



Design, construction and validation of a freeze-dryer for food-based samples.

Patricia García-Mora, Luis A. Plaza-Ibarra,
Floresmilo Herrera Loor, Jonathan X. Alarcón-Olarte and
Clotario V. Tapia-Bastidas

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

June 10, 2019

Diseño, construcción y validación de un liofilizador para el secado de muestras de origen alimentario

García-Mora¹, L.A.Plaza-Ibarra², W. F. Herrera Loor², J.X. Alarcón-Olarte², C.V. Tapia-Bastidas²

¹Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Ecuador, patricia.garcia04@cu.ucsg.edu.ec

²Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, vtapia@espol.edu.ec, laplaza@espol.edu.ec, wherrera@espol.edu.ec, jonxaala@espol.edu.ec,

Resumen— El presente documento describe el diseño, construcción y validación de un liofilizador tipo manifold, realizado por un grupo multidisciplinario de estudiantes como trabajo de graduación previo a titulación. El liofilizador fue evaluado usando como alimento a desecar naranjilla (*Solanum Quitoense Lam*) obteniendo buenos resultados, incluso comparables a los obtenidos con un liofilizador comercial, en los parámetros de porcentaje de humedad y actividad de agua. Asimismo, se determinaron las condiciones de secado por convección para rodajas de naranjilla que emulan las características de las disponibles en el mercado para infusiones. Tomando estos resultados de laboratorio como base, se contrasta las ventajas del secado por liofilización frente al secado tradicional convectivo, obteniendo en todos los casos alimentos deshidratados con mejor valor nutricional y características sensoriales.

Keywords—Liofilización, secado convectivo, sublimación, análisis sensorial

I. INTRODUCCIÓN

Una de las técnicas más antiguas utilizadas para la conservación y manufactura de los alimentos es la deshidratación. Este proceso ayuda a prevenir el deterioro de alimentos durante largos periodos de tiempo gracias a la disminución de la humedad del mismo [1].

Desde sus orígenes, la deshidratación se ha llevado a cabo mediante la aplicación de aire, a altas temperaturas, durante periodos prolongados de tiempo, sin llegar a que el alimento se queme. Estos tratamientos producen una serie de reacciones químicas que provocan el deterioro de las características físicoquímicas, sensoriales y organolépticas de los alimentos tratados [2].

Una alternativa a los tratamientos térmicos para la deshidratación de alimentos es la liofilización. Esta técnica se basa en la desecación de un producto previamente congelado, mediante la sublimación progresiva del solvente o agua presente en el mismo, en un medio de vacío. Dado que este tratamiento ocurre a bajas temperaturas, las alteraciones sensoriales y las pérdidas nutricionales de los productos deshidratados se ven reducidas significativamente, obteniéndose productos de mayor calidad [3].

A pesar de los marcados beneficios de la deshidratación por liofilización, esta técnica presenta el inconveniente de requerir de un elevado coste energético de producción [3] y de adquisición.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es diseñar, construir y validar, mediante un equipo de trabajo multidisciplinario, un liofilizador y al mismo tiempo corroborar que la deshidratación por liofilización es más efectiva, para la conservación de muestras de origen alimentario, que la correspondiente a secado convectivo,

II. MARCO TEÓRICO

A. Principios de Liofilización

La liofilización es la deshidratación de un determinado producto a través de la sublimación progresiva del solvente o agua presente en el mismo. Este proceso se realiza en régimen de vacío y a bajas temperaturas. En consecuencia, los elementos volátiles contenidos en el producto no se pierden, a diferencia de los métodos convectivos convencionales.

El principio del proceso de liofilización es la sublimación progresiva del agua contenida en el producto que se desea secar. La sublimación del agua se produce por debajo de su punto triple, mismo que se encuentra definido a un valor de presión de 610 Pa y una temperatura de 0°C [5]. Indistintamente del método de liofilización empleado, un proceso de liofilización está compuesto de tres etapas principales: (i) congelación, (ii) desecación primaria y (iii) desecación secundaria.

La etapa inicial es la congelación. Los productos alimenticios presentan una menor temperatura de congelación, debido a la presencia de solutos presentes en el producto disminuyendo la temperatura de congelación. Se recomienda en promedio una temperatura de congelación por debajo de -10°C [6]. En esta etapa es importante que el producto sea llevado al punto de congelación procurando una óptima velocidad de enfriamiento evitando variaciones en su estructura cristalina que ocasionarían que se produzcan cavidades en las cuales quede atrapado líquido saturado (agua).

Seguidamente, en la fase de desecación primaria el producto congelado se debe mantener en la cámara de secado a una presión de vapor de agua por debajo de 610 Pa y a una temperatura menor a -5°C, con el fin de promover la sublimación del agua presente en las muestras, debido al diferencial de presión de vapor de agua entre las fases. Al culminar esta etapa se consigue un contenido del 10 al 15% de

Digital Object Identifier: (to be inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

humedad, dejando al mismo listo para la etapa de desecación secundaria [7].

Finalmente, en la etapa de desecación secundaria se remueve el agua parcialmente ligada a la estructura del material que se está secando. El alimento obtiene una estructura porosa y estos poros sirven como canales o ductos de escape para el agua, no congelada, ligada al producto. En esta etapa se mantiene el vacío en el sistema por debajo de la presión del punto triple, mientras que la temperatura de la muestra se eleva progresivamente hasta un valor próximo a la del ambiente (~15°C) [6]. Al finalizar, el contenido de agua en el producto puede llegar a un 2%.

III. EQUIPO LIOFILIZADOR DESARROLLADO

A. Diseño Conceptual

Existen dos tipos de liofilizadores: del tipo de bandejas y del tipo manifold. Desde el punto de vista mecánico, la principal diferencia radica en que el primero posee un sistema de refrigeración independiente para la muestra, el cual se encarga de la etapa de congelación de la misma y subsecuentemente del calentamiento paulatino de la misma durante la etapa de desecación secundaria. Por otro lado, el liofilizador tipo manifold no posee un sistema controlado de temperatura de la cámara de muestras, por lo que la misma debe ser introducida en el equipo una vez que la misma ha sido debidamente congelada. Es por este motivo que el liofilizador tipo bandeja es más eficiente, aunque más costoso, y es habitualmente utilizado en la industria farmacéutica.

El objetivo del liofilizador a diseñar es el de deshidratar muestras de origen alimentario, a niveles de entre 10% a 15% de humedad; por lo que el liofilizador tipo manifold es ideal para este requerimiento[8].

En la Fig. 1 se esquematiza el equipo liofilizador tipo manifold construido. Este equipo está conformado por dos sistemas (i) el sistema de vacío y (ii) el sistema de refrigeración.

El sistema de vacío y de refrigeración trabajan de manera paralela y son los elementos constitutivos del liofilizador. El sistema de vacío es el encargado de remover las moléculas de agua desde las muestras, ubicadas en la Cámara de Muestras, hacia el exterior del liofilizador. Por otro lado, el sistema de refrigeración (Trampa de Frío) cumple con funciones de preservación de la bomba de vacío, dado que su función principal es la de generar una temperatura lo suficientemente baja, en el Serpentin Evaporador, para que las moléculas de agua removidas de la muestra queden atrapadas (depositadas por sublimación inversa) en el mismo, preservando así la bomba del sistema de vacío.

B. Sistema de Vacío

El sistema de vacío es el encargado de generar el diferencial de presión necesario para que se dé la migración del agua contenida en el producto a través del proceso de sublimación.

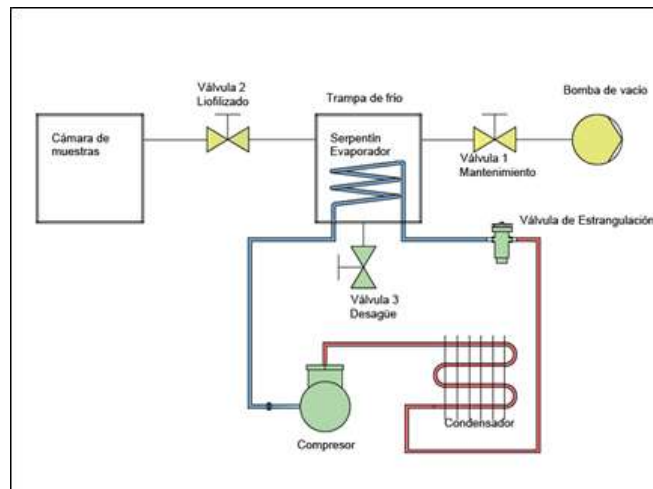


Fig. 1. Esquema de equipo liofilizador tipo manifold a construir

Para la liofilización adecuada de alimentos, el rango de vacío necesario se encuentra $1e-2$ hPa y $1e+2$ hPa [9]. La bomba DV-6E Eliminator fue seleccionada; ya que proporciona 0.03hPa de presión terminal garantizando alcanzar la presión de vacío por debajo del punto triple del agua. Se debe mencionar que tanto la Trampa de Frío como la Cámara de Muestras fueron construidos utilizando acero inoxidable AISI 304, dado que el fin del equipo es liofilizar muestras de origen alimenticio.

Tanto la Cámara de Muestras como la Trampa de Frío poseen uniones elastoméricas en las tapas de las mismas. Hoffman y Thomas describen que este tipo de sellos se utilizan para asegurar la hermeticidad de juntas en aplicaciones que operan con presiones de vacío de hasta $1e-6$ hPa [10], excediendo el requerimiento de diseño para vacío en esta aplicación particular.

Las uniones flexibles del equipo son del tipo NPT. Estos acoples y componentes son de precio bajo y disponibles en el mercado local. Los accesorios NPT son de tipo roscado y cinta de Teflón® comercial es utilizada para garantizar la hermeticidad del sistema. La configuración que se empleó en el prototipo desarrollado es colocar la Bomba de Vacío, la Trampa de Frío y la Cámara de Muestras en serie, interconectadas usando acoples NPT, en una configuración compacta para minimizar pérdidas.

C. Sistema de Refrigeración y Trampa de Frío

La Trampa de Frío, en el diseño tipo manifold, protege a la bomba de vacío del agua removida de la muestra durante la liofilización, al retenerla simulando una trampa por deposición (sublimación inversa). Este vapor de agua liberado representa un riesgo de deterioro para la bomba de vacío, en caso de condensarse en su interior. Por lo tanto, la trampa de frío ubicada entre la Cámara de Muestras y la Bomba de Vacío produce el proceso inverso de la sublimación, depositando el vapor de agua en el serpentín.

La (i) unidad de refrigeración seleccionada y el (ii) dimensionamiento del serpentín evaporador juegan un papel preponderante en el diseño. Como resultado del modelamiento

de transferencia de calor y masa en la Trampa de Frío, se determinó que el área de deposición mínima para obtener una trampa efectiva es de 0,20 m². Con este resultado como referencia se construyó un serpentín, (AISI 304 con diámetro nominal de ¼ in.) con un diámetro de enrollamiento de 220 mm y 13 revoluciones, obteniendo un área total de transferencia de 0,26 m².

La selección de la unidad de refrigeración se limitó a la elección de la unidad que pueda llegar al menos a -15°C. Se evaluaron las opciones disponibles y se escogió la unidad TECUMSEH-CAJ2446z-1HP con capacidad de 1630 BTUh, usando refrigerante 404a. Esta configuración comercial brinda una temperatura nominal de -30°C. Al verificar las necesidades del sistema, se constató que la capacidad de remoción del sistema no llega a los 600 BTUh.

Los recipientes constitutivos de la Cámara de Muestras y la Trampa de Frío fueron calculados bajo el código ASME IX [11]. Ambos recipientes estarán expuesto a una presión de vacío próxima a 0,03 hPa en el interior de los mismos, mientras que en el exterior actuará la presión atmosférica. Megyesy [12] recomienda que si la presión externa es menor o igual a 101,353 Pa, el cálculo de espesor mínimo para recipientes a presión externa puede ser hecho de manera similar al correspondiente a recipientes sometidos a presión interna. Bajo esas consideraciones y tomando en cuenta que el material del recipiente es AISI304, se obtiene un espesor mínimo de 0,052 mm. De manera técnica se escoge un espesor de 2 mm debido a su soldabilidad preservando la integridad del recipiente con el uso.

IV. MÉTODO EXPERIMENTAL

A. *Materia prima:*

Se emplearon rodajas de naranjilla (*Solanum Quitoense* Lam) que presentaron un estado de madurez # 5, de acuerdo a estándar (NTE INEN 2303). Estas fueron lavadas con una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 5 ppm y cortadas en rodajas con un espesor de 5±0,5 mm para posteriormente ser deshidratadas por secado convectivo y liofilización.

Las muestras analizadas fueron comparadas con muestras comerciales de naranjilla, deshidratadas por secado convectivo (muestra control).

B. *Deshidratación de naranjilla (Solanum Quitoense Lam)*

- Estufa: Para la deshidratación por secado convectivo se utilizó una estufa universal marca Memmert, modelo SM-200. Las temperaturas seleccionadas fueron 40°C, 50°C y 60°C, con tiempos de secado de 6, 18 y 24 horas, y una velocidad de flujo de aire de 1 m. s⁻¹.
- Liofilizador comercial: Se utilizó un liofilizador de marca Labconco-Freezone, con una temperatura de serpentín de deposición de -48°C y una presión de 0,104 hPa, durante 3 días.
- Liofilizador prototipo: corresponde al sistema desarrollado en este proyecto y descrito en III.

C. *Análisis de laboratorio*

- Parámetros físico-químicos: Todas las muestras del estudio fueron sometidas a un análisis físico-químico donde se determinó (i) la actividad de agua (Aw) y (ii) el porcentaje de humedad (H%), siguiendo la norma AOAC 978.18 y AOAC 925.10, respectivamente y (iii) se evaluó visualmente el color y la textura de las mismas tomando como referencia la tabla de colores que se encuentra en la norma NTE INEN 2303:2009. Frutas Frescas. Naranjilla.
- Determinación de la Actividad Antioxidante por el método ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) siguiendo el método previamente descrito por García-Mora [13], usando un lector de microplacas (Synergy HT, Biotek).

D. *Análisis estadístico.*

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) por el software Statgraphics Centurion XVI ®, versión 16.1.17. Las diferencias entre muestras se compararon mediante la prueba de rango múltiple de Duncan en $p \leq 0.05$ niveles de probabilidad.

V. RESULTADOS

A. *Análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos entre muestras deshidratadas por secado convectivo.*

Los parámetros tiempo y temperatura producen disminuciones significativas ($p < 0,05$) en el contenido de Aw y humedad de las muestras deshidratadas por secado convectivo (Tabla I).

En lo referente a la Aw, los valores más bajos se obtuvieron a temperaturas de 50°C y 60°C tras 24 horas de tratamiento térmico, arrojando valores de 0,311±0,008 y 0,3171±0,001 respectivamente ($p < 0,05$). Durante el secado convectivo a 60°C, la Aw no se modificó a partir de las 18 horas de deshidratación lo que indica que posiblemente se ha llegado a la Aw mínima del producto.

Respecto a la humedad, los valores obtenidos reflejan que al aumentar el tiempo y la temperatura este parámetro decrece, alcanzando el valor mínimo de humedad a una temperatura de 60°C tras 24 horas de deshidratación (5,206±0,115). Además, a temperaturas de 60°C, todos los tiempos analizados mostraron diferencias significativas en los valores obtenidos ($p < 0,05$), por lo que no se puede concluir que se hayan alcanzado los valores mínimos de humedad de las muestras.

El contenido de Aw y de humedad son indicadores de calidad en la deshidratación de alimentos. Para considerar que un producto se ha deshidratado correctamente es necesario reducir los valores de Aw a parámetros comprendidos entre 0,05 y 0,45 y los de humedad al 1 o 15% [4]. Esto sugiere que el tratamiento térmico a 40°C a tiempos de secado inferiores a 24h no son efectivos para la deshidratación de muestras tomadas a estudio.

TABLA I. Valores de Actividad de Agua (Aw) y de Humedad (%) en diferentes temperaturas.

Actividad de Agua (Aw)			
Tiempo (h)	40°C	50°C	60°C
6	0,707±0,006 c ⁱ D ⁱⁱ	0,431±0,003 b D	0,335±0,011 a B
12	0,654±0,007 c C	0,422±0,004 b C	0,334±0,009 a B
18	0,499±0,013 c B	0,356±0,009 b B	0,323±0,007 a A
24	0,380±0,005 b A	0,311±0,008 a A	0,317±0,011 a A
Humedad (%)			
6	59,497±0,492 c D	10,780±0,399 b D	7,250±0,302 a D
12	47,810±0,172 c C	10,157±0,076 b C	6,353±0,118 a C
18	21,243±0,365 c B	9,266±0,257 b B	5,813±0,307 a B
24	14,313±0,258 c A	8,443±0,289 b A	5,206±0,115 a A

ⁱLas letras minúsculas muestran diferencia significativa entre las filas

ⁱⁱLas letras mayúsculas muestran diferencia significativa entre las columnas

B. Análisis comparativo de color y textura entre muestras deshidratadas por secado convectivo.

Los resultados mostraron que el tratamiento de secado convectivo origina cambios de color y textura en las rodajas deshidratadas, siendo estos más notables a medida que los parámetros tiempo y temperatura aumentaban. Esto es debido a que existe una relación directa entre la temperatura del aire y la tasa de remoción de agua de las muestras. Al aumentar la temperatura de secado, la humedad relativa decrece, por lo que se incrementa gradiente de humedad entre la superficie del alimento y el aire, acelerando la remoción del agua [14].

A 40°C de tratamiento no se aprecian prácticamente modificaciones en el color y la textura hasta las 18 horas de deshidratación de producto, indicando que las rodajas de naranjilla no se han deshidratado por completo. Estos resultados presentaron concordancia con los resultados obtenidos de actividad de agua y humedad, donde valores alcanzados fueron de 0,499±0,013 y 21,24±0,365, respectivamente.

Contrariamente, la aplicación de calor a temperaturas de 50°C durante 18 y 24 horas y de 60°C durante 12, 18 y 24 horas, originaron modificaciones en el color y en la textura, haciéndolas visualmente inaceptables ante el consumidor. Esto se atribuye a que la aplicación de temperaturas muy elevadas origina cambios irreversibles en el color y el desarrollo de

reacciones físicas y químicas que se reflejan en el deterioro de la calidad del alimento deshidratado [15]. Por lo expuesto se podría concluir que las únicas muestras deshidratadas que pueden ser tomadas en cuenta para el estudio son las obtenidas a 40°C-24h, 50°C-6h y 12h y 60°C-6h.

C. Selección de la muestra deshidratada por secado convectivo con mayor semejanza a la muestra control

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos de las muestras deshidratadas por secado convectivo fueron comparados estadísticamente con la muestra control a fin de encontrar la que más se asemejaba a la misma.

Los resultados pusieron de manifiesto que el tratamiento convectivo llevado a cabo a temperaturas de 50 °C durante 6 horas (T.C 50°C-6h) era el más idóneo para obtener rodajas de naranjilla deshidratadas con características fisicoquímicas similares a la muestra comercial.

Cabe remarcar que la muestra seleccionada estadísticamente presentaba parámetros de color y textura similares a la muestra control y esta estaba dentro del rango de muestras seleccionadas anteriormente para nuestro estudio.

D. Análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos y actividad antioxidante de la muestra control, la muestra seleccionada deshidratada por secado convectivo y las muestras liofilizadas.

En lo referente a la Aw, el valor mínimo se obtuvo en la muestra deshidratada con el liofilizador prototipo (0,338±0,001), seguido de las muestras deshidratadas por el liofilizador comercial y tratamiento convectivo (p<0,005), siendo la muestra comercial la que mayor actividad de agua presentó (0,440±0,001).

Del mismo modo, los valores más bajos de humedad fueron obtenidos al deshidratar las muestras mediante liofilización obteniéndose valores de 8,736±0,26 y 6,27±0,08 para el liofilizador comercial y prototipo, respectivamente.

El hecho de que los valores de Aw y de humedad sean menores en las muestras deshidratadas en el liofilizador prototipo que en el comercial, puede ser atribuidos a la cantidad de muestra deshidratada y a la distribución de las mismas en el equipo.

En relación a la actividad antioxidante se pudo apreciar que los valores obtenidos variaron de 22,90±0,1 a 43,50±2,13 µmoles de Trolox/g muestra, en función del tipo de tratamiento de deshidratación empleado.

Los valores obtenidos son superiores a aquellos reportados previamente por otros autores en muestras de naranjilla liofilizadas, los cuales presentaban una capacidad de atrapar radicales peroxilo de 17µmoles de Trolox/g muestra [16]. Dicha diferencia en la actividad antioxidante podría estar relacionada con las diferencias climáticas en las zonas de producción de dicha fruta (Costa Rica).

Todos los tratamientos usados para la deshidratación de naranjilla mostraron mayor actividad antioxidante que la muestra control (22,90±1,6µmoles de Trolox/g muestra) (p<0,05). Esto puede ser debido a que las fundas de naranjilla

deshidratadas adquiridas en el mercado (muestra control) no estaban empacadas en fundas opacas y al vacío, por lo que pueden haber sufrido una ligera oxidación debido a la luz y al oxígeno.

Los mayores valores de capacidad antioxidante se obtuvieron en las muestras deshidratadas con el liofilizador comercial y por el prototipo diseñado ($p > 0,05$), con valores de $43,51 \pm 3,38$ y de $43,50 \pm 2,13 \mu\text{moles}$ de Trolox/g muestra, respectivamente. Esto puede ser atribuido a que durante la deshidratación por procesos convectivos se produce la degradación de algunos nutrientes como vitaminas y compuestos fenólicos, originando una disminución en la actividad antioxidante del alimento deshidratado por calor [4].

E. Análisis comparativo de color y textura de la muestra control, la muestra seleccionada deshidratada por secado convectivo y las muestras liofilizadas.

El color de las muestras deshidratadas varió en función del tratamiento de secado empleado. Así, mientras que las muestras deshidratadas por convección presentan una coloración más oscura, las muestras deshidratadas por liofilización presentan una coloración muy similar al producto original antes de ser tratado. Esto es debido a que el tratamiento convectivo ocasiona reacciones no enzimáticas y físico-químicas que producen un oscurecimiento irreversible en el producto deshidratado [15]. En las muestras liofilizadas estas modificaciones no se producen al haberse llevado a cabo a bajas temperaturas; por lo tanto, como compuestos volátiles o proteínas no son arrastrados por el vapor de agua durante la sublimación [4], evitando así reacciones de oscurecimiento.

En lo referente a la textura, las muestras obtenidas por tratamiento convectivo presentan menos porosidad que las obtenidas por liofilización, ya que el calor genera el endurecimiento de la superficie del alimento. Además, al someter a las muestras a congelación para ser posteriormente deshidratadas por sublimación, las soluciones acuosas del alimento se separan en una solución acuosa de soluto y hielo, reduciendo el encogimiento del producto, el cual presentará así mayor porosidad, lo que permite obtener un producto deshidratado con una textura muy similar al original y que además presente una más fácil y completa rehidratación [4].

VI. CONCLUSIÓN

La naranjilla tratada por el liofilizador prototipo, construido presentó mejores propiedades fisicoquímicas (actividad de agua y humedad), mejor color y mayor actividad antioxidante que la muestra tratada por convección y la muestra control, verificando así el buen funcionamiento del equipo desarrollado. Asimismo, los resultados corroboraron las ventajas del uso de deshidratación por liofilización frente al secado convectivo para la deshidratación de rodajas de naranjilla.

VII. RECONOCIMIENTOS

El financiamiento del proyecto fue realizado por el vicerrectorado general de la Escuela Superior Politécnica. Los

autores agradecen a la empresa INSISTERSA por la asistencia y soporte técnico durante la ejecución del proyecto.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNESCO. (2005). Guía de uso, secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. Cosude, 1, 41. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- [2] Maupoey, P. F., Grau, A. M. A., Sorolla, A. M. A., & Baviera, J. M. B. (2001). Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente. Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente, 211.
- [3] Sagar, V. R., & Suresh Kumar, P. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 15–26. doi:10.1007/s13197-010-0010-8
- [4] Colina Maria, Deshidratacion De Alimentos (No Publicado).
- [5] P. Fellows, Tecnología del Proceso de los alimentos, Principios y Prácticas, Zaragoza, España: ACRIBIA S.A, 1993.
- [6] C. Barbosa, Deshidratación de alimentos, Zaragoza, España: ACRIBIA S.A, 2000.
- [7] R. Mascheroni, Operations in food Refrigerator, CRC Press, 2010.
- [8] LABCONCO, "Labconco," 15 10 2017. [Online]. Available: <http://www.labconco.com/>.
- [9] LEYBOLD, Fundamentals of Vacuum Technology, Alemania, 2007.
- [10] D. Hoffman and J. Thomas, HANDBOOK OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY, San Diego: Academic Press, 2000.
- [11] Código ASME Sección IX , Soldadura: Desarrollo y calificación de Procedimientos y Soldadores, 2015
- [12] E. Megyedy, Manual de recipientes a Presión, Mexico: Grupo Noriega Editores, 2000.
- [13] Garcia-Mora, P., Peñas, E., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2014). Savinase, the Most Suitable Enzyme for Releasing Peptides from Lentil (*Lens culinaris* var. Castellana) Protein Concentrates with Multifunctional Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(18), 4166–4174. doi:10.1021/jf500849u
- [14] Incropera, F; Dewitt, D. Introducción a la transferencia de Calor, Person Education, 1999.
- [15] Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Chou, S. K., Hawlader, M. N. ., & Ho, J. C. (2000). CONVECTIVE DRYING OF BANANA, GUAVA AND POTATO PIECES: EFFECT OF CYCLICAL VARIATIONS OF AIR TEMPERATURE ON DRYING KINETICS AND COLOR CHANGE. *Drying Technology*, 18(4-5), 907–936. doi:10.1080/07373930008917744
- [16] Acosta Ó., Pérez A.M., Vaillant F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Organo Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición 59(1): 88-94.
- [17] Forero, D. P., Carriazo, J. G., & Osorio, C. (2015). Effect of different drying methods on morphological, thermal, and biofunctional properties of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit powders. *Drying Technology*, 34(9), 1085–1094.
- [18] E. M. Ceballos-Ortiz y M. T. Jiménez-Munguía, Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano, TSA, 2017.