



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

Análisis comparativo de pretratamientos para la mejora de la eficiencia del proceso de liofilización en productos comestibles

Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Concepción

Nombre: Benjamín Lara

Fecha: 05 de octubre del 2021

Profesor Guía: Cristian Pereira Aburto



Resumen

En la sociedad cada vez se buscan formas de mejorar la salud y la calidad de vida, por ello la gente comprende que una de las formas más eficientes de poder lograr esa meta, es a través de una buena alimentación, la cual, contiene entre otros factores el abundante consumo de frutas. Esto puede suponer un reto para la industria alimenticia, ya que la vida útil de las frutas es generalmente bastante corta, de 12 a 14 días, considerando una cadena de frío constante, ocasionando que la generación y mantenimiento de un stock pueda ser bastante complicado.

Para poder sopesar esta problemática, se han investigado y desarrollado diversos mecanismos, para poder extender lo máximo posible el tiempo de vida útil de las frutas, sin afectar sus propiedades (color, sabor, valor nutricional, etc.). Una de las técnicas de conservación desarrolladas por estas investigaciones es la liofilización: esta técnica se basa en el desecado de materiales, a través de la sublimación del agua contenida en estos. Explicado de forma más detallada consiste en congelar el producto, para después remover el hielo aplicando calor en condiciones de vacío, con esto se evita que el agua pase a su estado líquido.

Con estos se logra extraer un enorme porcentaje del agua contenida en los alimentos, (más del 95%), esto genera un gran beneficio para el transporte de los alimentos, ya que se consigue una mayor cantidad de transporte debido al peso removido del agua, los alimentos tienen una mayor duración sin necesidad de una cadena de frío, ya que son estables microbiológicamente. El producto conserva su forma y volumen, así como también, preserva sus características nutritivas y organolépticas. Y una vez rehidratado recupera su textura, aroma y sabor original.

Sin embargo, pese a todas estas maravillosas propiedades que posee la técnica de liofilización, tiene sus desventajas, la primera es que los equipo con los cuales se trabaja la liofilización son caros, la segunda es una mayor demanda de energía y tiempo, aumentando de entre 4 a 8 veces el costo del proceso, respectó de otras tecnologías tradicionales. Esto debido a la energía que se requiere para de difusión del vapor desde el interior del producto a través de la capa seca hacia el exterior.

Por ello se propone la utilización de micro perforaciones con láser de CO₂ como una opción para facilitar la difusión y con ello disminuir el tiempo de secado primario durante la liofilización.

Este mecanismo consiste en aumentar el número de salidas del agua contenida como hielo al interior del producto, cuanto este pase de su estado sólido a gaseoso, disminuyendo el tiempo al cual el producto es sometido a calor en condiciones de vacío y, por ende, disminuir la cantidad de energía requerida para el proceso de secado primario de la liofilización



Objetivos

- Objetivo General: Analizar fuentes bibliográficas acerca de pretratamiento para la mejora de la eficiencia en la liofilización de productos comestibles
- Objetivos Específicos:
 - Comparar y observar cuales son los efectos de los pretratamientos en el producto final del proceso de liofilización



Índice

Introducción.....	Pág. 5
Desarrollo	
Capítulo I: Fundamentos teóricos.....	Pág.6
Liofilización.....	Pág. 7
Congelamiento	
Secado primario	
Secado secundario.....	Pág.8
Reducción de tiempo del proceso de liofilización.....	Pág.8
Capitulo II: Pretratamientos para la liofilización y sus efectos.....	Pág.9
Micro perforaciones con láser de CO ₂	Pág.10
Deshidratación Osmótica y Ultrasonido.....	Pág.17
Proceso de liofilización con deshidratación osmótica y ultrasonido.....	Pág.18
Difusividad.....	Pág.19
Actividad de agua.....	Pág.20
Porosidad.....	Pág.21
Capitulo III: Resultados y comparación.....	Pág. 24
Conclusiones.....	Pág. 27
Bibliografía.....	Pág.28



Introducción

El proceso de liofilización es uno de los procesos más limpios en la conservación de productos biológicos, en él se aplican dos de los métodos más confiables de la conservación, el congelamiento y la deshidratación, sin en el requerimiento de conservantes o productos químicos, es el proceso más indicado para la preservación de frutas, peces, carnes, alimentos en general, así como también sueros, virus, células, etc. Los productos no se ven alterados sus propiedades y una vez rehidratados vuelven completamente a su estado anterior. Debido a que la gran mayoría del agua en estado líquido ha sido removida del producto y a la baja temperatura de la liofilización, la actividad microbiana se retarda considerablemente, dando un producto de alta calidad y sin la necesidad de realizar grandes inversiones en el almacenaje de los productos.

Ahora bien, pese a ser el proceso que almacena el producto con la mayor calidad, la liofilización también es conocida por ser un proceso, caro debido a la tecnología que se necesita, pero principalmente por tener grandes demandas de energía, esto debido a la difusión del vapor de agua a través de la capa seca exterior. Otro inconveniente de este proceso es que requiere también mucho tiempo, en comparación a otros procesos de conservación de la calidad.

La comunidad científica, en un esfuerzo por buscar formas de reducir tanto el tiempo, como la demanda de energía de este proceso, han surgido diversos pretratamientos al producto, con tal de reducir estos factores, entre los cuales las microperforaciones de laser de CO₂ surgen como una potencial solución.

En el presente documento, se detallan tres pretratamientos las microperforaciones, la deshidratación osmótica y el ultrasonido, que buscan mejorar el proceso de liofilización, ya sea reduciendo el tiempo de proceso, disminuyen la demanda energética o entregando una calidad y estabilidad aun mayor al producto final de la liofilización



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Capítulo I



Capítulo I: Fundamentos teóricos

1.1) Liofilización

Este se considera uno de los mejores métodos de secado, ya que conserva gran parte de las propiedades organolépticas y nutricionales de los productos biológicos. Los alimentos liofilizados se caracterizan por su baja actividad de agua, alta porosidad y estado vítreo. El proceso consiste principalmente en la congelación del alimento y la posterior deshidratación por sublimación. Debido a la ausencia de agua líquida y las bajas temperaturas requeridas para la liofilización, la mayor parte del deterioro y las reacciones microbiológicas se retardan dando como resultado un producto final de alta calidad. A pesar de sus múltiples ventajas, su uso es limitado, debido a la complejidad de su maquinaria, a su alto costo tanto en dinero, como en energía, esta última se relaciona con largos tiempos de secado. Para optimizar las condiciones en los procesos de deshidratación y disminuir los tiempos de proceso, se utilizan pretratamientos que permiten reducir el contenido de agua inicial del alimento, modifican los tejidos estructurales en la matriz sólida y generan efectos sobre la transferencia de masa.

Congelamiento: Durante la congelación del producto crecen cristales de hielo y sucede la crioconcentración. Es bien conocido que, al congelar alimentos, se suceden tres fases: enfriamiento del producto hasta el punto de congelación inicial; retiro de calor latente de cristalización; enfriamiento del producto hasta su temperatura final de almacenamiento. La segunda etapa es factor determinante de la eficiencia del proceso y de la calidad del producto congelado.

Secado primario: El agua se retira del producto mediante sublimación, en función de tres variables; temperatura, presión y tiempo de proceso. Durante este proceso, se debe tener consideración de la temperatura de transición vítrea (T_g) como indica la fig.1, que indica el punto donde el soluto crio concentrado separado de la fase congelada colapsa si se supera, generando un encogimiento o reducción del tamaño del producto. Esto se debe a que el fluido crioconcentrado comienza a disminuir su viscosidad al punto que se desplaza generando el colapso de las estructuras internas. De igual manera si existe agua líquida libre, esta se expande abruptamente generando daño al producto. Conocer estos parámetros permite generar un producto que mantenga su calidad.

Secado secundario: La desorción permite afinar la humedad final del producto, retirando lo último de agua ligada al interior de este. La mayor superficie específica permite obtener mayores flujos masicos en esta etapa y reducir los tiempos de proceso como indica la fig. 1. Si bien puede ocurrir un colapso del producto, la menor humedad en la que se encuentra aumenta el valor de la temperatura de transición vítrea dando más rango para el proceso.

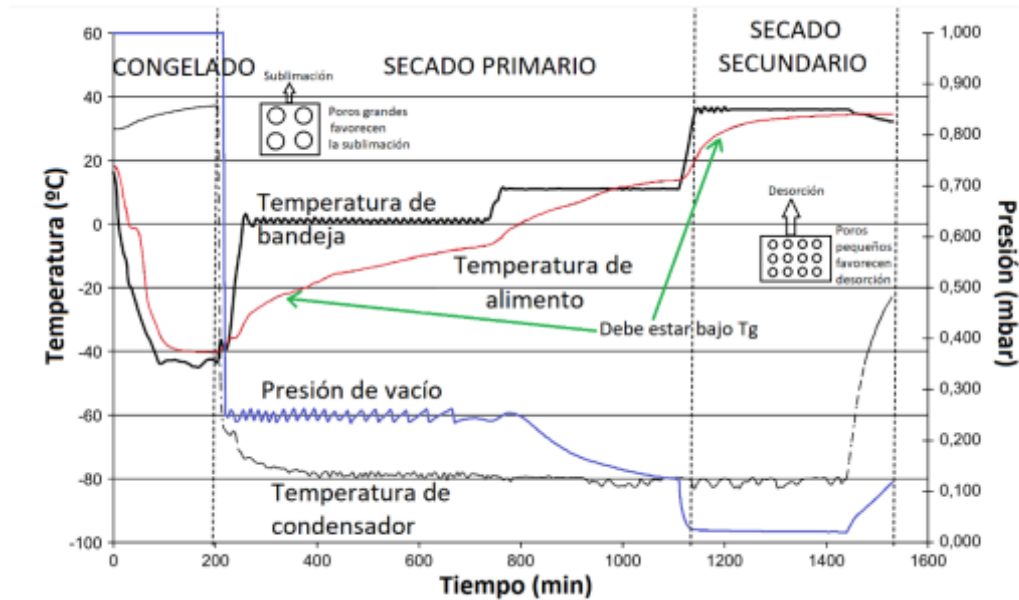


Figura-1: Proceso de liofilización el cual se lleva a cabo dentro del liofilizador.
(Babic, Cantalejo, & Arroqui, 2009)

1.2) Reducción del tiempo de proceso

La necesidad de reducir el secado primario en la liofilización es fundamental.

Una forma de lograr esto es encontrar el tamaño de cristal de hielo adecuado que combine entre facilitar el secado primario, al generar poros grandes y el secado secundario, al generar mayor superficie, facilitando la difusión como la desorción. Para ello se utiliza, por ejemplo, vibración ultrasónica, aditivos, electro-congelado, cambios de presión, inducción congelado superficial por vacío, entre otras cosas. La nucleación inducida por ultrasonido y el congelado superficial por vacío, si bien han mostrado una mejoría al generar cristales grandes que disminuyen el secado primario, no han logrado ser implementadas a escala piloto e industrial, debido a su gran complejidad técnica.

Mi análisis comparativo no está precisamente centrado en el proceso de liofilización, lo cual no por eso le quita un papel fundamental en este documento, sino que más bien está centrado en tres procesos de pretratamiento, los cuales son las microperforaciones de CO₂, ultrasonido, deshidratación osmótica, cuyo objetivo es mejorar de alguna forma la eficiencia en el proceso de liofilización, ya sea reducción del tiempo de proceso o el requerimiento energético, y cuya diferencia respecto a los demás métodos antes



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

mencionados, es que tienen potencial para ser aplicados a escala piloto e industrial. A continuación, se entrará en detalle de los pretratamientos antes mencionados:

Capitulo II

Capítulo II: Estudios de pretratamiento para la liofilización de productos comestibles

2.1) Microperforaciones con láser de CO₂:

Un láser es luz amplificada por emisión estimulada de radiación, que produce un haz coherente, monocromático y con una dirección específica que puede ser colimado en pequeños puntos, permitiendo generar una destrucción con gran precisión y con daño mínimo en el área circundante, se utiliza gas de CO₂ para mantener una longitud de onda específica. Esta tecnología a ha permitido transformar el procesamiento de materiales en varios campos debido a su precisión, seguridad y cuidado al medioambiente. Sin embargo, la industria de alimento no ha incorporado completamente esta tecnología. Se sugiere que la generación de microperforaciones aumente el coeficiente de difusividad efectiva y por ende disminuya el tiempo de liofilización.

Para el proceso de liofilización que toma elementos de distintos modelos de difusión y secado plantear y calcular el efecto que tendrían las perforaciones laser en el momento de secado en el tiempo de secado. Posteriormente se utiliza un gel en base de almidón como alimento modelo para realizar pruebas estandarizadas sobre el tiempo de secado primario de la liofilización, usando la temperatura experimental como dato de proceso, para luego comprar los tiempos experimentales con los obtenidos según el modelo.



Aplicación de microperforaciones utilizando laser de CO₂ en el proceso de liofilización de alimentos: efecto en el tiempo de secado primario. Jaime Salvador Ulloa Miranda. [Pág.25]

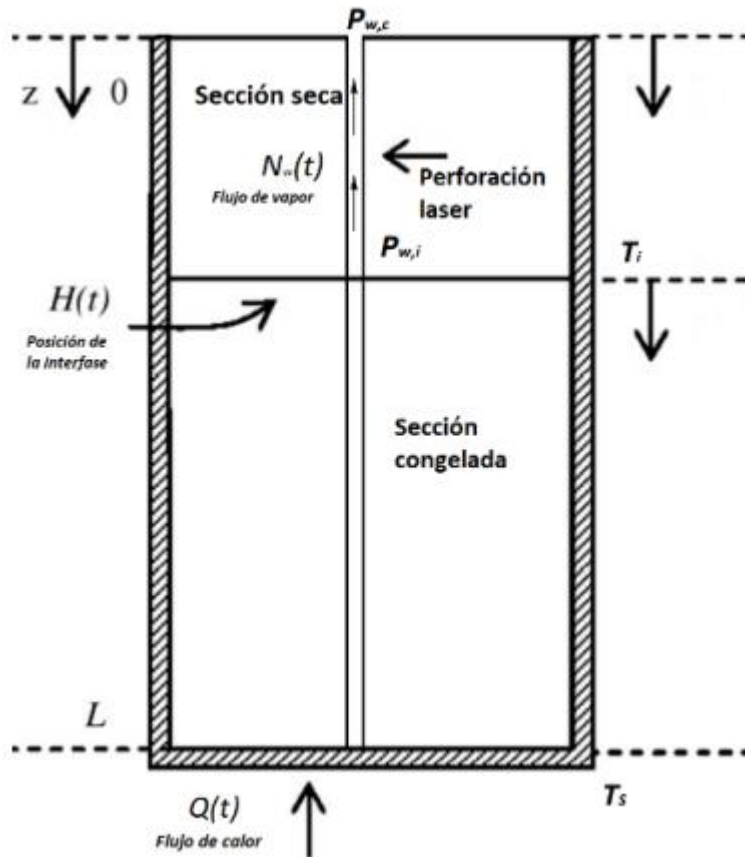


Figura-3: Efecto que tienen las microperforaciones en el flujo de vapor de agua sublimado en el proceso de la liofilización en el alimento. (Velardi & Barresi, 2008)

La liofilización se hizo con y sin sus lados sellados y a su vez, con y sin microperforaciones con silicona. Al promedio de cada liofilización se calculó el intervalo de confianza mediante t-student al 95% (Tabla 1). La presión de cada medición al realizar el ajuste es de 10 segundos, lo que se mantiene a lo largo de los experimentos. Esta diferencia no es considerada debido a que su magnitud es mucho menor al efecto de la dispersión de los experimentos y no produce un efecto significativo en los productos.



Experimento	Tiempo secado primario (h)
Sin microperforaciones y lados sellados con silicona	6,73 ±0,32
Sin microperforaciones y lados abiertos	5,16 ±0,15
Con microperforaciones y lados sellados con silicona	5,00 ±0,24
Con microperforaciones y lados abiertos	4,22 ±0,17

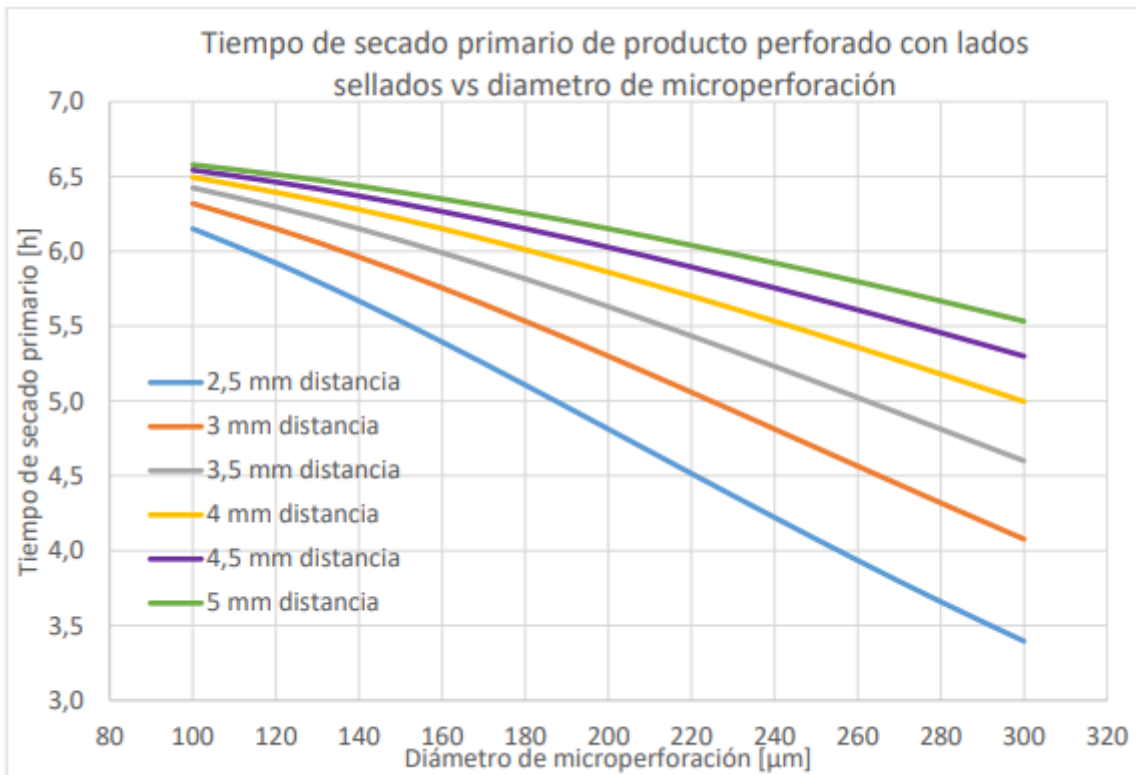
Aplicación de microperforaciones utilizando laser de CO₂ en el proceso de liofilización de alimentos: efecto en el tiempo de secado primario. Jaime Salvador Ulloa Miranda. [Pág.33]

Para los productos con sus lados sellados, las microperforaciones representan una reducción de 25,73% del tiempo de secado primario, mientras que, para los productos con sus lados abiertos, representan un 18,27% de reducción de tiempo de secado primario. La reducción de humedad durante el secado primario de la liofilización corresponde a un 92% del agua del producto. Para ambos casos la cantidad de agua retirada es consistente entre ambos.

	Humedad inicial (g _{agua} /g _{sólido})	Humedad inicial %(g _{agua} /g _{producto})	Humedad final (g _{agua} /g _{sólido})	Humedad final %(g _{agua} /g _{producto})	Porcentaje de agua retirada
Producto sin microperforaciones	1,016	50,31%	0,082	7,54%	91,95%
Producto con microperforaciones	1,030	50,73%	0,090	8,22%	91,29%

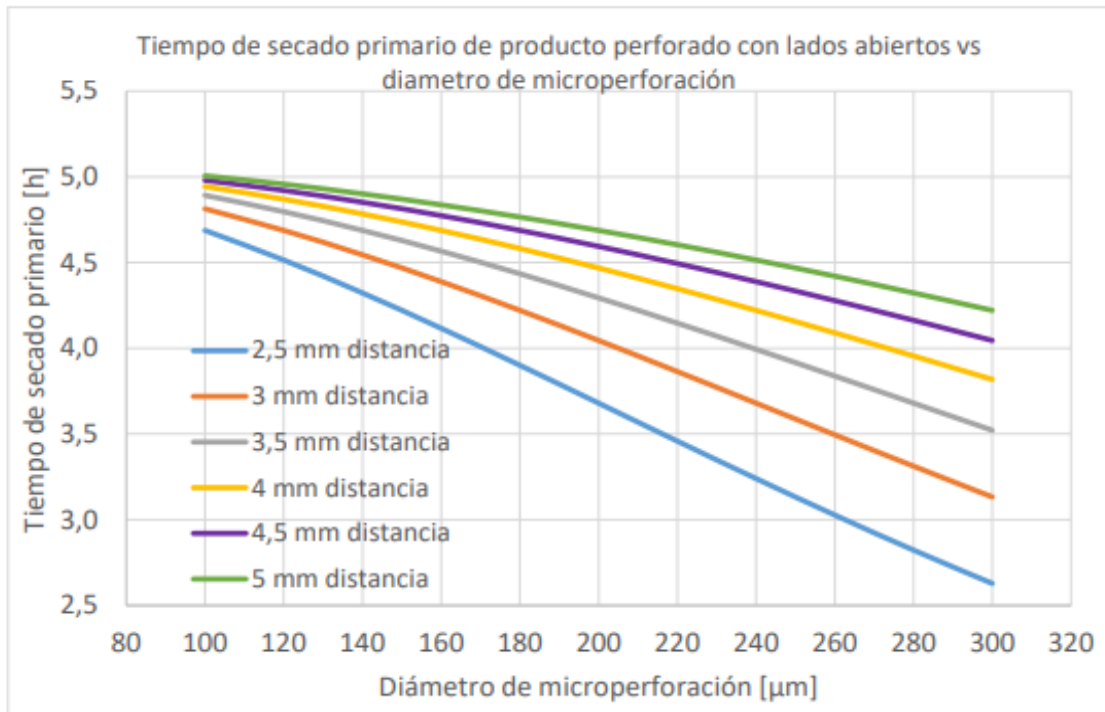
Jaime Salvador Ulloa Miranda. Aplicación de microperforaciones utilizando laser de CO₂ en el proceso de liofilización de alimentos: efecto en el tiempo de secado primario. [Pág.34]

Los efectos generales del arreglo de las microperforaciones según el modelo para alimentos sellados y abiertos muestran que, a mayor diámetro, el efecto de la distancia entre perforaciones se hace mayor.



Jaime Salvador Ulloa Miranda. Aplicación de microperforaciones utilizando laser de CO₂ en el proceso de liofilización de alimentos: efecto en el tiempo de secado primario. [Pág.37]

En este grafico se toman las muestras con microperforaciones y lados sellados, y se compara como el diámetro de las microperforaciones afecta en la velocidad de secado primario en la liofilización. Hay un claro aumento de velocidad de secado mientras menor sea el diámetro de las perforaciones, con una diferencia de aproximadamente 0,6 h, con respecto a un diámetro de perforación de 2,5mm de a una perforación de 5mm de distancia de diámetro.

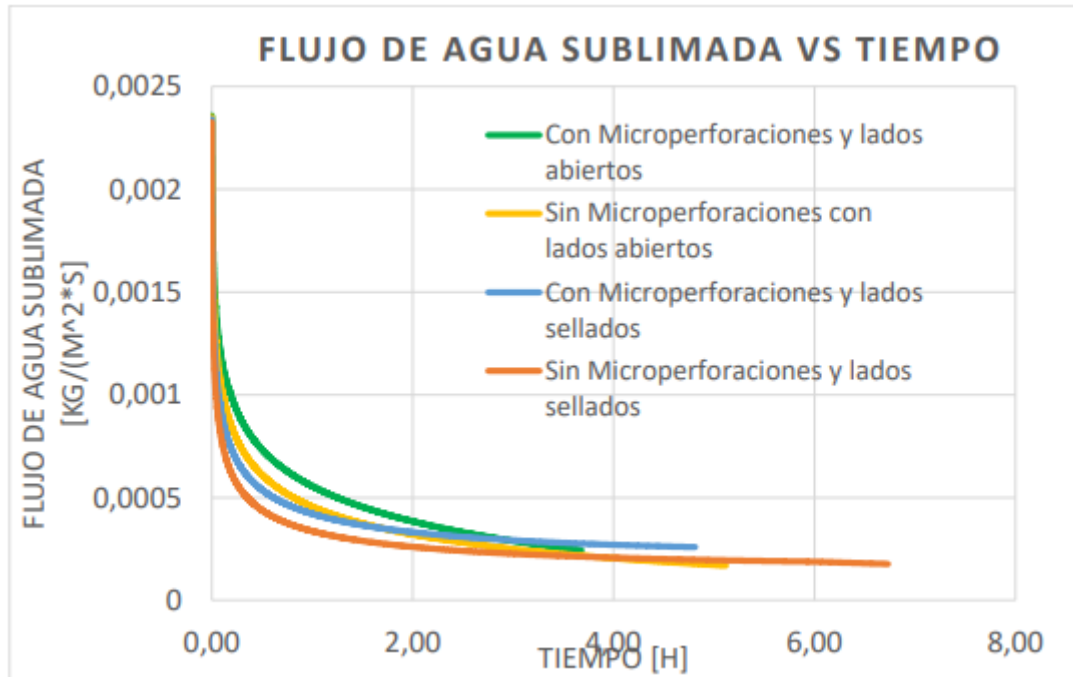


Jaime Salvador Ulloa Miranda. Aplicación de microperforaciones utilizando laser de CO₂ en el proceso de liofilización de alimentos: efecto en el tiempo de secado primario. [Pág.38]

El mismo análisis comparativo fue hecho en este gráfico con respecto al anterior, solo que esta vez, se toman las muestras con los lados sin sellar, nuevamente aquella que presenta el menor tiempo de secado es la muestra con una menor distancia de diámetro de la perforación

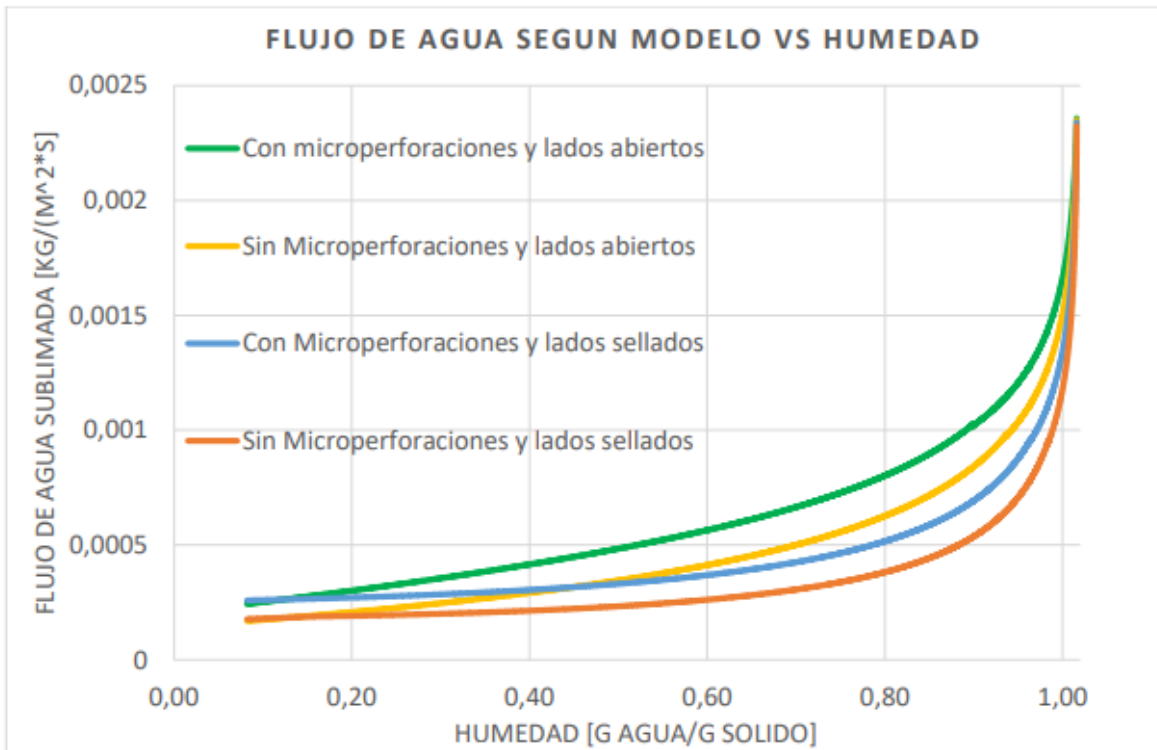
Los gráficos anteriores se constataron que, a menor distancia de diámetro de las perforaciones, menor es el tiempo de secado primario, para ambos casos tanto para lados sellados como sin sellar, esto puede deberse a que la velocidad del secado primario se beneficia más del número de perforaciones que del tamaño de estas, ya que a menor tamaño de la perforación mayor es el número de perforaciones que se pueden realizar en el mismo alimento.

El tipo de muestras que presentaron el menor tiempo de secado primario fueron las que tenían microperforaciones, con lados sin sellar, demorando entre aproximadamente 4,7 a 5,0 horas. Mientras que por otro lado las muestras con microperforaciones con lados sellados, tienen un tiempo de secado primario entre 6,1 a 6,6 horas aproximadamente.



Jaime Salvador Ulloa Miranda. Aplicación de microperforaciones utilizando laser de CO₂ en el proceso de liofilización de alimentos: efecto en el tiempo de secado primario. [Pág.38]

En este grafico se puede apreciar que las muestras con microperforaciones y sus lados abiertos, subliman la misma cantidad de agua en el menor tiempo con respecto a los demás tipos de muestras.



Jaime Salvador Ulloa Miranda. Aplicación de microperforaciones utilizando laser de CO₂ en el proceso de liofilización de alimentos: efecto en el tiempo de secado primario. [Pág.39]

El mayor flujo de agua lo presentan los productos con las microperforaciones, en especial aquellos con los lados abiertos



Tanto para la DO como para US, el alimento modelo consiste en rodajas de melón (Cucumis melo L.) variedad Cantalupe

2.2) Deshidratación osmótica:

La deshidratación osmótica es una técnica ampliamente utilizada como pretratamiento a procesos de secado, para reducir pérdidas de calidad y disminuir el tiempo de proceso, la deshidratación osmótica incluye dos tipos de transferencia de masa: la difusión del agua del alimento a la solución y la difusión de solutos de la solución de alimentos. La deshidratación se produce de forma natural, después de su inmersión en soluciones hipertónicas que presentan una alta presión osmótica y disminución de la actividad de agua como consecuencia de la diferencia de presiones. La diferencia de presión osmótica entre el alimento y la solución hipertónica, proporcionan la fuerza necesaria para el proceso de transferencia de masa, donde la estructura celular del alimento actúa como membrana semipermeable.

Se preparó una solución hipertónica de 45°Brix a 30°C aproximadamente, usando sacarosa comercial como soluto osmótico por su amplio uso en procesos de deshidratación osmótica y por su mayor peso molecular respecto a otros azúcares, lo que provoca mayores pérdidas de agua. La relación fruta – solución osmótica fue de 1:25, con el fin de asegurar una concentración constante de la solución durante el proceso osmótico. Las muestras se sumergieron en la solución y se agitaron a 740 rpm por medio de un agitador mecánico. Las muestras se retiraron de la solución osmótica en dos tiempos 60 min (deshidratación osmótica 60min) y 90 min (deshidratación osmótica 90min) y se lavaron inmediatamente con agua destilada para retirar la solución osmótica remanente en la superficie de las muestras, posteriormente se secaron con papel absorbente para su posterior liofilización.

2.3) Pretratamiento con ultrasonido:

Las US son recientemente utilizadas como pretratamiento a diversos procesos, que corresponden a una tecnología emergente que compite con las tecnologías convencionales en el procesamiento de alimentos. Las fuerzas involucradas en este mecanismo pueden ser más altas que la tensión superficial, lo que mantiene la humedad dentro de los capilares de la fruta creando canales microscópicos que podrían facilitar la eliminación de humedad. En medio líquido, la sonicación causa cavitación, que consiste en la formación de burbujas en el líquido, que pueden colapsar explosivamente y generar presión localizada. Esta técnica se ha utilizado como pretratamiento al secado dado que provoca cambios en la estructura y acelera la transferencia de masa debido a los canales generados en la matriz del producto.



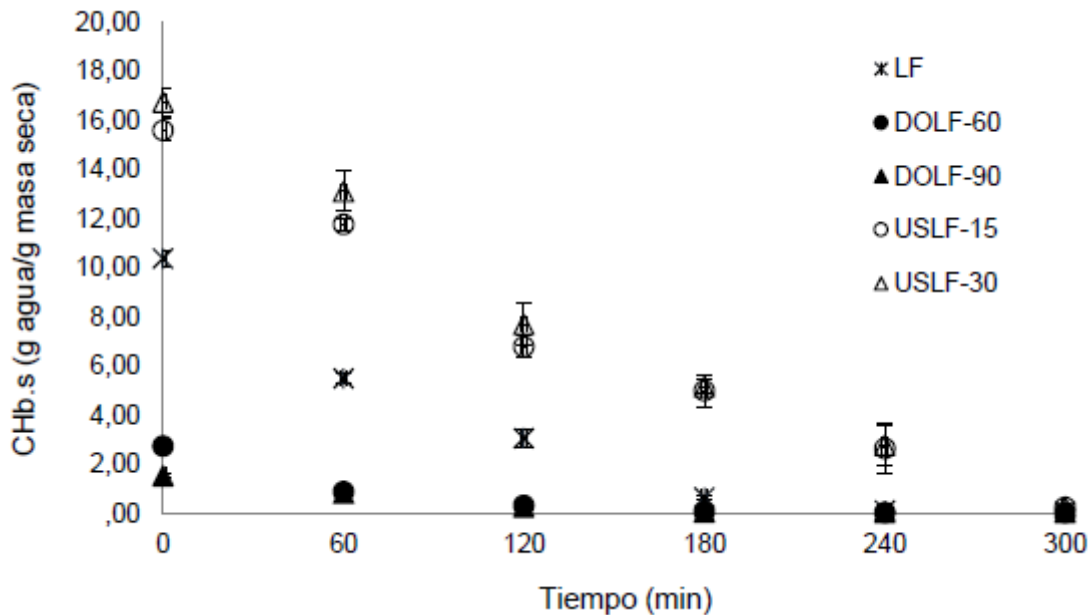
Las muestras se sumergieron en agua destilada a 25°C en un recipiente de vidrio, la relación en peso fruta – agua fue de 1:4. Estos recipientes se ubicaron en el equipo de ultrasonido que consiste en un baño de acero inoxidable, con panel de control de frecuencia, temperatura y tiempo, las muestras se sometieron a ondas de frecuencia 25 KHz en dos tiempos de procesos 15 min y 30 min. Posteriormente, las muestras pretratadas con ultrasonido se colocaron sobre papel absorbente para retirar el exceso de agua y se sometieron al proceso de liofilización.

2.4) Proceso de liofilización con pretratamientos de deshidratación osmótica y ultrasonido

La cantidad de humedad de la fruta fresca sin los pretratamientos de deshidratación osmótica y ultrasonido fue de 10.397 ± 0.332 g agua/g, pero al aplicar estos pretratamientos previos a la liofilización las muestras alcanzaron valores de 2.763 ± 0.126 , 1.551 ± 0.097 , 15.608 ± 0.443 y $16.768 \pm 0,586$ g agua/g m.s. en deshidratación osmótica en 60 minutos, deshidratación osmótica 90 minutos, ultrasonido de 15 minutos y ultrasonido de 30 minutos respectivamente. En estos resultados se puede observar que en deshidratación osmótica se generó una mayor pérdida de agua, mientras que con US esta por el contrario incremento el contenido de agua, con respecto a la muestra de control, o sea la muestra a la cual no se le aplicó ningún pretratamiento. La pérdida y ganancia de agua se debe al gradiente de concentraciones entre la fruta y el medio líquido. Con la deshidratación osmótica, esto consiste en que se produce una difusión de agua desde la fruta hacia el medio hipertónico en el cual está sumergida, mientras que al mismo tiempo se produce una difusión de soluto desde el medio hacia la fruta. Mientras que con ultrasonido se favorece la transferencia de agua desde el medio líquido de la sonicación hacia la fruta debido a la entrada de agua durante el tiempo de inmersión de 15 y 30 min. Esto es algo esperable en el tratamiento con ultrasonido, ya que se espera que toda esta agua adicional absorbida por la fruta, pueda retirarse con mayor facilidad.

En la tabla 1 se presentan las curvas de secado de muestras de melón por liofilización. Los resultados mostraron que la pérdida de agua se incrementó con el tiempo de secado. De acuerdo con el tiempo de varianza, el tipo de pretratamiento, el tiempo de deshidratación osmótica y el tiempo de aplicación de ultrasonido presentaron un efecto significativo sobre la fruta. Se evidenció que las muestras liofilizadas con pretratamientos osmóticos de 60 y 90 minutos presentaron menores tiempos de secado para alcanzar un nivel de humedad específico, siendo el pretratamiento de deshidratación osmótica de 90 minutos el de menor tiempo. Para alcanzar una cantidad de humedad aproximada del 10%, los tratamientos de deshidratación osmótica de 60 y 90 minutos requieren respectivamente 179 y 174 min,

mientras que la muestra de control a la cual solo se le hizo el proceso de liofilización y los tratados con ultrasonido superan los 240 min.



Alfredo A. Ayala Aponte, Esmeralda S. Morquera Vivas, Liliana Serna Cock. *Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (Cucumis melo L.)*

El resultado representado en este, se asocia al hecho de la menor cantidad de agua contenida en las muestras de fruta en la deshidratación osmótica, con respecto a la muestra de control y a las muestras de ultrasonido. En el gráfico queda evidenciado como ya a partir de los 120 minutos del proceso de la liofilización, la cantidad de humedad contenida en las muestras de deshidratación osmótica era mínima.

2.5) Difusividad (D_{eff}):

Las muestras de ultrasonido presentaron valores menores en D_{eff} , resultado atribuido a la dificultad de sublimar el hielo en los posibles cambios en la estructura de la matriz con la sonicación, como se mencionó anteriormente. Al comparar los tratamientos de deshidratación osmótica con el tratamiento de control, se presentó menor difusividad en las muestras tratadas osmóticamente, este resultado puede estar asociado a la mayor ganancia de azúcar que puede generar una barrera en la superficie de la fruta y ocasionar una alta resistencia a la difusión de vapor de agua durante la sublimación. En la siguiente tabla se entra en detalle con los valores de difusividad de la muestra de control, las muestras



liofilizadas pretratadas con deshidratación osmótica y lo mismo con las muestras pretratadas con ultrasonido.

<i>Tratamiento</i>	<i>D_{eff} (m²/s)</i>
LF ^a	1.904E-09
DOLF-60 ^a	1.776E-09
DOLF-90 ^b	1.440E-09
USLF-15 ^c	8.000E-10
USLF-30 ^c	8.000E-10

*Alfredo A. Ayala Aponte, Esmeralda S. Morquera Vivas, Liliana Serna Cock.
Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón
(Cucumis melo L.).*

2.6) Actividad de agua

La actividad de agua, es la humedad en equilibrio de un producto, determinada por la presión parcial del vapor de agua en su superficie. Depende de la composición, la temperatura y el contenido de agua del producto, se puede definir como la cantidad de agua disponible en el producto para el crecimiento microbiano, ya que los microbios necesitan de cierta cantidad de agua para vivir, crecer y multiplicarse. Los valores de actividad de agua están entre 0 y 1 y mientras menor sea este valor, ya que esto quiere decir que menor será la cantidad de agua para la proliferación de microorganismos y más estable será el producto

La actividad de agua de las muestras en estado fresco fue de 0.980 ± 0.014 . En la tabla 3 se muestran los valores de a_w al final del proceso de liofilización (300min). Se observa que todos los tratamientos mostraron valores inferiores de actividad de agua de 0.55, este es un parámetro muy importante, ya que este indica a un valor igual o inferior a este, el producto es estable ante el ataque de microorganismos, ya que presenta un valor de actividad de agua menor a 0.6, con valores de actividad de agua entre 0.2 y 0.4 garantizan la estabilidad del producto en el almacenamiento disminuyendo las reacciones de pardeamiento, oxidación hidrolítica, autooxidación y actividad enzimática.



Tratamiento	a_w (300 min)
LF ^a	0,399±0.003
DOLF-60 ^a	0,384±0.001
DOLF-90 ^a	0.363±0.006
USLF-15 ^b	0,482±0.004
USLF-30 ^b	0,449±0.001

Alfredo A. Ayala Aponte, Esmeralda S. Morquera Vivas, Liliana Serna Cock.
Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (Cucumis melo L.).

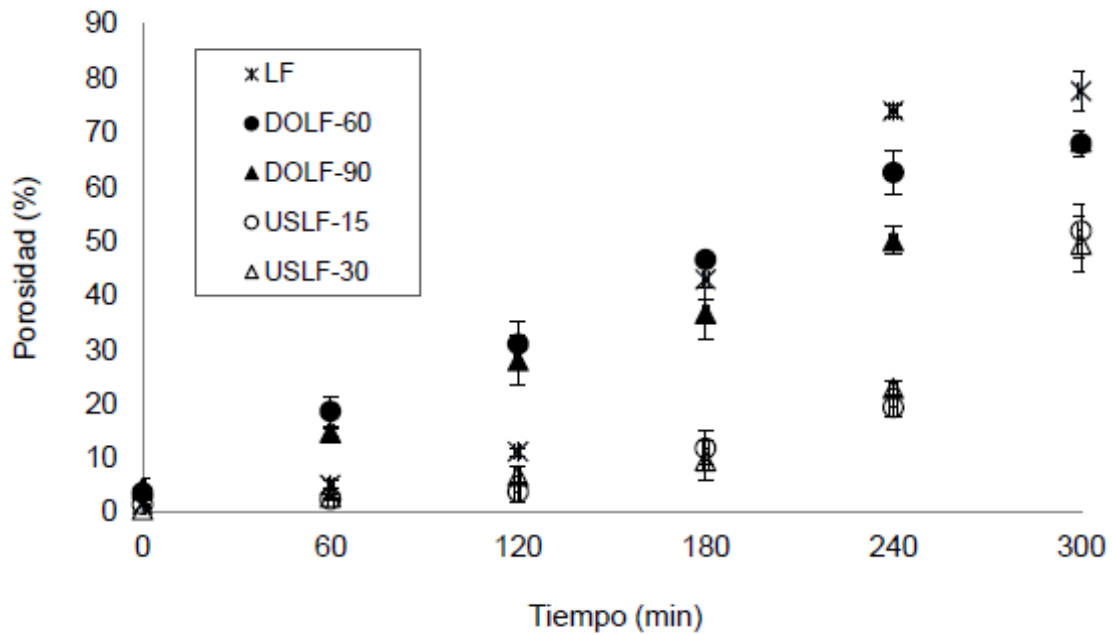
En esta tabla se muestra que la actividad de agua de todas las muestras ya sea con pretratamiento de hidratación osmótica, ultrasonido o sin ninguno de estos anteriores, presentaron un valor positivo de este parámetro. Aquellas muestras tratadas con hidratación osmótica fueron las que presentaron mejores resultados de actividad de agua.

2.7) Porosidad

La fig. 3 muestra los cambios de la porosidad durante el proceso de liofilización. El valor de porosidad se incrementó en todos los tratamientos durante el tiempo de secado, asociado a la eliminación del agua, dejando espacios vacíos internos entre capilares y entre estructuras celulares de la matriz de la fruta. La microestructura de los alimentos es un parámetro clave para comprender las propiedades y la estabilidad de los alimentos.

Al final del proceso (300min,) sin embargo, el tiempo de deshidratación osmótica y del ultrasonido no influyeron significativamente sobre la porosidad. Al final del secado se encontraron valores de porosidad de 77.703 ± 3.527 , 67.973 ± 2.274 , 68.340 ± 0.570 , 51.906 ± 4.814 , $49.458 \pm 4,975\%$, para la muestra sin pretratamientos, para las muestras pretratadas con deshidratación osmótica 30 y 90 minutos, para las muestras pretratadas con ultrasonido 15 y 30 minutos, respectivamente. Con respecto a las muestras pretratadas con deshidratación osmótica, este comportamiento puede deberse a la mayor presencia de soluto sólido, lo cual puede haber ocasionado que los poros externos se hayan sobre saturado impidiendo la formación de poros internos. Por otro lado respecto a las muestras pretratadas con ultrasonido, es posible que la formación de microcanales en la matriz de la fruta se hayan

formado tamaños de cristales más pequeños durante la congelación y por ende menor porosidad.



Alfredo A. Ayala Aponte, Esmeralda S. Morquera Vivas, Liliana Serna Cock. Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (Cucumis melo L.).

Se concluye entonces que tanto la deshidratación osmótica como el ultrasonido no tienen un efecto positivo sobre la porosidad, sobre todo al final del proceso de la liofilización.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Capitulo III



Capítulo III: Tabla comparativa pretratamientos microperforaciones, deshidratación osmótica y ultrasonido

El experimento de las microperforaciones se hizo en base a un alimento modelo en base a almidón (fig.2).

La deshidratación osmótica y el ultrasonido, como muestra se utilizó rodajas de melón variedad Cantalupe.

	Microperforaciones	D. osmótica		Ultrasonido	
		60 (min)	90 (min)	15 (min)	30 (min)
C. humedad (%)	8,22	6,6	6,3	27,4	27,7
Porosidad (%)	Sin determinar	67,973	68,34	51,906	49,458
R. tiempo de liofilización (hrs)	2,51	6	6	6	6
Actividad del agua	Sin determinar	0,384	0,363	0,482	0,449
Difusividad (m ² /s)	Sin determinar	1,78E-09	1,44E-09	8,00E-10	8,00E-10

(Aplicación de microperforaciones utilizando laser de Co₂ en el proceso de liofilización de alimentos: efecto en el tiempo de secado primario. Jaime Salvador Ulloa Miranda).

(Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón [Cucumis melo L.]

La porosidad viene del latín poros, cuyo significado es “agujero pequeño”. Este parámetro se puede aplicar a cualquier superficie, como, por ejemplo, la piel, una piedra, etc.

Aunque si bien en las **microperforaciones** no hay una cifra directa del efecto que tienen estas en la porosidad, este parámetro debería aumentar, ya que se incrementa el número de poros en el producto.

Por otro lado, en los pretratamientos de **deshidratación osmótica** y **ultrasonido**, este parámetro disminuye respecto de una liofilización común 77.703, esto puede deberse a que en la deshidratación osmótica, debido a la mayor presencia de soluto dentro de la muestra, con lo cual algunos poros quedaron obstruidos. Por su parte el ultrasonido, quizás de alguna forma la formación de microcanales al interior de la muestra afecto negativamente a la porosidad.

La difusividad en los pretratamientos de deshidratación osmótica y ultrasonido se midieron por medio de la solución analítica de la segunda ley de Fick. En el experimento de las microperforaciones, la difusividad efectiva se calculó, combinando de difusividad de Knudsen con la difusividad mixta y a estas se le agrego el efecto de producirían las microperforaciones.



En la tabla se muestran distintos parámetros los cuales tienen directa relación a la hora de saber que tan efectivo es el pretratamiento en la mejora de la liofilización. Cabe destacar que estos valores son aproximados.

Se puede apreciar que las microperforaciones se centran casi completamente en la una reducción considerable del tiempo de proceso de la liofilización. Mientras que por otro lado la deshidratación osmótica y el ultrasonido, están más centrados en la mejora de la calidad final del producto.

Otro detalle importante es que el pretratamiento de ultrasonido, no dio resultados satisfactorios en las muestras finales de la liofilización, sobre todo en el parámetro del contenido de humedad. Ya que generalmente se espera que para el final del proceso de liofilización el producto se encuentre con un porcentaje de humedad inferior al 10%



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Capitulo IV: Conclusiones y Bibliografía



Conclusiones

Se puede concluir de los estudios y de la tabla comparativa que:

Las microperforaciones están centradas casi puramente en la disminución del tiempo de proceso de la liofilización, mientras que la deshidratación osmótica y el ultrasonido no afectan la duración del proceso

La liofilización con pretratamiento deshidratación osmótica, presenta la menor cantidad de humedad contenida en el producto

El ultrasonido no presenta una mejora en el proceso de liofilización, ya que la humedad que contiene el producto al final del proceso de liofilización es muy superior a los estándares normales (10% de humedad final, por lo menos), este término con una humedad del 27,4% para ultrasonido de 15 minutos y 27,7% para ultrasonido de 30 minutos

El producto obtenido con pretratamiento de deshidratación osmótica y ultrasonido, presenta una menor actividad de agua que un producto que solo a sido sometido al proceso de liofilización, por ende, presenta una mayor estabilidad al ataque de microorganismos y otros efectos de degradación, y en el almacenaje.



Bibliografía

Alfredo A. Ayala Aponte, Esmeralda S. Morquera Vivas, Liliana Serna Cock. Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (Cucumis melo L.). [En línea]. Junio 2019.

<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/SEDE%20CONCEPCION%20-%20NORMATIVA%20TRABAJO%20DE%20TITULO%20TU%20E%20INGENIERIAS.pdf>

Jaime Salvador Ulloa Miranda. Aplicación de microperforaciones utilizando laser de CO₂ en el proceso de liofilización de alimentos: efecto en el tiempo de secado primario.

(Ingeniero Civil Químico y Magister en Ciencias de la Ingeniería Química). Valparaíso-Chile. Universidad Técnica Federico Santa María. 2018. 43 Páginas.

Laboratorio Análisis Veterinario y Agroalimentario. Actividad de agua en los alimentos.

[En línea]. <<https://convet.net/actividad-de-agua-en-los-alimentos/>>

Significados. Significado de Porosidad. [En Línea].

<<https://www.significados.com/porosidad/>>