Chemistry*, 77(2), 268-277.
74. Pointing, J. D., Watters, G., Forrey, R., Jackson, R. y Stanley, W. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*. (vol. 20), 125-128.
75. Preciado, G. F. (2003). Optimización de una superficie de respuesta utilizando JMP IN. *Mosaicos Matemáticos*, 11, 17-23.
76. Ragaert P, Jacxsens L, Vandekinderen I, Baert L, Devlieghere F (2011). Microbiological and Safety Aspects of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. En: Martín-Belloso, O.; Soliva-Fortuny, R. (ed.). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. London: New York, CRC Press, pp. 53-86.
77. Rastogi, N. y Raghavarao, K. (1996). Kinetics of osmotic dehydration under vacuum. *Wissu. Technol.* (52), 669-672.
78. Rastogi, N. y Raghavarao, K. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: Considering Fickian diffusion in cubical configuration. *Wissu. Technol.* (37), 43-47.
79. Reyes, A., y J., V. (2011). Estudio del proceso combinado de deshidratación osmótica y secado con aire de jícama. *Reciteia*. (vol. 11), 11-30.
80. Ross, K. D. (1975). Estimation of water activity in intermediate moisture foods. *Food Technology*.
81. Rotondo, R., Ferratto, J.A., y Firpo, I. (2008). Alimentos y salud. Hortalizas mínimamente procesadas o de IV Gama. Obtenido de:
<http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/26/3AM26.htm> Fecha de consulta: 25 de marzo de 2017.

82. Saray, M. C. R. (1980). La jícama en el estado de Morelos. Folleto No 1, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), (p. 8) Centro de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central, Campo Experimental Zacatepec, Zacatepec Morelos: México.
83. Saurel R., Raoult-Wacck A., Ríos G. y Guilbert S. (1994). Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. *International Journal of Food Science and Technology*. (vol. 29), 543-550.
84. Schneider, E. (1986). Jicama, uncommon fruits and vegetables: a commonsense guide. (p. 240-4, 546) Harper & Row: New York.
85. Schroeder, C.A. (1967). The jicama, a rootcrop from Mexico. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science, Tropical Region*. (vol. 11), 65-71.
86. Schwartz, M. (1993). Conservación de frutas por métodos combinados: una alternativa de interés para los productores y la agroindustria. *Simiente*. 63(4), 212-213.
87. Sharma, S. K. M., & Steven, J. (2003). *Ingeniería de alimentos: operaciones unitarias y prácticas de laboratorio* (No. 664 S32).
88. Shi, X., y Fito, P. (1993). Vacuum osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology*, 11(6), 1429-1442.
89. Shi, X. Q., Fito, P., & Chiralt, A. (1995). Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Research International*, 28(5), 445-454.
90. SIAP. (2012). Producción de jícama por estado con datos de 2010. SAGARPA. Obtenido de:
http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351 Fecha de consulta: 19-Diciembre-2016.
91. Singh, K. P., Singh, J. R. P. y Ray, P. K. (1981). A promising yam bean. *Indian Farming*. 31(9), 19-21.
92. Sorensen, M. (1988). A taxonomic revision of the genus *Pachyrhizus* (Fabaceae-Phaseoleae). *Nordic Journal of Botany*, 8(2), 167-192.

93. Sorensen, M. y Stolen, O. (1990). Yam bean (*Pachyrhizus* spp.) variety trials. En Tonga, South Pacific: Fresh tuber yields, dry matter and nitrogen contents. Annual Meeting of the Caribbean Food Crop Society: Puerto Rico.
94. Suca A. C. A. (2007). Deshidratación Osmótica de Alimentos. Boletín de Divulgación tecnológica agroindustrial. Obtenido de: <http://documents.mx/documents/deshidratacion-osmotica-55a92c9dd084d.html>
Fecha de consulta: 4-Enero-2017
95. Tepper, P. (1996). Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de Palta cv fuerte. Universidad de Chile. Memoria de título. Santiago, Chile. En línea: http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/S-T-U/TepperPaola1996.pdf Fecha de consulta: 4-Enero-2017
96. Téllez, S. J., Moldes, A. B., Alonso, J. L. y Vásquez, M. (2003). Optimization of lactic acid production by *Lactobacillus delbrueckii* through response surface methodology. *J. Food Sci.* 68(4), 1454-1458.
97. Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26(1), 59-68.
98. Urbina, M. (1906). Raíces comestibles entre los antiguos mexicanos. Xícama. (123-125) *Anales Museo Nacional de México*. Segunda edición, Tomo 3.
99. Valdez, A., S.I. Martínez, F. Salais, J. Welti y H. Mújica. (2007). Vacuum pulse-assisted pickling whole jalapeño pepper optimization. *Journal of Food Engineering* 79(4): 1261-1268.
100. Vibrans, H. (2009). *Pachyrhizus erosus* (L.) Urb. Obtenido de: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/pachyrhizus-erosus/fichas/ficha.htm> Fecha de consulta: 7-diciembre-2016
101. Yanyun Zhao and Jing Xie (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science & Technology*, (vol. 15), 434-451
102. Wais, N. (2011). Secado combinado de frutas: deshidratación osmótica y microondas (Doctoral dissertation, Facultad de Ingeniería).
103. Westphal, E. and Jansen, P.C.M. (1989) *Pachyrhizus erosus* (L) Urban. Plant resources of South-East Asia (213-215) Países bajos: Pudoc Wageningen.

104. Zapata Montoya, J. E., y Montoya Rodas, A. (2012). Deshidratación osmótica de láminas de mango cv. tommy atkins aplicando metodología de superficies de respuesta. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 65(1), 6507-6518.
105. Zhou, P.; Regenstein, J.M. (2004). Optimization of extraction conditions for Pollock skin gelatin. *J. Food Sci.* 69(5), 393-398.
106. Zinsou, C., Venthou-Dumaine, A. y Vansuyt, G. (1992). Composition biochimique des legumineuses tuberifères. *Symposium International sur Les Legumineuses Tuberifères*, 10, Guadelupe. Resúmenes.