



Diseño del proceso de deshidratación osmótica para Cidrayota (Sechium edule) de la variedad virens levis

Design of the osmotic dehydration process for Cidrayota (Sechium edule) of the virens levis variety

Projeto do processo de desidratação osmótica para Cidrayota (Sechium edule) da variedade virens levis

Daniel Cabrera-Valle ^I

da.cabrera@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6685-4178>

Mayra Casillas ^{II}

mayra_ximena.1991@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-8874-7471>

Correspondencia: da.cabrera@uta.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 11 de octubre de 2023 * **Aceptado:** 20 de noviembre de 2023 * **Publicado:** 31 de diciembre de 2023

- I. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Ecuador.

Resumen

La cidrayota deshidratada, con 10,22% de humedad, 305,96 kcal/g de energía y 4,72 N de dureza, se revela como un alimento energético de baja humedad ideal para la conservación. El tratamiento óptimo (T14) comprende 5% de CaCl_2 , solución deshidratante de 55% de sacarosa y 6 horas de inmersión. La eficiencia del proceso se respalda con difusividad efectiva para sólidos ($7,022\text{E-}07$ m^2/s), agua ($6,9353\text{E-}07$ m^2/s) y coeficiente de transferencia de masa K_w ($6,3041\text{E-}03$ $\text{h-}1$). El diagrama PFD para una producción diaria de 50 kg destaca la necesidad de 393,70 kg de cidrayota, 595,76 kg de sacarosa, 5,41 kg de ácido cítrico, 1080,32 kg de agua y 27 kg de cloruro de calcio.

Palabras Clave: cidrayota; deshidratación osmótica; transferencia de masa; difusividad efectiva.

Abstract

Dehydrated cidrayota, with 10.22% humidity, 305.96 kcal/g of energy and 4.72 N of hardness, is revealed as a low-humidity energy food ideal for conservation. The optimal treatment (T14) comprises 5% CaCl_2 , 55% sucrose dehydrating solution and 6 hours of immersion. The efficiency of the process is supported by effective diffusivity for solids ($7.022\text{E-}07$ m^2/s), water ($6.9353\text{E-}07$ m^2/s) and mass transfer coefficient K_w ($6.3041\text{E-}03$ $\text{h-}1$). The PFD diagram for a daily production of 50 kg highlights the need for 393.70 kg of cidrayota, 595.76 kg of sucrose, 5.41 kg of citric acid, 1080.32 kg of water and 27 kg of calcium chloride.

Keywords: cidrayota; osmotic dehydration; mass transfer; effective diffusivity.

Resumo

A cidrayota desidratada, com 10,22% de umidade, 305,96 kcal/g de energia e 4,72 N de dureza, revela-se como um alimento energético de baixa umidade ideal para conservação. O tratamento ideal (T14) compreende 5% de CaCl_2 , 55% de solução desidratante de sacarose e 6 horas de imersão. A eficiência do processo é apoiada pela difusividade efetiva para sólidos ($7.022\text{E-}07$ m^2/s), água ($6.9353\text{E-}07$ m^2/s) e coeficiente de transferência de massa K_w ($6.3041\text{E-}03$ $\text{h-}1$). O diagrama PFD para uma produção diária de 50 kg destaca a necessidade de 393,70 kg de cidrayota, 595,76 kg de sacarose, 5,41 kg de ácido cítrico, 1080,32 kg de água e 27 kg de cloreto de cálcio.

Palavras-chave: cidraota; desidratação osmótica; transferência de massa; difusividade eficaz.

Introducción

La fruta cidrayota (*Sechium edule*) de la variedad *virens levis* es conocida con varios nombres comunes, mayoritariamente como chayote, un derivado de la palabra azteca "chayotl" que significa "con espinas"; en Florida es conocida como vegetable-pear, en Estados Unidos como christophine, en Luisiana le llaman mirliton y en Japón, cho-cho (Aung, Ball, & Kushad, 2009).

La especie *Sechium edule* forma parte de la familia de las Cucurbitáceas, mismas que se identifican por ser escaladoras, y formar uno de los conjuntos de plantas con mayor número de especies con importancia económica y cultural (Reyes E, 2012).

La cidra se caracteriza por tener un color que va desde el verde oscuro hasta un amarillo claro, crece en zonas con altitudes entre 500 y 1200 metros sobre el nivel del mar, en climas húmedos y en los cuales la vegetación primaria está representada principalmente por bosque mesófilo de montaña y ecotonos de éste, con selvas y media subperennifolias. Los sitios en los que se desarrolla son cañadas húmedas asociadas a caídas de agua y arroyos (Lira-Saade, 1995).

Según FAO, (2017), algunos estudios concuerdan en que la cidrayota (*Sechium edule*) se puede procesar para ser enlatada o bien desarrollar productos azucarados, osmodeshidratados o confitados, a partir de su inmersión en almíbares, jarabes de sacarosa o soluciones hipertónicas. Encarnación, (2017) presenta algunos de los diferentes productos que se pueden obtener por estos métodos: Cidrayota en rodajas enlatada en líquido de gobierno, cidra en trozos o en picadillo enlatada en almíbar, rodajas o trozos de cidrayota confitada o deshidratada, chayote en trozos mezclado con otras frutas o vegetales.

La sacarosa es un disacárido compuesto por la unión de una molécula de glucosa y una de fructosa mediante un enlace glucosídico, este es el principal elemento que endulza y forma cristales en la elaboración de dulces es por ello que se agrega glucosa, azúcar invertido o agentes hidrocálidas que elevan la viscosidad de la solución de sacarosa, evitando que esta cristalice a pesar de su elevada concentración (Martel, 2009) Por lo tanto es una sustancia que posee un sabor agradable al paladar, de acuerdo a ello se ha convertido en uno de los solutos más empleados a nivel industrial para preparar alimentos a la vez que posee también una alta efectividad de deshidratación osmótica eliminando con rapidez el agua de la fruta.

La deshidratación osmótica consiste en la eliminación parcial de agua de los alimentos, tales como: frutas, verduras y hortalizas. Se efectúa por medio de la inmersión del alimento en una solución

hipertónica (sacarosa, cloruro de sodio) para posteriormente someterla a un proceso de secado. La tasa de eliminación de agua depende de muchos factores, tales como: la temperatura y concentración de la solución osmótica, tiempo de exposición, tamaño y forma de los alimentos (García Pereira et al., 2013). El fenómeno de ósmosis radica en la salida de agua desde una solución disuelta atrapada dentro de una membrana semipermeable hacia una solución más concentrada que rodea a la membrana. Este fenómeno físico gobierna la operación de inmersión en el jarabe durante la elaboración de fruta confitada o deshidratada, en la que el jugo celular de la fruta se transfiere a la solución osmótica y el soluto de la solución pasa a la fruta por difusión (Yurivilca, 2002).

Arreola, S. I., & Rosas, M. E. (2007) determinaron los coeficientes de difusión efectivos y los coeficientes de transferencia de masa para la humedad perdida y para los sólidos ganados en el proceso de deshidratación osmótica de higos (*ficus carica*), mediante los siguientes factores; tres concentraciones de sacarosa en solución (55, 65 y 75%) y dos temperaturas (35 y 45 °C), bajo vacío constante (aprox. 40 kPa). Para lo cual se consideró una geometría esférica y estado inestable, y a la vez una cinética de primer orden. Los coeficientes de difusión y de transferencia de materia para agua incrementaron con la temperatura y los mayores valores que se obtuvieron fueron para una concentración de sacarosa con el 65% y 35°C. La concentración de la solución osmótica y la temperatura influyen considerablemente durante el proceso debido a que un incremento de esta última provoca una mayor pérdida de agua y penetración de sacarosa. Además, otro factor que contribuye a la apertura de la estructura del higo, disminuyendo el tiempo de proceso es el vacío.

Campos, A., y Flores, D. (2012) estudiaron la deshidratación osmótica de placas de chayote (*Sechium edule*) utilizando soluciones hipertónicas de sacarosa a concentraciones de 40, 50 y 60 % y cloruro de sodio en 5, 10 y 15 % a diferentes temperaturas: 40 °C, 50 °C y 60 °C. Las placas fueron sumergidas en las soluciones en una relación de 1:20 durante 2 horas. Se observó que la concentración del soluto osmótico y la temperatura son directamente proporcionales a la pérdida de agua y a la ganancia de sólidos en placas de chayote. El cloruro de sodio genera una menor ganancia de sólidos y una menor pérdida de agua en comparación con la sacarosa en placas de chayote. El proceso de ósmosis en el chayote favorece la inclusión de este en el desarrollo de nuevos productos alimentarios.

La deshidratación osmótica combinada con un proceso de secado, permite obtener productos alimentarios secos con una capacidad nutricional y sensorial altas a la vez que le otorga una vida de anaquel prolongado (Lombarda, Oliveira, Fito, & Andrés, 2008). La cinética de secado implica

fenómenos de transferencia de masa y energía, el modelo difusional de Fick es ampliamente utilizado por muchos investigadores en el estudio de secado de alimentos. Las curvas de secado analizan factores como: velocidad de secado, contenido de agua en base seca y húmeda, pérdida de peso y temperatura de aire (Giraldo Zuniga, Arévalo Pinedo, Silva, Silva, Valdes Serra, & Palvak, 2010).

En el presente trabajo se diseñará un proceso para deshidratar la cidrayota utilizando deshidratación osmótica.

Materiales y métodos

Materia prima

Se utilizó fruta cidrayota (*Sechium edule*) de la variedad *virens levis* producida en el Cantón Baños de la Provincia de Tungurahua. Una vez recolectada la fruta, se transportó a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato para su respectivo análisis y procesamiento. Para la caracterización de las propiedades físico-químicas se tomó en cuenta el estado de madurez pintón y se realizó dos réplicas. La selección de la cidrayota se realizó a través de un muestreo aleatorio considerando el grado de madurez (estado 4-pinton), color verde claro (Moreira, 2018).

Se utilizó jarabe de sacarosa elaborado con agua y azúcar, se prepararon tres jarabes de diferentes concentraciones (35, 45,55%) (Allcca, 2017). Posteriormente cada jarabe se sometió a ebullición durante 1 minuto con el fin de eliminar hongos y levaduras, y para facilitar la disolución del soluto.

2.2. Deshidratación osmótica

Durante la deshidratación osmótica se procedió a medir los siguientes parámetros: pérdida de humedad, pérdida de masa, ganancia de sólidos. Las muestras fueron monitoreadas durante un lapso de cuatro y seis horas, determinando así los parámetros mencionados anteriormente con una frecuencia de cada media hora hasta llegar a los tiempos indicados. (Cornejo et al., 2000).

Para el análisis del diseño del proceso de deshidratación osmótica para Cidrayota (*Sechium edule*) de la variedad *virens levis* se consideró un diseño experimental tipo A x B x C (3 x 3 x 2) con dos réplicas (Ortega, 2018), (Allcca, 2017).

Tabla 1. Estructura del diseño experimental.

Factores	Niveles
A = (Concentración de sacarosa)	a ₀ : 35 %
	a ₁ : 45 %
	a ₂ : 55 %
B = (Contenido de Cloruro de Calcio)	b ₀ : 5 %
	b ₁ : 10%
	b ₂ :15%
C =Tiempo de exposición	C ₁ :2 horas
	C ₂ :4horas

Tabla 2. Combinaciones Experimentales.

Tratamiento	Combinaciones	Concentración de Sacarosa (°Brix)	% de Cloruro de Calcio	Tiempo
T1	a0b0c0	35	5	4
T2	a0b0c1	35	5	6
T3	a0b1c0	35	10	4
T4	a0b1c1	35	10	6
T5	a0b2c0	35	15	4
T6	a0b2c1	35	15	6
T7	a1b0c0	45	5	4
T8	a1b0c1	45	5	6
T9	a1b1c0	45	10	4
T10	a1b1c1	45	10	6
T11	a1b2c0	45	15	4
T12	a1b2c1	45	15	6
T13	a2b0c0	55	5	4
T14	a2b0c1	55	5	6
T15	a2b1c0	55	10	4
T16	a2b1c1	55	10	6
T17	a2b2c0	55	15	4

T18	a2b2c2	55	15	6
-----	--------	----	----	---

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0,05$), utilizando los paquetes informáticos.

Diseño del proceso

La fruta deshidratada osmóticamente fue elaborada en base a los tratamientos determinados (tabla N.-2) y a la vez siguiendo el procedimiento descrito en la figura 1

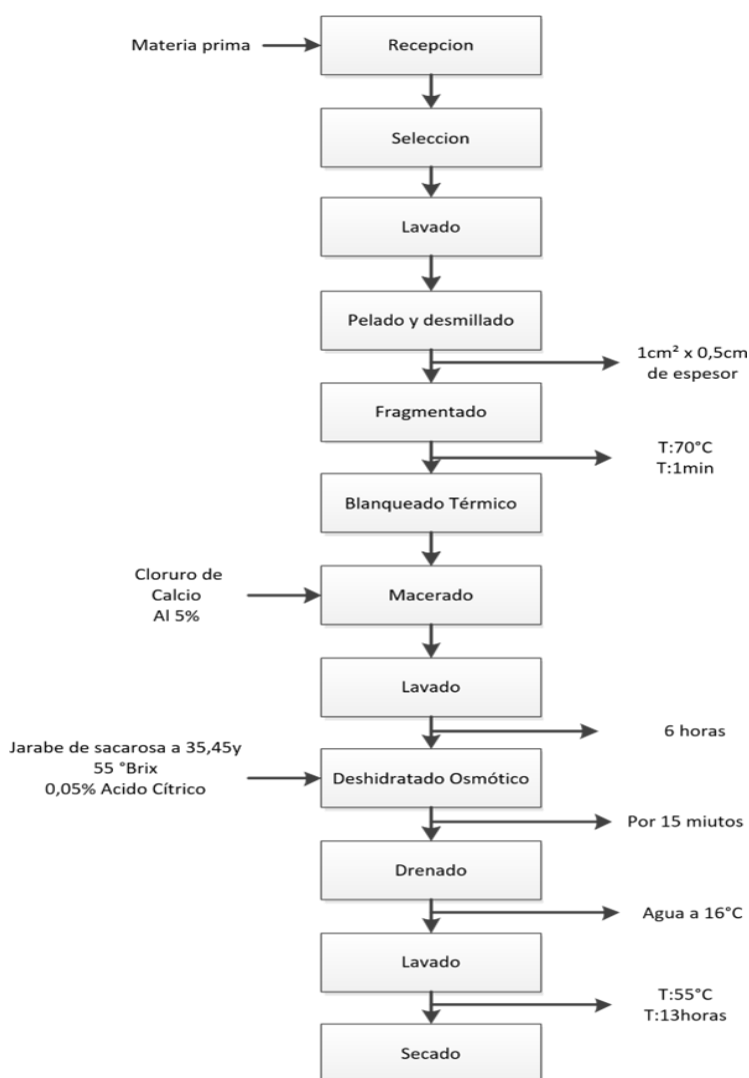


Figura 2. Diagrama de flujo de cidrayota deshidratada osmóticamente.

a) Recepción de la materia prima

La fruta destinada para el procesamiento estuvo en un punto de madurez adecuado, en este caso la cidrayota debe estar fresca para evitar la eliminación de agua y el incremento de sólidos solubles con la finalidad de ayudar a obtener resultados más exactos.

b) Inspección y selección

Para esta operación la fruta deberá poseer los siguientes requerimientos: no poseer magulladuras, golpes y que su estado de madurez sea pintón.

c) Lavado

Se lavó la fruta con abundante agua para eliminar residuos como tierra u otros residuos. d) Pelado y desmillado

Es una operación en la que se eliminó la cascará que cubre a la cidrayota conjunto con la semilla.

d) Fragmentado

Se cortó la fruta en cubos de 1 x 1 x 0,5 cm (largo, ancho, espesor) y se sumergió en una solución de Meta bisulfito de sodio (0,5 g x L) por 15 min con el fin de inactivar carga microbiana.

e) Blanqueado Térmico

La fruta recién fragmentada fue sometida a un blanqueado con agua a una temperatura de 70 °C durante 1 minutos, con el objetivo de ablandar la pared porosa y que la osmosis se de con mayor facilidad, al término de este tiempo se escurrirá la fruta rápidamente para sumergirla nuevamente en agua fría (aproximadamente a 16 °C) lo que permitirá que la fruta recupere la turgencia perdida durante la cocción (Alleca Cusi, 2017)

f) Deshidratado osmótico

Se realizó mediante la inmersión de la fruta en la solución osmótica de sacarosa a diferentes concentraciones (35,45,55% SST (sólidos solubles totales)), para lo cual se empleó una relación fruta: jarabe de (1:4), a temperatura ambiente por un tiempo de 4 y 6 horas, previo al jarabe preparado se le agregará ácido cítrico con una concentración de 0,005% (0,5 g/L de jarabe) lo que contribuirá a aumentar el pH e inactivar enzimas que puedan causar fermentación (Calderón Jimenez & Jiménez, 2011).

g) Drenado

Se dreno la solución de la fruta en un colador por aproximadamente 15 min.

h) Enjuague

Consistió en el lavado de la fruta con agua a 16 0C para eliminar el exceso de jarabe. j) Secado Se colocó en bandejas, en un secador de marca GANDER MTM con aire circulante a 55 °C durante 10 h (Calderón Jimenez & Jiménez, 2011).

i) Almacenado

Se almaceno en fundas de polietileno (PET) debido a su capacidad de resistencia a la humedad y a la manipulación.

Caracterización físico-química de la materia prima

a) Humedad y Materia Seca

Se determinó mediante la balanza de humedad (Mettler Toledo HX204 – Moisture Analyzer) con una temperatura de 105 ±0,1 0C. Para determinar el contenido de materia seca g/100g se aplicó la Ecuación (1):

$$\%MS = 100 - \%H \quad (1)$$

Donde:

%MS=Materia seca

%H=Porcentaje de humedad

b) Sólidos solubles

Este análisis se determinó mediante la norma NTE INEN-ISO 2173 usando un refractómetro digital ATAGO® Pocket-Japón.

c) Potencial de Hidrogeno (pH) y Acidez titulable (% ácido cítrico)

El potencial de hidrogeno se determinó siguiendo la metodología descrita por la norma NTE INEN-ISO 1842 (INEN 2013b) para lo cual se usó un pH-metro digital (Mettler Toledo – G20), con medida directa en una solución de agua destilada (45ml y 5g de muestra). La acidez titulable se realizó mediante la metodología de acuerdo a la norma NTE INEN-ISO 750, para este análisis se utilizo un titulador automático (Mettler Toledo G20 – Titrator Compact) con NaOH 0,1 N hasta un pH final de 8,1 ± 0,2 . Los valores de acidez titulable se expresaron en porcentaje de ácido cítrico contenido en la muestra y se calculó mediante la Ecuación (2).

$$A = V \times 2 \times F \quad (2)$$

Dónde:

A = Acidez titulable en porcentaje de ácido específico (g ácido cítrico/100 g de fruta)

V = Volumen de solución de NaOH 0,1 N empleado en la titulación (ml)

F = Factor de acidez del ácido cítrico (0,064) (Castro Rodríguez et al., 2015)

d) Índice de madurez

Se determinó de acuerdo con la Ecuación (3) Alvarado (1998)

(3)

Dónde Im es el Índice de Madurez

e) Análisis en el proceso de deshidratación Osmótica

Para determinar la evolución de la cinética de deshidratación osmótica se midieron los siguientes factores: pérdida de peso, humedad, solidos solubles ganados y actividad de agua.

- Pérdida de %PP, %PH y %PAw

En la pérdida de peso (PP), humedad (PH) y actividad de agua (PAw) se usó la Ecuación (4):

$$\%PP = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100 \quad (4)$$

Dónde:

Pi: peso inicial de humedad, peso y Aw

Pf: peso final de humedad, peso y Aw

- Ganancia de sólidos solubles

Para la determinación de ganancia de solidos se usó la Ecuación (5)

$$\%GS = \frac{(Brix_f - Brix_i)}{Brix_i} * 100 \quad (5)$$

Dónde:

%GS: porcentaje de ganancia de sólidos solubles °Brix_f : grados Brix de la muestra osmodeshidratada °Brix_i : son los grados Brix de la muestra fresca.

Difusividad efectiva para esferas mediante el modelo de Crank

La difusividad efectiva se determinó a partir de los resultados obtenidos de humedad y sólidos ganados. Los cálculos se realizaron mediante la siguiente ecuación basada en el modelo de Crank Ecuaciones (6) y (7)

$$MR = \frac{M_t - M_\infty}{M_0 - M_\infty} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{De_w n^2 \pi^2 t}{r^2}\right) \quad (6)$$

$$SR = \frac{S_t - M_\infty}{S_0 - M_\infty} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{De_s n^2 \pi^2 t}{r^2}\right) \quad (7)$$

Dónde:

MR y SR: proporciones de humedad y de solutos, respectivamente.

Subíndices: 0, ∞ y t representan las concentraciones iniciales, en equilibrio y a cualquier tiempo.

Dew y Des: coeficientes de difusión efectiva (m²/s) de agua y solutos respectivamente.

La transferencia de masa se determinó mediante una cinética de primer orden, donde los coeficientes fueron calculados con las Ecuaciones (8) y (9) (Rastogi N. , Raghavarao, Niranjana, & Knorr, 2002)

$$\frac{dm}{dt} = K_w (M_t - M_\infty) \quad (8)$$

$$\frac{ds}{dt} = K_s (S_t - S_\infty) \quad (9)$$

Cinética de secado

Para la determinación de este análisis, se realizó una curva de secado expresada como humedad en base seca (HBS) (g agua/ g de sólido secos) vs tiempo. El cual consistió en pesar la muestra en intervalos de tiempo de una hora hasta completar un lapso de 13 horas obteniendo así el contenido de agua en base seca

Durante el secado convectivo se considera que solo sale agua (Gamboa Santos, Megías Pérez, Montilla, Soria, & Villamiel, 2012).

Resultados y discusión

Caracterización de la materia prima

En la Tabla 3 se muestran los resultados correspondientes a la caracterización fisicoquímica de la cidrayota, en el que se observa que los valores son similares a los reportados por Moreira (2018) y Encarnación (2017), en lo que se puede indicar que es una fruta con alta cantidad de humedad y bajo contenido de sólidos solubles.

Tabla 3. Caracterización de la materia prima Cidrayota.

Parámetro	Cidrayota	Moreira (2018)	Encarnación (2017)
Humedad %	90,64±1,51	92,68	90,89
Materia seca	9,36±1,22	8,76	10,43
Sólidos solubles (°Brix)	3,56±0,47	3,87	4,50
Potencial de Hidrogeno (PH)	6,65±0,22	6,25	6,49
Acidez Titulable % (ácido cítrico)	0,04±0,001	0,030	0,05
Índice de Madurez (°Brix/ acidez titulable)	128,56±0,10	134,618	130,97

n= 3 mediciones ± desviación estándar

Pérdida de peso durante la deshidratación osmótica

Con los resultados obtenidos de pérdida de peso se realizaron las Figura 3 y 4 en donde se observa una tendencia mayor de pérdida en los primeros 30 minutos de inmersión, alcanzando entre un 25 al 35 % de pérdida de peso en las cidrayotas de los tratamientos, durante este tiempo hasta las 4 horas de deshidratación, el peso disminuye lentamente y al cabo de llegar a las seis horas encuentra su equilibrio.

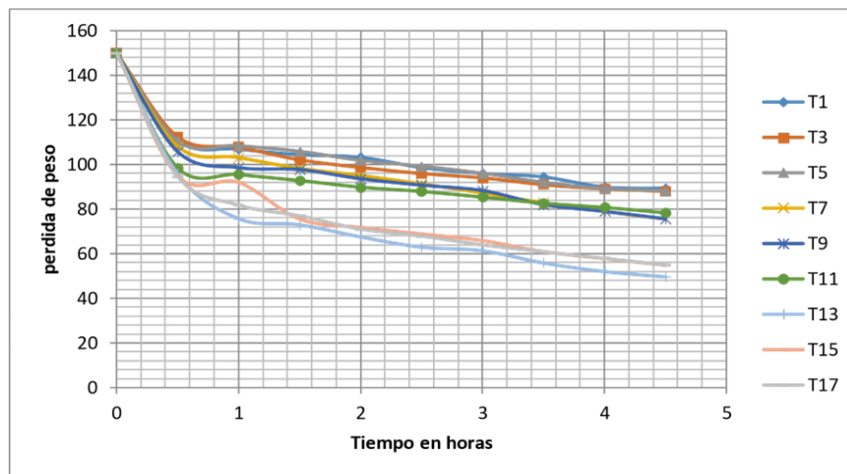


Figura 3. Pérdida de peso en el proceso de deshidratación osmótica de cidrayota a 4 horas de tiempo de inmersión.

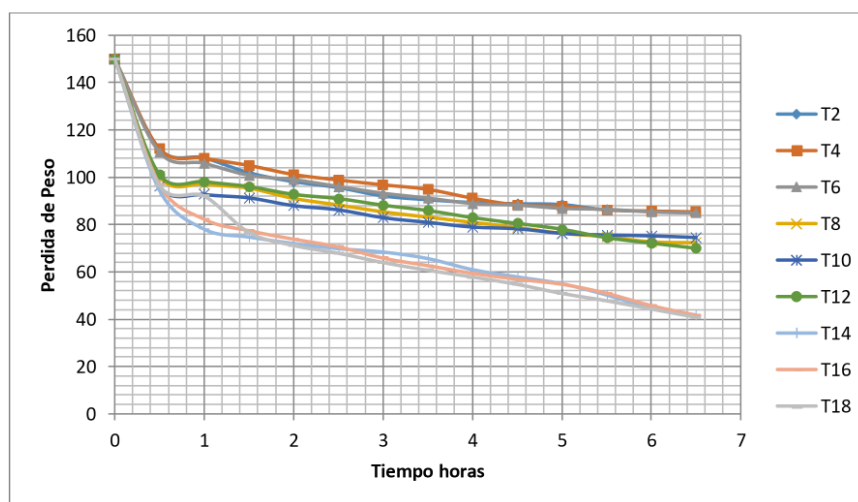


Figura 4. Pérdida de peso en el proceso de deshidratación osmótica de cidrayota 6 horas de tiempo de inmersión.

Los resultados del ANOVA multifactorial en la pérdida de peso, se realizaron con la finalidad de analizar el efecto de las variables implicadas en el proceso de deshidratación osmótica en el que indica que existe diferencia significativa (95% de confianza) en los factores A (concentración de sacarosa), factor B (% de CaCl₂) y factor C (tiempo). La prueba de comparación de Tukey nos da los mejores parámetros de pérdida de peso cuando se utiliza 55 0 Brix, 5% CaCl₂ en la solución osmótica y por 6 horas de deshidratación. Según Rastogi et al. (2002), la concentración de la solución osmótica afecta la deshidratación, ya que a mayor concentración de sólidos, mayor es la celeridad de transferencia entre los sólidos de la solución y los solutos de la fruta. Por otro lado la capacidad que muestran los iones de calcio naturales y añadidos para formar enlaces con las

pectinas y otros constituyentes de la pared celular y, en definitiva, para modificar las propiedades texturales y estructurales de la matriz celular vegetal, es de esperar que su presencia en los tratamientos afecte, en mayor o menor tendencia, al transporte de agua y sólidos solubles que tiene lugar durante el proceso osmótico, sobre todo si tenemos en cuenta que los mecanismos responsables del transporte de materia ocurren en conjunto con fenómenos de deformación-relajación de la estructura. Provocando que ocurra una ralentización en el proceso en alcanzar el equilibrio osmótico

Ganancia de Sólidos

En las figuras 5 y 6 se indica, que la ganancia de sólidos se encuentra en rangos de entre 3,9 - 18 0Brix en los primeros 30 minutos para todos los tratamientos y como Brix finales entre 40- 45. Así según Vega-Gálvez et al. (2007), la correlación entre sólidos solubles con el tiempo se indica en los primeros minutos un estado de pseudoequilibrio donde hay una tendencia a ganar sólidos para las distintas concentraciones utilizadas probablemente debido a la rápida acción de los mecanismos hidrodinámicos que provoca la ganancia inicial de la solución osmótica por capilaridad o por los cambios de presión impuestos, sin embargo a partir de los 15 minutos todas las curvas tienden a ganar sólidos gradualmente.

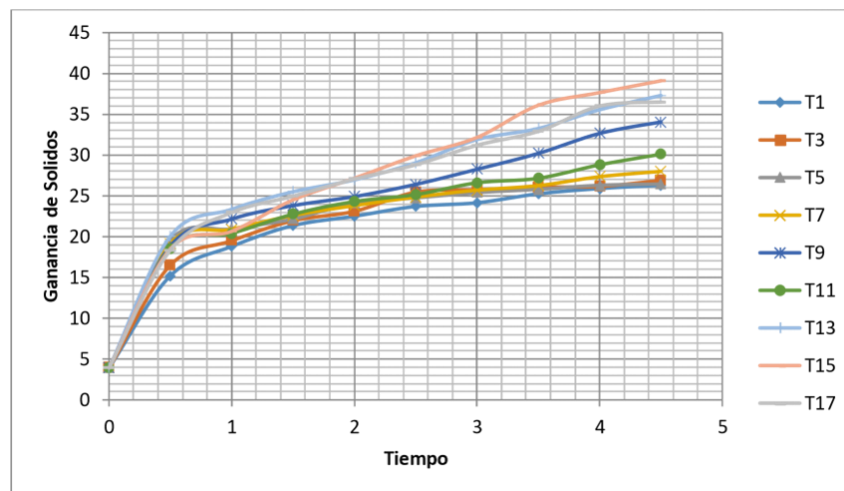


Figura 5. Ganancia de sólidos en el proceso de deshidratación osmótica de cidrayota 4 horas de tiempo de inmersión.

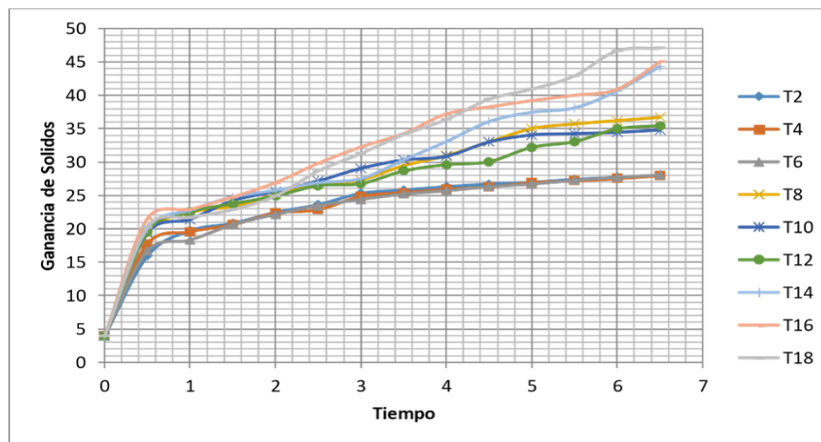


Figura 6. Ganancia de sólidos en el proceso de deshidratación osmótica de cidrayota 6 horas de tiempo de inmersión

El análisis de varianza muestra que hay diferencia significativa para los tres factores. Factor A (concentración de sacarosa) factor B (% de CaCl₂) y Factor C (tiempo), a la vez que se realizó la prueba de comparación de Tukey donde indica que los parámetros óptimos para ganancia de sólidos es : a₂ (55 0 Brix) , b₁ (10 % CaCl₂) , c₁ (6 horas) .

Al igual que el análisis de % de pérdida de peso en este parámetro influyen los tres factores como se mencionó anteriormente el CaCl₂ afecta también la transferencia de sólidos ya que este ralentiza el proceso de deshidratación osmótica y por ello el punto de equilibrio es la variable de tiempo con seis horas.

Perdida de Humedad

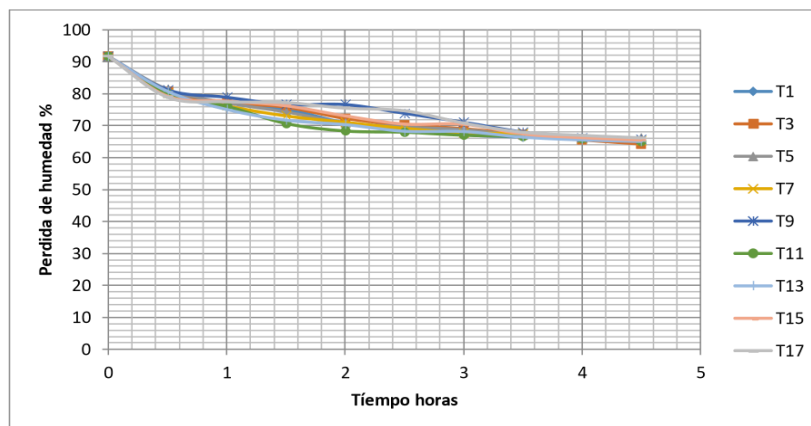


Figura 7. Pérdida de humedad en el proceso de deshidratación osmótica de cidrayota a 4 horas de tiempo de inmersión.

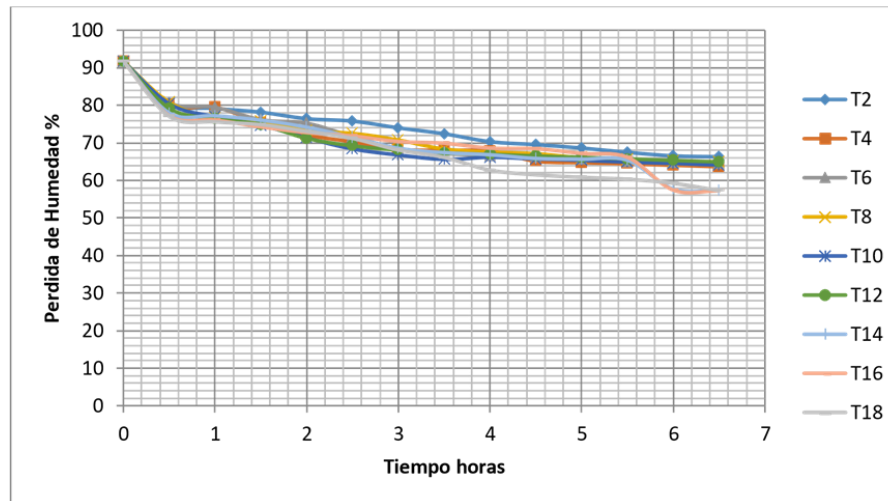


Figura 8. Pérdida de humedad en el proceso de deshidratación osmótica de cidrayota a 6 horas de tiempo de inmersión

En el proceso de deshidratación osmótica la pérdida de humedad consiste en la salida del agua de la fruta y la incorporación de los solutos de la solución hacia ella, por lo cual es un análisis de mucha importancia

Las figuras 7 y 8 indican la pérdida de humedad en los diferentes tratamientos con lo que se identifica, como estos toman una tendencia decreciente de acuerdo con el tiempo. Para los valores en los primeros 30 minutos al igual que la pérdida de peso y ganancia de sólidos, este análisis toma una tendencia decreciente con mayor rapidez en los primeros 30 minutos, cuyos valores se hallan entre 13 al 15 % y en los tiempos finales entre 27 al 35 % de pérdida lo que concuerda con lo reportado por Aguilar, (2011) que estudio el efecto de la concentración y la temperatura en la deshidratación osmótica de Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam). Para obtener la cinética de deshidratación osmótica determinó mediante las respuestas experimentales: pérdida de peso (Ppt), la pérdida de agua (Pat) y la ganancia de sólidos (Gst). Estableciendo así que al final del proceso los valores de humedad descienden hasta 49.89% en el tratamiento a0b0 (50 °Brix y Temperatura Ambiente) y 33.96% en el tratamiento a6b2 (68 °Brix y 50 °C). La variación de los resultados es marcada por los dos factores de estudio: Concentración del jarabe y Temperatura.

Por otro lado en el análisis estadístico se determinó que existe diferencia significativa con un 95% de confianza para los siguientes factores de estudio: Factor A (Concentración de Brix), Factor C (Tiempo). A la vez se realizó la prueba de comparación de Tukey en la que se muestra los valores

óptimos para este análisis nivel a0 (55 0 Brix) y nivel c1 (6 horas) parámetros que se ven más acentuados en los tratamientos 14,16, y 18.

Con los antecedentes pronunciados es lógico que los parámetros son directamente proporcionales para este análisis ya que a mayor concentración y tiempo mayor pérdida de humedad.

Difusividad Efectiva

Los datos obtenidos de difusividad efectiva para pérdida de humedad y ganancia de sólidos se encuentra, que el valor más alto para difusividad son para el tratamiento con 55°Brix, 5% , 6 horas (T14) con : $7,002E-07$ m²s y $6,935E-07$ m²s respectivamente , por lo que se puede decir que la concentración y el tiempo influye directamente en este análisis , esto como efecto de que al inicio del proceso de deshidratación osmótica existe una gran diferencia de sólidos en la fruta y la solución hipertónica , y en el transcurso del tiempo este sistema tiende a equilibrarse disminuyendo la velocidad de penetración de sólidos y salida de agua de la fruta o alimento.

Una vez analizados los resultados obtenidos se empleó el análisis de varianza para ambos parámetros (agua y sólidos) , en el que se estableció que existe diferencia significativa con un 95% de confianza en los factores A (Concentración) y Factor C (Tiempo) , a la vez se realizó la prueba múltiple de comparación Tukey en el cual se determinó que los niveles óptimos para difusividad son los niveles: a2 (55 0Brix) y C0(6 horas) lo que concuerda con lo que se indicó anteriormente.

Según (Coaquira, Katioska, & Maquera Calle, 2010) observó que la mayor difusividad efectiva en papaya corresponde al tratamiento del estado verde a una concentración de 60°Brix, a una temperatura de 45°C dando un valor de $4,4581E-08$ m²/s de difusividad efectiva y, la menor difusividad se produce en el tratamiento de mismo estado a una concentración de 50°Brix, dando un valor de $2,0264E-08$ m²/s .

De acuerdo con los datos descritos precedentemente se observa que hay variación esto como causa de las características exclusivas del fruto especialmente de la porosidad, que afectan a los mecanismos de transporte involucrados en la deshidratación osmótica, de forma que cuanto mayor sea la porosidad de la fruta mayor es la ganancia de sólidos, por ende la Difusividad efectiva será mayor (Lenart & Flink, 1984).

Coefficiente de Transferencia de Masa

La transferencia de masa es un fenómeno de transporte que se produce por causa de una gradiente de concentración y se obtuvo mediante una cinética de primer orden de ahí que con los resultados obtenidos demuestra que con una concentración de (550Brix) existe mayor transferencia de masa. Lo que se comprobó con el análisis estadístico en el cual determina que el factor influyente en este proceso es la concentración, y realizando la prueba de comparación de Tukey se estableció que el tratamiento recomendable para transferencia de masa es el a2b0c1 (55 0Brix, 5 %CaCl₂, 6 horas) con un valor de 6,3041E-03 (h-1), comparado con lo reportado por (Arreola & Rosas, 2007) que trabajo en higos y determino que el coeficiente de transferencia óptimo fue de 8.230 E-03 (h-1) con los siguientes factores (55 % de sacarosa , 45 0C) resultados que son cercanos a los bibliográficos, ya que se tomó en cuenta que la composición de la fruta evaluada sea similar a la reportada para poder realizar dicha comparación.

Curva de Cinética de Secado

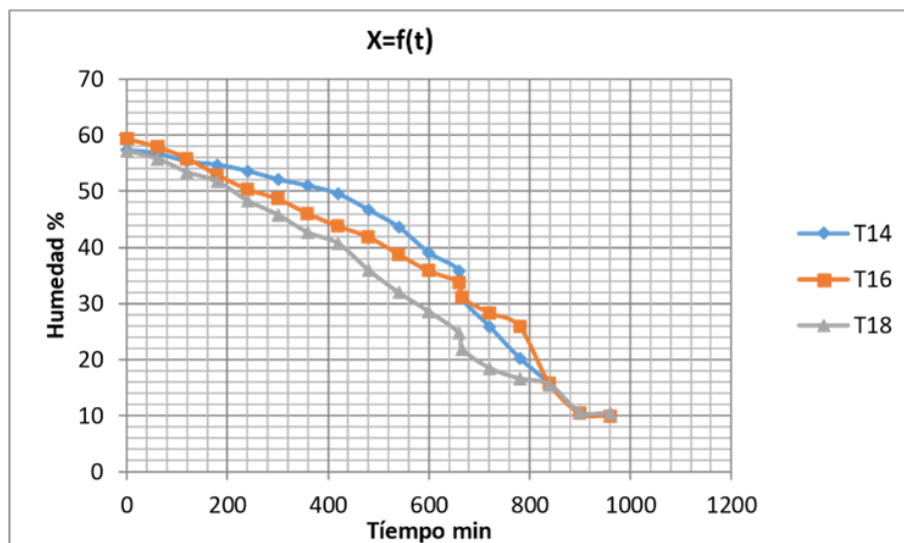


Figura 9. Humedad vs Tiempo.

Se realizó el secado como un complemento a la deshidratación osmótica ya que este es muy ventajoso porque disminuye la pérdida de nutrientes sensibles y a la vez prolonga el tiempo de vida útil de los alimentos (Aredo et al., 2012).

En la figura 9 muestra la reducción de la humedad en función del tiempo, para los tratamientos 14,16, 18 que fueron los que cumplieron de mejor manera con las respuestas experimentales analizadas anteriormente.

Las curvas de secado tienen dos fases muy importantes y se pueden verificar en la figura 9, la primera etapa denominada velocidad de secado constante muestra que sigue una tendencia lineal y se diferencia entre los primeros 120 minutos en esta etapa el sólido se calienta y la pérdida de humedad no es muy demostrativa por lo cual esta es de corta duración, ya que se elimina la humedad libre o no ligada del sólido, la segunda etapa llamada velocidad de secado decreciente se elimina la humedad ligada esta es más resistente a la evaporación por lo tanto el proceso es más largo.

Con relación a lo predicho anteriormente se calculó la velocidad de secado para cada tratamiento determinando los siguientes valores; (T 14) 0,1927 kg /sm²; (T16) : 0,1289 kg/sm² y para el T 18 0,030 kg/sm² indicando que el tratamiento 14 tiene una velocidad mayor, lo que corrobora con los datos obtenidos para sólidos ganados, pérdida de humedad, pérdida de peso cuyo mejor tratamiento fue el T14.

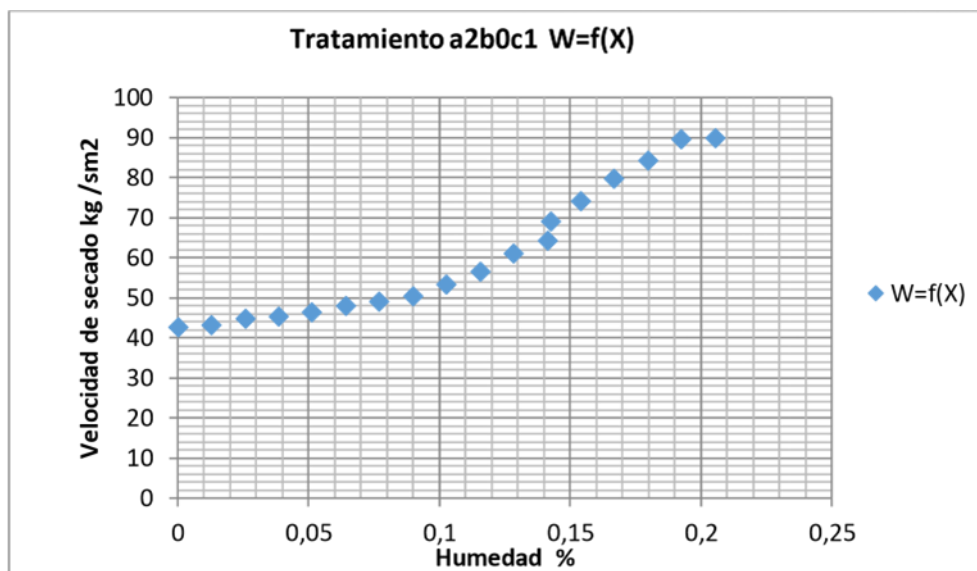


Figura 10. Humedad vs velocidad de secado

Determinación del tratamiento óptimo

El tratamiento óptimo se determinó en base a las diferentes respuestas experimentales obtenidas de : pérdida de peso, ganancia de sólidos, pérdida de humedad, difusividad efectiva, coeficiente de transferencia de masa , y en conjunto al análisis de varianza se estableció que los factores que mayor influencia presentaron fueron ; Factor A que corresponde a la concentración y el Factor B (tiempo) , esto para todos los análisis efectuados , de acuerdo con las pruebas de comparación de Tukey se obtuvo que el mejor tratamiento para todas las respuestas experimentales es el a2b0c1 (tratamiento 14) que corresponde a (55 0Brix , 5 % CaCl₂ , 6 horas) , seguido del tratamiento a2b1c1 (55 0Brix , 10 % CaCl₂ , 6 horas) y del tratamiento a2b2c2 (55 0Brix , 15 % CaCl₂ , 6 horas) , resultados que coincide con las Figuras expuestas anteriormente.

Por lo antedicho es posible discernir que para un proceso adecuado y óptimo de deshidratación osmótica se necesita de valores altos de concentración de sacarosa.

Sin embargo la variante es el Factor B , que corresponde al cloruro de calcio este ayuda a fortalecer la textura de los productos alimenticios , pero de acuerdo a la estructura de la cidrayota y esta al poseer altos porcentajes de fibra que se mantienen hasta después de ser sometidos a procesos de secado , la mejor condición son porcentajes menores que ayudan a obtener mejor calidad , por lo tanto el mejor tratamiento para deshidratación osmótica de cidrayota es el a2b0c1 (55 0Brix , 5 % CaCl₂ , 6 horas).

Análisis proximal y fisicoquímico del tratamiento óptimo

Tabla 4. Composición Proximal (%) de cidrayota (Sechium edule) deshidratada.

Análisis %	Resultados
Humedad	10,22
Cenizas	2,9
Grasa	0,136
Proteína	1,69
Fibra Dietética total	7,96
Carbohidratos Totales	77,094
Energía (kcal/g)	305,96

En la (Tabla 4) se encuentra el análisis proximal del mejor tratamiento que corresponde a a2b0c1 (55 0Brix, 5 % CaCl₂, 6 horas) los cuales tienen similitud con los reportados por (Chaglla, 2017) quien determinó que los valores de análisis proximal en zapallo osmodeshidratado fueron los siguientes Humedad 16,5; Energía (kcal/g) 385,72. Es posible identificar alguna diferencia en los resultados debido al tipo de solución osmótica empleada, así en el zapallo se utilizó miel de abeja y maracuyá.

Se tomó en cuenta la referencia bibliográfica de zapallo osmodeshidratado ya que pertenece a la misma familia de cidrayota, las Cucurbitáceas y debido a que su composición en estado fresco es similar.

Es importante destacar que el valor de actividad de agua se encuentra dentro de parámetros que se ajustan para que el producto final tenga un tiempo extendido de conservación.

Análisis de Textura

Se realizó el perfil de textura comparando la materia prima y el tratamiento óptimo obtenido, con la finalidad de observar si existe alguna diferencia con el producto final ya que al aplicar cloruro de calcio a un producto alimenticio, este aporta mayor textura, es decir evita que el alimento sufra transformaciones físicas al momento de ser sometido a procesos de secado.

El calcio realiza una asociación (que penetra en la fruta) con pectinas de las paredes celulares con lo que se fortalece la textura de la fruta y se crea un enlace tipo “unión cruzada” capaz de atenuar la difusión de azúcares hacia la fruta debido a un aumento de la tortuosidad y de la viscosidad local (Schwartz, 1999)

Con lo antedicho es importante observar en la figura 10 el mejoramiento que existe en cada una de las propiedades texturales, la dureza muestra que esta, un considerable incremento a pesar de que la fruta paso por un proceso de secado. La firmeza y la elasticidad son muy importantes porque son parámetros que generan suavidad en la fruta deshidratada y esta, al ser tratadas con calcio crean un beneficio ya que actúa sobre la firmeza de los tejidos, formando complejos con el ácido péptico en la membrana celular proporcionando pectato de calcio, compuesto ventajoso que ayuda a conservar la estructura de la fruta (Al Eryani et al., 2008).

La adhesividad y masticabilidad son bajas para ambas muestras ya que esto depende de la estructura de la fruta, pero es un buen factor ya que se realizara un menor esfuerzo al momento de ser ingerido el producto. La cohesividad es mayor en la fruta fresca ya que no ha sufrido ningún tipo de proceso térmico.

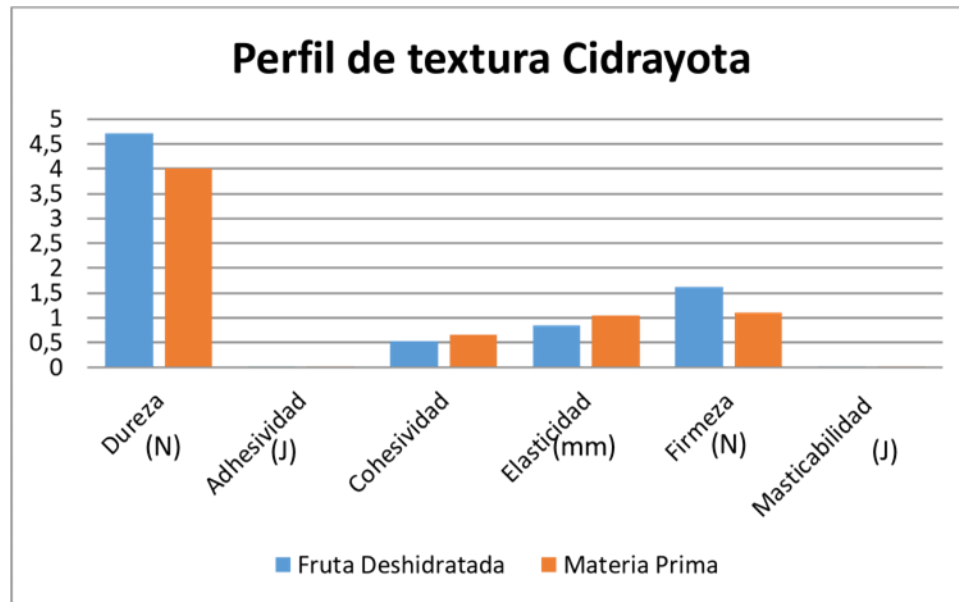


Figura 11. Análisis de textura de comparación de materia prima cidrayota y el tratamiento óptimo a2b0c1 (55 OBrx, 5 % CaCl₂, 6 horas).

Balance de materia

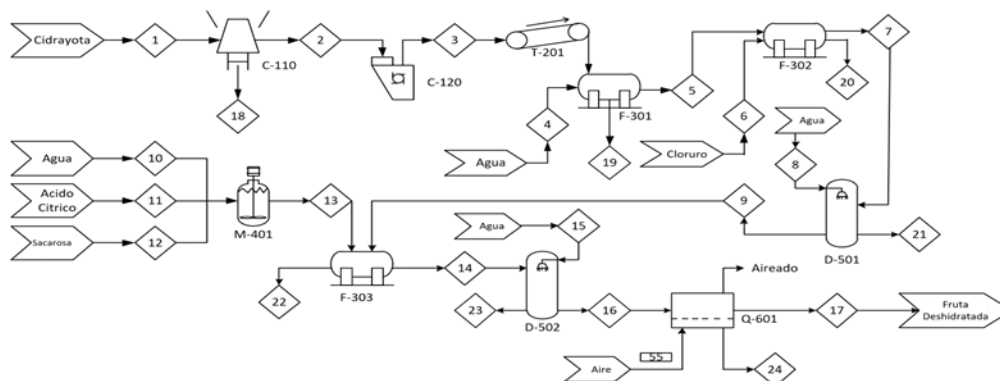


Figura 12. Diagrama PFD de la planta procesadora de Cidrayota Osmodeshidratada.
Elaborado por: Mayra Casillas

C-110	Quebradora giratoria
C-120	Cortadora giratoria (cubos)
T-201	Banda transportadora
F-301	Tanque de almacenamiento (Blanching cidra)
F-302	Tanque de almacenamiento (Macerado cidra)
F-303	Tanque de almacenamiento (D.O cidra)
M-401	Mezclador de propela (solución para D.O)
D-501	Torre de aspersión (lavado cidra después del macerado)
D-502	Torre de aspersión (lavado cidra D.O)
Q-601	Horno (secar cidra)

Número de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8
Estado	Sólido	Sólido	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Temperatura (°C)	15	15	15	72	15	15	15	15
Flujo másico (kg/día)	393,70	275,59	270,079	1080,32	270,079	27	270,079	1080,32
Flujo másico de los componentes (kg/día)								
Cidra	393,70	275,59	270,079	---	270,079	---	270,079	---
Agua	---	---	---	1080,32	---	---	---	1080,32
Sacarosa	---	---	---	---	---	---	---	---
Ácido cítrico	---	---	---	---	---	---	---	---
Cloruro de calcio	---	---	---	---	---	27	---	---
Desechos	---	---	---	---	---	---	---	---

Elaborado por: Mayra Casillas

Número de corriente	9	10	11	12	13	14	15	16
Estado	Sólido	Líquido	Sólido	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido	Sólido
Temperatura (°C)	15	15	15	15	15	15	15	15
Flujo másico (kg/día)	270,079	1080,32	5,41	595,76	1681,49	147,62	1080,32	147,62
Flujo másico de los componentes (kg/día)								
Cidra	270,079	---	---	---	---	147,62	---	147,62
Agua	---	1080,32	---	---	1080,32	---	1080,32	---
Sacarosa	---	---	---	595,76	595,76	---	---	---

Ácido cítrico	---	---	5,41	---	5,41	---	---	---
Cloruro de calcio	---	---	---	---	---	---	---	---
Desechos	---	---	---	---	---	---	---	---

Elaborado por: Mayra Casillas

Número de corriente	17	18	19	20	21	22	23	24
Estado	Sólido	Sólido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Gaseoso
Temperatura (°C)	15	15	15	15	15	15	15	55
Flujo másico (kg/día)	50,44	118,11	1080,32	27	1080,32	1803,95	1080,32	97,18
Flujo másico de los componentes (kg/día)								
Cidrayota	50,44	---	---	---	---	---	---	---
Agua	---	---	---	---	---	---	---	---
Sacarosa	---	---	---	---	---	---	---	---
Ácido cítrico	---	---	---	---	---	---	---	---
Cloruro de calcio	---	---	---	---	---	---	---	---
Desechos	---	118,11	1080,32	27	1080,32	1803,95	1080,32	97,18

Elaborado por: Mayra Casillas

Tabla N.-4 Producción de Cidrayota Osmodeshidratada

Ingredientes	Producción diaria	Producción Mensual	Producción Anual
Cidrayota	393,70 kg	8267,7 kg	99212,4 kg
Sacarosa	595,76 kg	12510,96 kg	3002 qq
Ácido cítrico	5,41 kg	113,61 kg	27 qq
Agua	1080,32kg	22686,72 kg	272240,64 kg
Cloruro de Calcio	27 kg	567 kg	6804 kg
Total	2102,19 kg	44145,99 kg	381286,04 kg

Conclusiones

En conclusión, la cidrayota deshidratada, con un contenido promedio de 10,22% de humedad, 305,96 kcal/g de energía y 4,72 N de dureza, demostró ser un alimento energético con baja humedad, idóneo para su conservación. El tratamiento óptimo para la deshidratación osmótica (T14) incluyó un 5% de CaCl₂, solución deshidratante de 55% de sacarosa, y 6 horas de tiempo de inmersión. Los valores de difusividad efectiva y coeficiente de transferencia de masa indican eficiencia en el proceso. El diagrama PFD para la producción de 50 kg/día destaca la necesidad de 393,70 kg de cidrayota, 595,76 kg de sacarosa, 5,41 kg de ácido cítrico, 1080,32 kg de agua y 27

kg de cloruro de calcio. Estos hallazgos respaldan la viabilidad tecnológica y nutricional de la cidrayota deshidratada como un producto energético de calidad.

Referencias

1. A.O.A.C. (1995). Official Methods of Analysis. USA: En A.O.
2. Aguilar Osorio, M. (2011). Estudio de la Temperatura y Concentración de Azúcar en la
3. Deshidratación Osmótica de Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). Bachelor's thesis.
4. Al Eryani, A., Mahmud, T., SyedOmar, S., & Mohamed-Zaki, A. (2008). Effects of calcium infiltration and chitosan coating on storage life and quality characteristics during storage of Papaya (*Carica papaya*L.). *International Journal of Agricultural Research*, 296-306.
5. Allcca Cusi, M. (2017). Influencia de la concentración de sacarosa y temperatura en la deshidratación osmótica de la oca (*Oxalis Tuberosa*).
6. Alvarado, J. (1998). Determinación de la madurez de frutas por medida de la densidad relativa del jugo. Ambato, Ecuador: OEA-CONACYT - Universidad Técnica de Ambato.
7. Aredo, V., Arteaga, A., Benites, C., & Gerónimo, W. (2012). Comparación entre el secado convectivo y osmoconvectivo en la pérdida de vitamina C de Aguaymanto (*Physalis peruviana*) con y sin pre-tratamiento de NaOH. *Agroind Science*, 126-131.
8. Arreola, S., & Rosas, M. (2007). Aplicación de vacío en la deshidratación osmótica de higos (*ficus carica*). *Información tecnológica*, 43-48.
9. Aung, L., Ball, A., & Kushad, M. (2009). Developmental and Nutritional Aspects of Chayote (*Sechium edule*, Cucurbitaceae). *New York Botanical Garden*, 157-164.
10. Calderón Jimenez, M., & Jiménez, J. (2011). Conservación de babaco (*carica pentágona*), mango (*magnifera índica*) y pepino dulce (*solanum muricatum*) mediante deshidratación osmótica directa (Bachelor's thesis).
11. Campos, A., & Flores, D. (2012). Deshidratación osmótica de placas de chayote (*Sechium edule*) utilizando soluciones hipertrónicas de cloruro de sodio. (Tesis de grado). México: Universidad Veracruzana.
12. Castro Rodriguez, J., Toledo Diaz, A., Rodriguez Galdón, B., Perdomo Molina, A., Rodríguez Rodríguez, E., & Diaz Romero, C. (2015). Caracterización morfológica y

- composición química de Chayotas (*Sechium edule*) cultivadas en las Islas Canarias (España). 243-251.
13. cenizas", N. I.-I. (s.f.).
 14. Coaquira, Y., Katoska, P., & Maquera Calle, V. (2010). Efecto del estado de madurez, concentración y temperatura en la difusión efectiva de sacarosa en papaya (*Carica papaya* L.) en el módulo de osmodeshidratación.
 15. Cornejo, M. (2010). Deshidratación de rebanadas de aguacate variedad Hass por el método OSMO-VAC (osmótico-vavio) y evaluación de calidad. Mexico DF.: Tesis de maestría, Instituto politécnico nacional.
 16. Encarnación, H. (2017). Determinación de parámetros para el procesamiento de una conserva en almíbar a partir de Chayote (*Sechium edule*). . Huancayo-Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú (Tesis de Grado).
 17. Fernández, F., Linhares, F., & Rodriguez, S. (2008). Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1049-1054.
 18. Gamboa Santos, J., Megías Pérez, R., Montilla , A., Soria, A., & Villamiel, M. (2012). Evaluación de la calidad en frutas deshidratadas comerciales y exóticas.
 19. García Pereira, A., Muñoz Becerá, S., Hernández Gómez, A., González, L., & Fernández Valdés, D. (2013). Análisis comparativo de la cinética de deshidratación osmótica y por fujo de aire caliente de la piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena lisa). *Revista Ciencia Técnicas Agropecuarias*, 62-69.
 20. Giraldo Zuniga, A., Arévalo Pinedo, A., Silva, A., Silva , P., Valdes Serra, J., & Palvak, M. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuacu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. Campinas: Ciencia y Tecnología de Alimentos.
 21. Lenart, A., & Flink, J. (1984). Osmotic Concentration of potatoes & Spatial Distribution of the Osmotic Effects. *Journal of Food Technology*.
 22. Lira, S. (1996). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Roma - Italia: International Plant Genetic Resources Institute.
 23. Lira-Saade, R. (1995). Estudios taxonómicos ecográficos de las Cucurbitaceae Latinoamericanas de importancia económica. International Plant Genetic Resources Institute.

24. Lombarda, G., Oliveira, J., Fito, P., & Andrés, A. (2008). Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering*, 277-284.
25. Martel, Z. (2009). Determinación de parámetros tecnológicos para la obtención de confitado de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). Huánuco-Perú: Universidad Nacional "Hermilio Valdizán" de Huánuco.
26. Mejia Doria, C., Duque Cifuentes, A., Garcia Alzate, L., & Padilla Sanabria, Y. (2016). Caracterización fisicoquímica de geometrías de cidra (*Sechium edule*) impregnadas a vacío con maracuyá. 1211 - 1214.
27. Moreira, S. (2018). Caracterización morfológica y composición físico - química de la fruta cidrayota (*Sechium edule*) de la variedad *virens levis* cultivada en los cantones Piñas (El Oro) y Baños (Tungurahua). (Tesis de grado). Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
28. NTE INEN 2996 (2015). Productos deshidratados. "Zanahoria, z. u. (s.f.).
29. NTE INEN-ISO 1842 (2013), Productos vegetales y de frutas - Determinación de pH.
30. (s.f.).
31. NTE INEN-ISO 2173 (2013). Productos vegetales y de frutas. "Determinación de sólidos solubles. Método refractométrico., 2, 1-3". (s.f.).
32. NTE INEN-ISO 3593 (2014). Almidones y féculas. "Determinación de cenizas". (s.f.).
33. NTE INEN-ISO 750:2013 Número de referencia ISO 750:1998 (E). "Productos vegetales y de frutas – Determinación de la acidez titulable (IDT)". (s.f.).
34. Ochoa Martinez, C., & Ayala Aponte, A. (2005). Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *CYTA - Journal of Food*, 330-342.
35. Ortega, A. (2018). Efecto de la concentración de cloruro de calcio en las propiedades texturales de un confite a partir de la raíz de jícama (*Smallanthus sonchifolius*) (Tesis de grado). Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
36. Rastogi, N., & Raghavarao, K. (2004). Mass Transfer during osmotic dehydration of pineapple: Considering Fickian diffusion in cubical configuration, *Lebensm.Wissu.* 43 - 47.
37. Rastogi, N., Raghavarao, K., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 48-59.

38. Reyes, E., & Galindo, M. (2012). Estudio del Chayote (*Sechium edule*). Veracruz - México: Universidad Veracruzana.
39. Schwartz, M. (1999). Principios y aplicaciones de métodos de factores combinados en la transformación de frutas. II Congreso Venezolano de Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Central de Venezuela, 120.
40. Vega Gálvez, A., Palacios, M., Boglio, F., Pássaro, C., Jeréz, C., & Lemus Mondaca, R. (2007). Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia. *Food Science and Technology*, 470 - 477.
41. Yurivilca, C. (2002). Obtención de fruta confitada a partir del chayote (*Sechium edule*). Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo Maria.

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).