

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAISO- CHILE



DESARROLLO DE UN SNACK DE MANZANA DESHIDRATADA PROBIÓTICO MEDIANTE TECNOLOGÍA DE VENTANA REFRACTIVA(RWTH) Y LIOFILIZACIÓN

PAULA FRANCISCA GAYOSO ALVEAR
MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE
INGENIERA CIVIL QUÍMICA

PROFESOR GUIA: Ms. Helena Núñez

PROFESOR CO-REFERENTE: Dr. Cristian Ramírez

Valparaíso, Octubre 2023

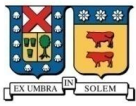
Resumen

Los alimentos funcionales, son aquellos que permiten cumplir con la nutrición además de ejercer efectos beneficios en la salud. Dentro de estos se encuentran los probióticos que corresponden a bacterias beneficiosas para el organismo, los cuales se comercializan en Chile por medio de productos lácteos y farmacéuticos. El secado en ventana refractiva corresponde a una tecnología innovadora que utiliza agua como principal medio para la transferencia de calor por conducción y radiación caracterizándose por una disminución en los tiempos de secado. Por otro lado, la liofilización, es un proceso en el cual el agua que se encuentra en forma de hielo se elimina de un material por sublimación a baja presión y permite la obtención de productos de mayor calidad.

En la presente investigación se evaluó el desarrollo de un snack de manzana con características probióticas deshidratado en ventana refractiva y se comparó con procesos de secado convencional y liofilizado, para esto se impregnan snacks de manzanas de 4 cm de diámetro por 3 mm de espesor y peso de 3.610 ± 0.250 g, con una solución de jugo inoculado con *Lactobacillus Rhamnosus* GG, realizando el secado en ventana refractiva y estufa convectiva a 45°C y así como la liofilización a -30°C . Además, se realiza el recuento de los microorganismos, y la medición de actividad de agua, humedad, sólidos solubles y color.

En el recuento de microorganismos se obtiene que en la manzana impregnada existen 10^7 UFC/g y por otro lado en las manzanas deshidratadas en ventana refractiva es de 10^6 UFC/g mientras que para el caso de la liofilización es de 10^7 , obteniéndose un producto probiótico para ambos casos, sin embargo, en el secado convencional se obtuvo de 10^5 UFC/g lo que no permite la clasificación de probiótico. Los tiempos de secado corresponden a 210 minutos para el caso de ventana refractiva, 330 minutos en el secado convencional, mientras que el proceso de liofilización se lleva a cabo en 24 horas. El menor valor de diferencia de color ($\Delta E=4.60$) al comparar con el liofilizado se observó en el caso de ventana refractiva. Asimismo, se observa un aumento en los sólidos solubles en el proceso de impregnación, sin embargo, este valor no presenta una diferencia significativa con respecto a la manzana escaldada.

Respecto a la determinación del coeficiente de difusión del proceso, se observó un mejor ajuste al modelo de difusión anómala, con un valor de $7.570 \pm 9.860 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}^\alpha$ en el secado convencional ($R^2=0,961$) y $2.122 \pm 2.390 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}^\alpha$ para el caso de la ventana refractiva ($R^2=0,978$). Además de valores de α de 2.088 ± 0.377 y 1.965 ± 0.197 respectivamente, lo que permite clasificar al proceso como un proceso superdifusivo.



Finalmente se obtuvo que es posible el desarrollo del snack de manzana probiótico, sin embargo, se debe evaluar otras propiedades como polifenoles y actividad antioxidante con el fin de evaluar el método de secado más óptimo, así como también evaluar la aceptabilidad de esta por medio de las propiedades organolépticas.



Índice

Resumen Ejecutivo	1
Índice de Tablas	4
Índice de Figuras	5
1 Introducción	6
1.1 Objetivo General.....	8
1.2 Objetivos Específicos.....	8
2 Antecedentes técnicos.....	9
2.1 Probióticos.....	9
2.2 Materia Prima	10
2.3 Mercado.....	11
2.4 Impregnación al Vacío	12
2.5 Deshidratación.....	14
2.6 Secado Convencional o por aire caliente	15
2.7 Secado a Ventana Refractiva	16
2.8 Liofilización	18
2.8.1 Congelación.....	20
2.8.2 Secado Primario	21
2.8.3 Secado Secundario	21
2.9 Transferencia de Calor y Masa en Proceso de Secado	22
2.10 Mecanismos de difusión	23
2.11 Difusión anómala	24
2.12 Parámetros de calidad.	25
2.12.1 Actividad de agua	25
2.12.2 Color.....	25
2.12.3 Sólidos Solubles	26
3 Materiales y Métodos.....	27
3.1 Materia Prima	27
3.2 Solución de Impregnación.	27
3.3 Impregnación a Vacío.....	27
3.4 Secado en Ventana Refractiva	28
3.5 Deshidratación en Secado Convencional.....	29



3.6	Liofilización	29
3.7	Determinación de Características Fisicoquímicas.....	29
3.7.1	Humedad.....	29
3.7.2	Actividad de agua	30
3.7.3	Color.....	30
3.7.4	Solidos Solubles.....	30
3.7.5	Recuento de Microorganismos	30
3.8	Cinética de secado y determinación de coeficiente de difusión.....	31
3.9	Análisis Estadístico.....	32
4	Resultados y Discusión.....	32
4.1	Recuento de probiótico	32
4.2	Determinación de propiedades	33
4.2.1	Actividad de agua	33
4.2.2	Color.....	34
4.2.3	Humedad.....	36
4.2.4	Solidos Solubles	36
4.3	Cinética de Secado.....	37
4.4	Determinación Coeficiente de Difusión	38
5	Conclusiones y Recomendaciones	42
6	Referencias	43
7	ANEXOS.....	54

Índice de Tablas

Tabla 1. Ventajas y Desventajas Liofilización.....	22
Tabla 2. Resultados Recuentos en Manzanas.....	33
Tabla 3. Resultados actividad de agua	33
Tabla 4. Medición parámetros de color	34
Tabla 5. Resultados de Humedad.....	36
Tabla 6. Resultados determinación de solidos solubles	36
Tabla 7. Ajuste modelo Ley de Fick y difusión anómala Secado en Ventana Refractiva ...	38
Tabla 8. Ajuste modelo Ley de Fick y difusión anómala Secado Convencional.....	39
Tabla 9. Resultados mediciones Actividad de agua	54
Tabla 10. Resultados Humedad.....	54
Tabla 11. Cálculos solidos Solubles.....	54
Tabla 12. Resultados medición de color	55

Tabla 13. Datos Cinética de difusión VR EXP 1	56
Tabla 14. Datos Cinética de difusión VR EXP 2	56
Tabla 15-. Datos Cinética de difusión SC.....	57
Tabla 16. Recuento solución e Impregnación	57
Tabla 17. Recuentos Manzanas deshidratadas	57

Índice de Figuras

Figura 1. Lactobacillus Rhamnosus GG mirado en Microscopio.	9
Figura 2. Manzana Granny Smith.	10
Figura 3. Diagrama esquemático proceso VI.	13
Figura 4. Esquema Transferencia de agua debido al gradiente de a_w	14
Figura 5. Esquema Horno o estufa convectiva.	16
Figura 6. Esquema Ventana Refractiva.	17
Figura 7. Ventana Refractiva proceso continuo.	17
Figura 8. Esquema Transferencia de calor y masa en Liofilización.	20
Figura 9. Muestra de Manzana Cortada.	27
Figura 10. Sistema para la impregnación	28
Figura 11. Lote de manzanas en Ventana Refractiva.	29
Figura 12. Placas obtenidas en el recuento	31
Figura 13. Muestras de manzanas deshidratadas en VR; SC y liofilizada	35
Figura 14. Curva Velocidad de secado VR	37
Figura 15. Curva velocidad de secado SC	38
Figura 16. Cinética de Difusión VR	39
Figura 17. Cinética de difusión SC	40

1 Introducción

Un alimento funcional se define como todo alimento que además de poseer un valor nutritivo contiene componentes biológicamente activos que aportan un efecto beneficioso para la salud y que reducen el riesgo de contraer determinadas enfermedades. Por otro lado, un alimento fortificado es aquel al cual se les añade un compuesto del cual se presenta deficiencia en la población. (WHO, 2023). El mercado de estos alimentos ha ido en aumento en los últimos años, sobre todo en los que hacen relación con la salud gastrointestinal, esto debido a que la flora microbiana es considerada un factor importante en el cuidado de la salud, es aquí donde los probióticos juegan un papel decisivo a través de sus propiedades. (Manzano A et al., 2012).

Los probióticos se definen como microorganismos vivos que cuando se administran en las cantidades adecuadas generan un beneficio para el huésped, mejorando su equilibrio microbiano intestinal. Las bacterias probióticas han sido utilizadas desde más de 20 años (Krasaekoopt & Suthanwong, 2007) y sus beneficios incluyen además de controlar la infección intestinal, controlar los niveles de colesterol, influyen beneficiosamente en el sistema inmunológico, mejoran la utilización de la lactosa y posee una incipiente actividad anticancerígena (Singh et al., 2022). La cantidad adecuada para tener los efectos óptimos es de 10^7 UFC/ml, actualmente la mayoría de los alimentos probióticos corresponden a productos lácteos y fermentados, sin embargo, debido a varios factores como la intolerancia a la lactosa entre otros, ha aumentado la demanda de alimentos probióticos no lácteos.

La deshidratación de alimentos es un proceso que consiste en la reducción de la actividad de agua de un alimento, corresponde a una de las técnicas más utilizadas y antiguas en la conservación de alimentos, esto debido que, al reducir la humedad, disminuye la cantidad de microorganismos que crecen, así como su deterioro, aumentando su vida útil. Sin embargo, esta puede afectar las propiedades fisicoquímicas del alimento debido a las altas temperaturas, por lo que se han investigado distintas técnicas que ayuden a reducir estas. (Putranto & Chen, 2019).

La impregnación se utiliza como única o primera etapa en distintos procesos de enriquecimiento, siendo un proceso típico para aumentar la cantidad de un compuesto o una mezcla de estos en una matriz alimentaria permitiendo así desarrollar un alimento funcional o aumentar la vida útil del producto y sus distintas propiedades. Para la determinación del nivel de impregnación debe tenerse en cuenta el proceso de desgasificación que depende a su vez de la presión, además pueden influir la distribución del tamaño, la morfología y la porosidad del producto. (Betoret et al., 2015). Varias investigaciones han usado esta tecnología en frutas, ya que ayuda a mejorar la calidad luego de la impregnación afectando mínimamente

la estructura (Zhao & Xie, 2004), tal como lo comprobó Mújica-Paz et al. (2003) que evaluó la impregnación de distintas frutas con sacarosa y Betoret et al., (2003) que realizó la impregnación de rodajas de manzanas con probióticos.

El secado por ventana refractiva es una técnica que utiliza agua como principal medio de transferencia de calor, a través del paso de la radiación por medio de una película de Mylar donde se encuentra el alimento, aumentando la rapidez de deshidratación, ayudando así a una mayor conservación de las propiedades del alimento y una mejora en la eficiencia energética. Se ha utilizado esta tecnología en el secado de frutas como mangos (Ochoa-Martínez et al., 2012) y de rodajas de manzanas (Rajoriya et al., 2019), obteniéndose una mayor velocidad de secado y reducción en los tiempos de proceso en ambos casos.

La liofilización es un proceso en el cual el agua que se encuentra en forma de hielo se elimina de un material por sublimación a baja presión. Este proceso posee aplicaciones en la producción de alimentos y productos farmacéuticos de alta calidad siendo ampliamente utilizada debido a la congelación del material previo genera la inhibición de procesos químico, bioquímicos y microbiológicos, lo que ayuda a la conservación de las propiedades, nutrientes y de la calidad (Nowak & Jakubczyk, 2020). Sin embargo, presenta desventajas como altos costos y una duración prolongada del proceso. Se ha llevado a cabo la liofilización de frutas tal como en Marques et al., (2006), donde se liofilizaron piña, guayaba, mango y otras frutas tropicales verificándose la preservación de la calidad del producto. Por otro lado, Cui et al., (2018) llevó a cabo la liofilización de snack de manzanas obteniendo una preservación de bacterias probióticas superior al proceso de secado convencional.

1.1 Objetivo General

Desarrollar un snack de manzana deshidratado con características probióticas mediante tecnologías de Secado Convencional, Ventana Refractiva (RW™) y liofilización.

1.2 Objetivos Específicos

- Diseñar las condiciones de operación (solución de impregnación, presión de vacío, tiempo) para optimizar la retención de compuestos probióticos en la rodaja de manzana.
- Evaluar la cinética y tiempo de secado de las muestras mediante secado convencional y ventana refractiva
- Determinar el efecto del proceso de secado en la viabilidad de los probióticos
- Evaluar propiedades fisicoquímicas de las muestras de snack de manzana deshidratadas.
- Comparar los resultados obtenido mediante la liofilización con procesos de secado convencional y ventana refractiva
- Determinar el coeficiente de difusión efectivo mediante modelación de Fick y de difusión anómala.

2 Antecedentes técnicos

2.1 Probióticos

Los probióticos según la Organización Mundial de la Salud se definen como aquellos microorganismos vivos que confieren un beneficio a la salud del consumidor. Estos pueden agregarse a distintos tipos de producto como alimentos y suplementos dietéticos. Las especies más comunes utilizadas son los *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Los *Lactobacillus* se encuentran dentro de las bacterias ácido lácticas, las cuales han sido para la utilizadas para la conservación de alimentos por fermentación durante años, pudiendo tener una doble función, como agente para la fermentación y confiriendo beneficios a la salud (WGO,2011). La dosis de que deben contener los alimentos, según la Resolución N° 860/17 del Ministerio de Salud, debe ser de al menos 10^7 UFC (unidades Formadoras de Colonias) por gramo de producto terminado.

Lactobacillus Rhamnosus GG (LGG) corresponde a una bacteria del tipo bacilo gram positivo (Figura 1), fue la primera cepa del género *Lactobacillus* en ser patentada en 1989 debido a su capacidad de sobrevivir y proliferar en el ácido estomacal y en la bilis, así como también para adherirse a las células epiteliales intestinales humanas o enterocitos Por otro lado son capaces de producir una sustancia microbiana activa contra diversas bacterias patógenas (Doron et al., 2005) y generan diversos efectos beneficios para la salud, por lo que corresponde a unos de los probióticos más estudiados y utilizados (Segers & Lebeer, 2014).

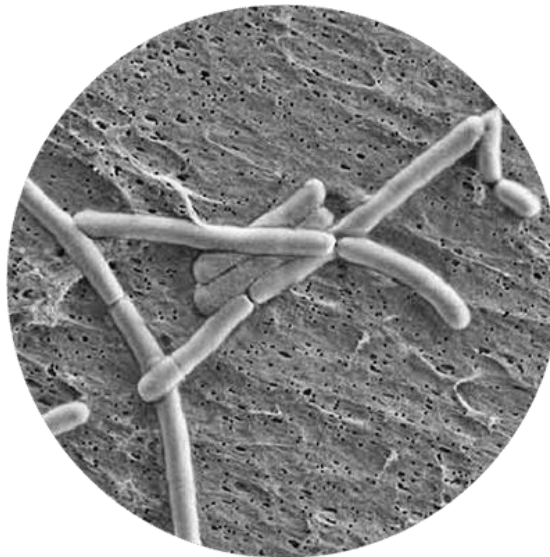


Figura 1. *Lactobacillus Rhamnosus* GG mirado en Microscopio.

Adaptado (Optibac Probiotic, 2022)

Dentro de los beneficios de los *Lactobacillus Rhamnosus* GG comprobados se encuentran el tratamiento de diarrea aguda en niños, prevención de la diarrea asociada a antibióticos, así como también existe evidencia de que ayuda a la prevención y tratamiento de alergias, prevención de infecciones respiratorias en niños, prevención de caries, dada la capacidad para colonizar la boca y su presencia en la saliva, así como también ayuda a la eliminación de la colonización nasal con bacterias potencialmente patógenas(Doron et al., 2005). Además, se ha estudiado la eficiencia de LGG en enfermedades inflamatorias del intestino, síndrome del intestino irritable, enfermedades cardiovasculares, enfermedad del hígado graso no alcohólico, fibrosis quísticas y cáncer (Capurso, 2019).

Generalmente los probióticos se consumen en productos lácteos, sin embargo, debido al aumento de varios tipos de dieta, se han desarrollado alternativas no lácteas, como la inoculación de jugos de frutas donde se ha demostrado que se logra un producto con una buena evaluación sensorial, así como con un potencial de ser una alternativa viable a los productos en base a lácteos. (White & Hekmat, 2018). Por otro lado, respecto al estudio de un snack de manzana con *Lactobacillus Rhamnosus* GG, Saydam et al., (2019) estudió la viabilidad por medio de aplicación de ultrasonido para la penetración del probiótico y el secado convencional a 37°C, obteniendo un número de células LGG viables que permiten clasificar al producto seco como probiótico.

2.2 Materia Prima



Figura 2. Manzana Granny Smith.

Adaptado de (BioNatural Fruits, 2023)

La manzana Granny Smith (Figura 2) fue descubierta en 1868 en Australia por María Ann (Granny) Smith, sin embargo, no fue introducida al mercado hasta la década 1930 en Reino Unido y en los 70 en Estados Unidos, transformándose en una de las primeras variedades de manzanas en ser exportadas, lo cual se vio bastante favorecido por su piel gruesa y carne firme que permite facilidad en el envío, conservación y almacenaje. Estas requieren de un clima cálido para madurar correctamente. Este tipo de manzana pertenece a la familia Rosaceae, género *Malus*, especie doméstica. Corresponde a una variedad de manzana de tamaño mediano a grande, con piel gruesa, lisa, firme y de color verde brillante cubierta con pequeñas manchas blancas. En climas fríos pueden desarrollar un rubor amarillo a rosado. Debajo de su piel, posee una carne blanca que es crujiente y ligeramente acuosa con un sabor equilibrado particularmente ácido, pero con matices dulces. Por otro lado, se conserva mucho más que otras manzanas, manteniendo inclusive su color independiente de su estado de maduración.

Las manzanas Granny Smith son una excelente fuente de antioxidantes y vitamina C, además son buena fuente de pectina y fibra soluble, que ayuda a controlar el peso, el colesterol y a regular el azúcar en la sangre. También proporcionan en menor cantidad vitamina A, calcio y hierro. Esta manzana ha sido altamente estudiada, ya que se encuentra disponible todo el año y por su alta contenido de agua (alrededor del 85%).

2.3 Mercado

En los alimentos funcionales el mercado mundial alcanzó un valor de 183 mil millones de dólares en 2022 y se espera que crezca a una tasa compuesta anual de 2.71% en el periodo de 2023-2028. (Mordor Intelligence., 2023)

Dentro del rubro de los alimentos funcionales, el mercado de los productos probióticos es uno de los más dinámicos. En Chile actualmente, 11 cepas probióticas dentro de las cuales se encuentra *Lactobacillus Casei* CRK431; *L. acidophilus* La5, *Lactobacillus paracasei*, *L. Rhamnosus* GG, *Bifidobacterium animalis* ssp.lactis 430, *B.animalis* spp.lactis Bb12, entre otros. Respecto a la comercialización de estos se realizan principalmente en alimentos como bebidas y fórmulas lácteas, yogurt, leche y cereales infantiles. Además, se pueden encontrar en varios productos farmacéuticos en presentación de sobres, cápsulas, gotas o comprimidos. (Cáceres R & Gotteland R, 2010)

El mercado de los probióticos en el mundo está en plena expansión, aumentando el número de nuevos productos cada año, sin embargo el consumo de estos productos, se ve limitado por factores como la creciente tendencia al veganismo, la intolerancia a la lactosa, o dietas restringidas en colesterol, por lo que por medio de nuevas tecnologías y la microbiología se han estudiado la inclusión a nuevas

matrices alimentarias a base de frutas , verduras y cereales, obteniéndose resultados exitosos y permitiendo la inclusión de estos en la dieta diaria (Vijaya Kumar et al., 2015).

2.4 Impregnación al Vacío

La tecnología de impregnación al vacío consiste en un proceso de transferencia de masa entre un medio líquido y un alimento generalmente poroso, en el cual, se produce un intercambio entre el gas interno y/u ocluido en los poros abiertos de los alimentos y una fase líquida externa, por medio de la acción de un mecanismo hidrodinámico (HDM) impulsados por cambios de presión (Fito et al., 2001).

La operación consiste principalmente en dos etapas, en primer lugar, el alimento se sumerge en la solución de impregnación y se aplica presión de vacío durante un periodo conocido como tiempo de vacío. Durante este tiempo se produce la expansión del gas ocluido y/o atrapado en los poros del alimento, fluyendo hacia el exterior junto con líquido contenido en él, aumentando así el volumen interno y comenzando así el mecanismo hidrodinámico, que permite que debido al cambio de presión el líquido externo empiece a fluir hacia los capilares, alcanzando un equilibrio de presiones en el sistema. Luego, se produce la restauración del sistema a la presión atmosférica, manteniendo el producto sumergido en la solución por un tiempo de relajación, en donde el gas que se encontraba aún dentro de los poros se comprime produciendo el flujo del líquido externo hacia estos hasta un nuevo equilibrio, generándose así la impregnación o el enriquecimiento con la solución de interés. (Fito et al., 1996). Un diagrama esquemático de este proceso se puede observar en la Figura 3, en donde las tres primeras imágenes esquematizan la primera parte del proceso y la última la restauración a la presión atmosférica y la impregnación de la solución.

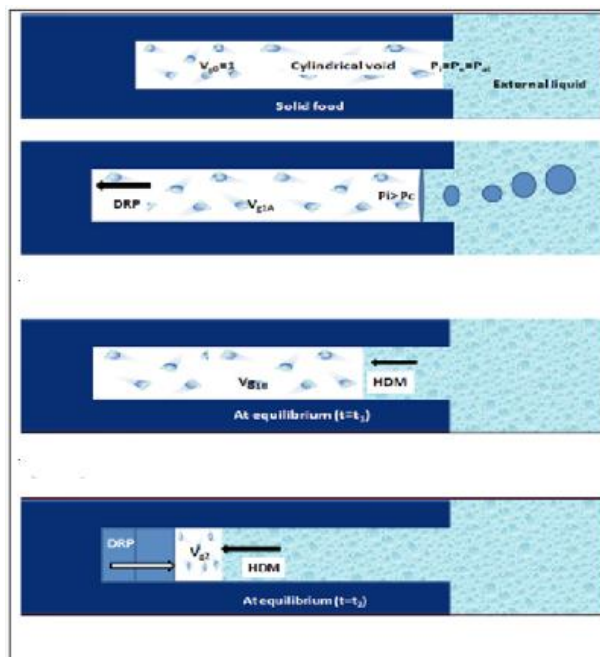


Figura 3. Diagrama esquemático proceso VI.

Adaptado de (G.N., 2018)

La impregnación se utiliza como única o primera etapa en distintos procesos de conservación y enriquecimiento, siendo un proceso típico para aumentar la cantidad de un compuesto o una mezcla de estos en una matriz alimentaria permitiendo así desarrollar un alimento funcional o aumentar la vida útil del producto y sus distintas propiedades. (Mújica-Paz et al., 2003). Para la determinación del nivel de impregnación debe tenerse en cuenta el proceso de desgasificación que depende a su vez de la presión, además pueden influir la distribución del tamaño, la morfología y la porosidad del producto. (Betoret et al., 2015).

Respecto a la impregnación con probióticos, se ha comprobado (Betoret et al., 2003) que, si es viable la impregnación de probióticos en matrices de manzanas, en cuyo estudio se utiliza una presión de vacío de 50 mbar, obteniéndose con éxito una manzana deshidratada con un contenido microbiano adecuado. Por otro lado, Rodríguez-Barona et al. (2015), realizaron el estudio de la impregnación de fibra prebiótica en complemento con *Lactobacillus Casei* en matrices de mora, considerando el uso de FOS, Inulina y la mezcla de estos, a una presión de 50 mbar y utilizando soluciones de impregnación isotónicas con respecto al tejido para evitar transferencia de masa no deseada controlando el pH para que no afecte la estabilidad de los microorganismos, así como también asegurarse que la concentración de microorganismos a impregnar sea la suficiente para que el alimento obtenido del proceso sea considerado como probiótico.

2.5 Deshidratación

La deshidratación de alimentos es un proceso que consiste principalmente en la reducción de la actividad de agua de un alimento mediante la disminución del contenido de humedad, corresponde a una de las técnicas más utilizadas y antiguas en la conservación de alimentos, esto debido principalmente que al reducir el contenido de agua, se reduce la cantidad de microorganismos que crecen, así como su deterioro, aumentando su vida útil. Además, disminuye el volumen y así los costos de transporte y distribución. La operación unitaria se puede describir como aquella en que el agua que contiene un sólido o una disolución concentrada se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividad de agua (a_w) entre ambas fases (Maupoey, 2001) tal como se observa en la Figura 4.

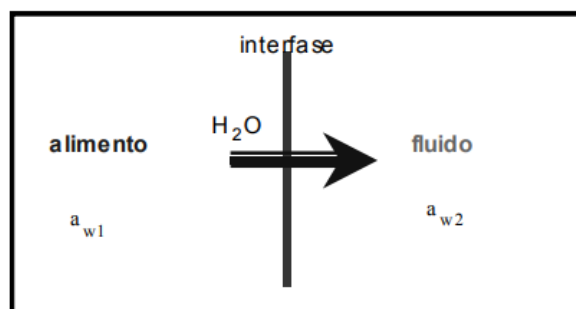


Figura 4. Esquema Transferencia de agua debido al gradiente de a_w .

Adaptado de (Maupoey, 2001)

En el proceso de secado, se pueden producir cambios perjudiciales para la calidad del alimento, la cual va referido a la inocuidad y sus propiedades sensoriales y nutricionales, sin embargo, la severidad del proceso se relaciona de manera diferente con ambos factores, así, por ejemplo, mientras mayor es la severidad del proceso se genera una mayor pérdida nutricional y una peor calidad, mientras que aumenta la seguridad alimentaria. Es por esto que es importante llevar un control de la severidad del proceso, así como del tiempo de secado (Rahman & Perera, 2020). El control de estas propiedades se basa en todos los fenómenos químicos y físicos que ocurren durante el secado y su almacenamiento, y, a menudo resulta complejo debido a que la composición de los alimentos es variable y compleja, produciéndose un cambio en las propiedades a lo largo de todo el secado, tales como cambios en la forma, estructura, porosidad, así como inducción de reacciones bioquímicas, produciendo en algunos casos efectos en las propiedades sensoriales (desarrollo del sabor) y en otros, efectos no deseados, como pérdidas de vitamina, cambios de sabor o aroma (por pérdida de compuestos volátiles) y/o formación de compuestos tóxicos. (Bonazzi & Dumoulin, 2011).

Tal como se mencionó el proceso de deshidratación de alimentos es un proceso complejo, por lo que en la industria alimentaria existe un gran variedad de formas de secado, los cuales se pueden clasificar según las características y propiedades físicas del producto húmedo así como por el procedimiento para transmitir calor al sólido, siendo esta última la clasificación más utilizada, distinguiéndose así secadores directos, secadores indirectos, secadores dieléctricos y secadores por radiación. Además, existen otras técnicas como el secado por vacío en la cual la evaporación del agua se realiza con más rapidez a presiones bajas y la técnica de liofilización, en la cual el alimento a secar se congela, eliminando el agua como vapor por sublimación en una cámara de vacío, siendo el método que genera productos alimenticios de más alta calidad, debido a la rigidez estructural que se preserva en la distancia congelada, evitando el colapso de la estructura porosa. Sin embargo, el secado por liofilización es bastante costosa, debido a la velocidad lenta de secado y la necesidad de vacío. (Geankoplis, 1998).

2.6 Secado Convencional o por aire caliente

Este tipo de secado consiste en deshidratar un material con ayuda de una corriente de aire caliente, produciéndose la transferencia de calor por convección principalmente y arrastrando el vapor de agua formado lejos de la superficie de secado por medio de una corriente de aire. Dentro de los equipos utilizados para este tipo de secado, se encuentran los secadores de bandejas, secador de horno, secadores de túnel, secador rotatorio, secadores de lecho fluidizado, entre otros. (Geankoplis, 1998).

El secador de horno estufa es el uno de los métodos más simples de secado, que permite la deshidratación por lotes, correspondiente a una tecnología de secado de primera generación. El sistema (Figura 5) consiste en un horno de dos niveles en el cual se encuentran ubicadas bandejas perforadas en forma paralela, circulando el aire caliente por medio de convección natural o forzada por medio de las perforaciones del segundo piso en el que se encuentra el alimento a secar. El aire es calentado por un quemador que se encuentra en el piso inferior. La utilización de esta tecnología en la industria de los alimentos es reducida, siendo utilizado para el secado de manzanas, lúpulo y forrajes verdes (Maupoey, 2001).

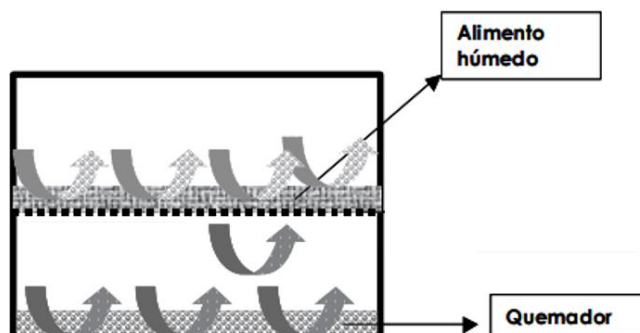


Figura 5. Esquema Horno o estufa convectiva.

Adaptado de (Maupoey, 2001)

2.7 Secado a Ventana Refractiva

La tecnología de ventana refractiva (VR) es un método novedoso de secado de alimentos desarrollado por MCD Technologies, Inc. Se caracteriza por utilizar agua cercana al punto de ebullición a presión atmosférica como medio para transportar energía a los materiales a deshidratar, principalmente por radiación térmica y conducción. El proceso está diseñado para permitir el paso de la radiación proveniente del agua a través de una película en donde se encuentra el alimento generando la evaporación del agua que constituye al alimento, aumentando la rapidez de deshidratación. A medida que el producto se seca, la “ventana” infrarroja se cierra limitando la transferencia de calor al producto a la conducción.

En relación con el sistema, un secador de ventana refractiva tal como se observa en la Figura 6 está compuesta de un baño termostático de acero inoxidable con un control de temperatura para mantener la temperatura del agua y una película de Mylar®, un plástico transparente al infrarrojo (Ochoa-Martínez et al., 2012). El Mylar® está elaborado a partir de tereftalato de polietileno (PET), dentro de sus características se encuentra que conserva sus propiedades físicas en un amplio rango de temperatura, entre -70 a 150 °C, además presenta alta resistencia a la tracción (210 [MPa]), transparencia del material a espesores entre 12 y 23 µm, así como alta resistencia a la humedad y agentes químicos. (Dupont Teijin Film, 2003).

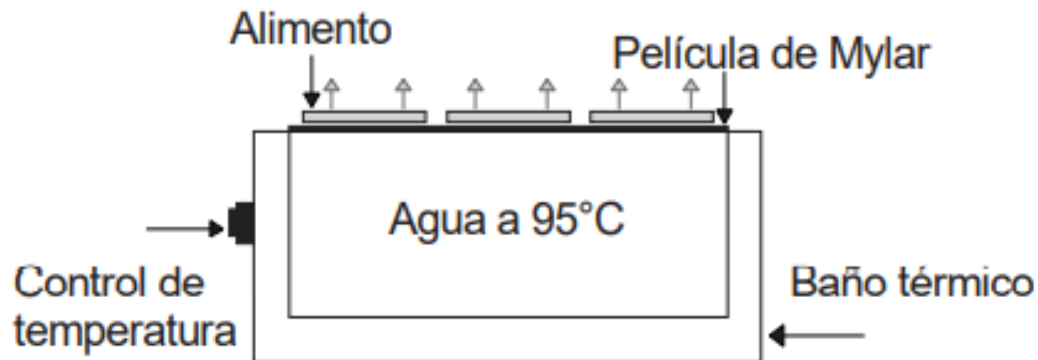


Figura 6. Esquema Ventana Refractiva.

Adaptado de (Ochoa-Martínez et al., 2012).

El proceso de ventana refractiva puede ser de forma discontinua o continua. En el caso de un proceso continuo, el producto se ubica en una cintra transportadora de plástico que se mueve sobre el agua circulante (Figura 7). El calor no utilizado se recicla y los productos secos se mueven sobre agua fría antes de salir del secador. El tiempo de residencia del producto en la banda de secado es de 3 a 5 min, a diferencia del secador en bandejas o el túnel de secado que lleva horas. (Abonyi et al., 2002)

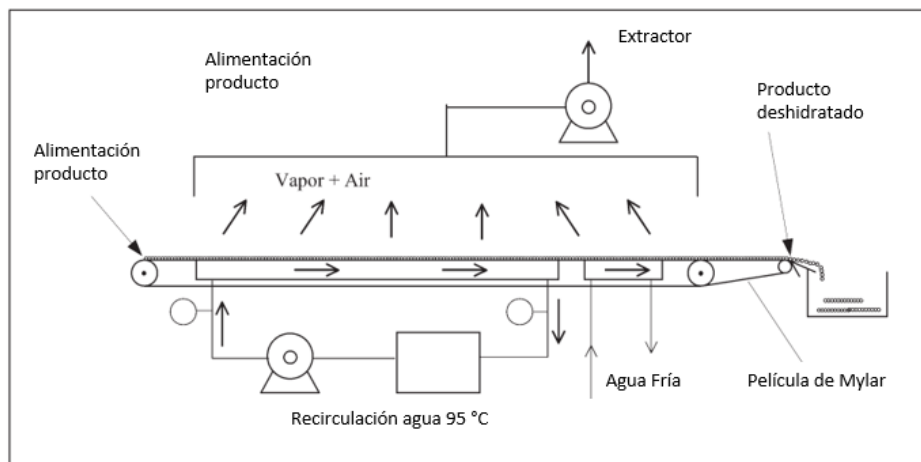


Figura 7. Ventana Refractiva proceso continuo.

Adaptada de (Abonyi et al., 2002)

Respecto al alimento a secar este debe encontrarse en forma de pulpa, jugo o rodaja y se recomienda que el alimento tenga un espesor de 0.2 a 1.0 mm, y se ha comprobado que entre más pequeño sea el espesor aumenta la eficiencia

energética. Este tipo de secado presenta ventajas como bajos costos de operación y mantenimiento, y es una alternativa eficiente para la deshidratación de alimentos por su velocidad de secado que permite conservar las propiedades organolépticas y nutricionales de estos, como se ha comprobado en diversos estudios. (Ochoa-Martínez et al., 2012; Franco et al., 2019; Rajoriya et al., 2019).

En relación con su comparación con otras tecnologías, Ochoa-Martínez et al. (2012) comprobaron que el tiempo requerido para que en un sistema VR se alcance la humedad final de 5% en base seca se reduce entre un factor 8, para muestras de 1 mm, en comparación con el tiempo requerido para un secado en bandejas. Por otro lado, se comprobó (Abonyi et al., 2002) que la retención de ácido ascórbico de pure de fresa y la retención de α - y β - caroteno en pures de zanahoria secados por ventana refractiva eran comparables con las muestras liofilizadas. Además, se ha comprobado que la eficiencia térmica del secador de VR es superior que otros equipos de secado con un 70 % máximo, lo que hace que se requiera menos energía para evaporar el agua contenida en el alimento en comparación con el túnel de secado que posee eficiencias entre 38 – 42 %. (Nindo et al., 2003).

En relación la deshidratación de rodajas de manzana en ventana refractiva Rajoriya et al., 2019. estudió el efecto del secado a temperaturas entre 60 y 90 °C sobre las características y calidad de las rodajas de manzana en comparación con el secado por aire caliente, obteniendo tiempos más cortos de secado y una mayor conservación de la estructura porosa y de la calidad del producto, además de coeficientes de difusión mayores, lo cual se puede observar de igual manera en otros estudios. (Hernández et al., 2020; Franco et al., 2019)

Por otro lado, respecto a los alimentos inoculados con microorganismos, Nindo et al. (2003) comprobó que, al deshidratar pure de calabaza con bacterias coliformes, *Escherichia Coli* y *Listeria innocua*, se reduce la presencia de estas hasta por bajo del nivel mínimo de detección (< 5 UFC/ml). Sin embargo Carrascosa (2019) realizó la impregnación de snack de manzana con *L. Rhamnosus* secando el producto por tres métodos: secado convencional con aire, secado convencional a vacío y secado en ventana refractiva , obteniendo que el secado con aire caliente refleja una mejor preservación de la carga total de microorganismos.

2.8 Liofilización

La liofilización es un proceso en el cual un producto se deseca llevando a cabo la congelación y posterior sublimación del hielo por medio de la generación de un gradiente de presión de vapor entre el entorno del producto y el frente de hielo del interior del producto. (Brennan, 1998)

La eliminación de la mayor parte del agua por sublimación da origen a un producto ligero de estructura porosa que conserva el tamaño y forma del producto original. Las características de reconstitución del producto son buenas tanto en lo que se refiere a la velocidad como a la extensión de la reconstitución. También es alta la retención de compuestos volátiles responsables del aroma y sabor. (Brennan, 1998). Por otro lado, el hecho de congelar el agua en el material antes de la liofilización inhibe los procesos químicos, bioquímicos y microbiológicos. (Nowak & Jakubczyk, 2020)

El agua en los productos puede ser libre o agua ligada a la matriz, solo congelándose el agua libre, por lo que en el proceso de liofilización, se debe eliminar todo el agua libre y parte del agua ligada por medio de los siguientes pasos: congelación del producto, bajo presión atmosférica, secado primario o secado por congelación en donde ocurre la sublimación del hielo, en la mayoría de las veces a presión reducida y secado secundario o secado por desorción, secando el producto a la humedad final requerida. Durante estas tres etapas se distinguen seis fenómenos físicos que impactan significativamente en el proceso, la calidad del material y los costos del proceso. Los cuales son (Nowak & Jakubczyk, 2020).

- 1) Transición de fase del agua contenida en el producto a hielo
- 2) Transición de fase de hielo a vapor.
- 3) Desorción de las moléculas de agua de las estructuras materiales.
- 4) Obtención de una presión adecuadamente baja.
- 5) Re-sublimación del vapor de agua eliminado del material en la superficie del condensador.
- 6) Eliminación de una capa de hielo de la superficie del condensador.

En la liofilización el material está construido por un núcleo central de material congelado y medida que el hielo se sublima, el plano de sublimación, que se inicia en la superficie exterior, penetra al interior dejando atrás la corteza porosa de material seco (Figura 8). El agua congelada se sublima a 0°C y a una presión de 627 Pa o menos. El calor latente de sublimación del hielo equivale a 2838 kJ / kg y procede por conducción a través de la corteza de material seco. En algunos casos también se conduce a través de la capa congelada desde la parte posterior. El vapor de agua que se forma se transfiere a través de la capa del material seco. Por consiguiente, la transferencia de calor y masa se verifican simultáneamente. (Geankoplis, 1998).

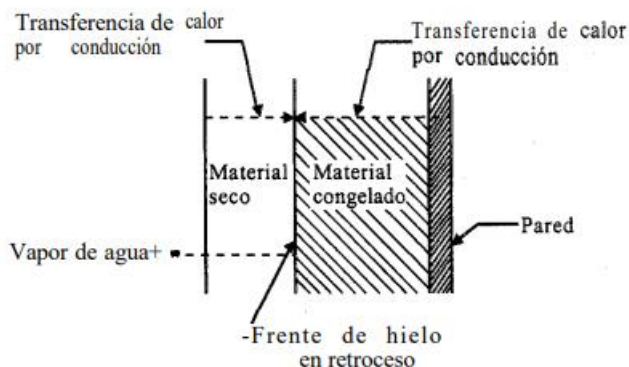


Figura 8. Esquema Transferencia de calor y masa en Liofilización.

Adaptado de (Geankoplis, 1998).

El tiempo total de secado debe ser lo suficientemente largo como para que el contenido final de humedad sea inferior al 5% en peso y así evitar la degradación del producto final durante el almacenamiento.

2.8.1 Congelación.

La congelación es la operación previa a la liofilización, la cual es una de las etapas más crítica debido que afecta en características tales como el color y la densidad del producto final, como así también a la velocidad de sublimación. Por otra parte, la estructura celular puede dañarse durante la congelación perjudicando la textura del producto reconstituido y el producto seco es muy quebradizo y susceptibles a daños mecánicos (Brennan, 1998).

Durante el proceso de congelación, la mayor parte del agua se convierte en sólido formando una red de cristales de hielo cuya morfología, tamaño y distribución influyen en parámetros críticos como la resistencia del producto seco, el grado de cristalinidad, velocidades de secado primario y secundario, y la capacidad de reconstitución. del producto seco, Además es un paso crítico con respecto a la actividad biológica y la estabilidad de los productos farmacológicos activos. (Assegehegn et al., 2019).

El proceso de congelación tiene lugar en tres etapas: La precongelación, que corresponde al periodo desde el inicio del enfriamiento hasta que comienza a cristalizarse el agua. La congelación o cambio de fase en el cual, para el caso de un alimento, se produce a temperatura variable, cristalizando inicialmente solo agua hasta un punto en el que comienzan a formarse cristales del soluto (o del alimento o solución concentrada) llamado punto eutéctico. Luego en la etapa de

solidificación, los cristales de hielo durante la etapa anterior aumentan de tamaño, aumentando la concentración de la solución, llegando a la solidificación completa. (Assegehegn et al., 2019), que en caso de materiales biológicos corresponde entre el 90 y 95% del agua presente en el alimento (Orrego Alzate, 2008).

2.8.2 Secado Primario

El secado primario en la liofilización es el periodo en el que tiene lugar el proceso de sublimación del hielo. En este proceso se retira el hielo de la muestra mediante sublimación desde la fase sólida a la gaseosa, retirándose el vapor del equipo y con ayuda de un condensador que ofrece una superficie suficientemente fría, se pasa nuevamente a la fase sólida. La fuerza impulsora que mantiene la sublimación es el gradiente de presión de vapor entre la superficie congelada del producto y el condensador. El paso de hielo a vapor requiere de gran cantidad de energía en alto vacío ya que la interfaz de secado se mueve hacia el interior de la muestra y el calor tiene que atravesar capas congeladas, generándose un considerable riesgo de fusión intersticial o que se quema la superficie del producto ya seco (Orrego Alzate, 2008). En esta fase inicial de secado, sublima aproximadamente el 95% del agua del material, por lo que esta fase suele ser lenta, debido a que si se agrega mucho calor la estructura del material puede verse afectada. El punto final del secado primario se puede detectar debido a que no hay hielo presente, por lo tanto, la temperatura del producto aumenta hasta la temperatura del estante, lo que generalmente se observa como un fuerte aumento en la temperatura en la temperatura del producto en función del tiempo. (Tang & Pikal, 2004)

2.8.3 Secado Secundario

El proceso de secado por desorción o post -secado ocurre a presión reducida con calentamiento del producto hasta el contenido de agua final definido. En esta etapa, la tasa de secado se reduce significativamente debido a la pequeña cantidad de agua, alta resistencia al color y el transporte de masa a través de la capa de material poroso. (Nowak & Jakubczyk, 2020) Durante el secado secundario, se elimina el agua que se une y que no se puede cristalizar o el agua presente en los sólidos amorfos, es decir, las porciones de agua no congelada que no subliman en la primera etapa lo hacen por evaporación al incrementar la temperatura debiéndose tener en cuenta que esta no supere su temperatura de transición vítrea con el fin de evitar el colapso del material. Las partes secas de la muestra que se liofiliza pueden comenzar su secado secundario aunque haya presencia de hielo que sublima aun, sin embargo, mientras ambas fases coexistan, la temperatura del alimento se encuentra controlada debido a que el hielo enfría la estructura. (Orrego Alzate, 2008). La duración de este proceso suele representar una proporción significativa de tiempo del proceso, debido al contenido de humedad del producto final es generalmente baja, lográndose generalmente un contenido de masa seca

superior al 95%. Los productos amorfos son más difíciles de secar que los productos cristalinos, por lo que se necesitan temperaturas más altas y más tiempos para eliminar el agua absorbida, así mismo el proceso también depende de la concentración del soluto, por lo que a mayor concentración de soluto (>10% de sólidos en solución), más difícil es eliminar el agua absorbida (Tang & Pikal, 2004).

La liofilización presenta ventajas importantes relacionadas con la calidad del producto, sin embargo, presenta desventajas importantes relacionadas con los altos costos y la duración del proceso, tal como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Ventajas y Desventajas Liofilización.

Adaptado de ((“Freeze Drying”, 2023); (Shukla, 2011))

Ventajas	Desventajas
- Prolongación de la vida útil. - Operación a bajas temperaturas - Rehidratación del producto más sencilla - Conservación de las propiedades y nutrientes, - Mayor conservación de los alimentos y lo hace más ligeros.	- Operación costosa- - Eliminación de compuestos volátiles. - Alta sensibilidad del material al calor. - Altos tiempos de secado - Dificultad en el control del tamaño de los cristales en la etapa de congelación.

Respecto al uso de la liofilización en matrices vegetales con probióticos existen estudios como el realizado por Cui et al.,(2018) en el cual se evaluó la estabilidad de snacks de manzana enriquecidos con probiótico, realizándose la impregnación a vacío de cubos de manzanas en proporción 1:2 y liofilizando las manzanas a -50 °C con una presión de 15 Pa por 30 h, obteniéndose una humedad de 3.83 ± 0.2 % y observándose que la reducción de la población de bacterias *L. plantarum* de 0.79 en escala logarítmica y lográndose una concentración que permite clasificar como un producto probiótico.

2.9 Transferencia de Calor y Masa en Proceso de Secado

La deshidratación o el proceso de secado puede describirse como una operación simultánea de transferencia de calor y transferencia de masa, esto debido a que el medio entrega calor al sólido y a su vez el sólido pierde masa al perder humedad.

Este puede ser representado por tres etapas principalmente. El periodo de equilibrio es aquel en que la superficie del sólido húmedo alcanza el equilibrio con el aire de secado. Luego se encuentra el periodo de velocidad de secado constante en el cual la superficie del sólido se mantiene saturada, y en el caso de un sólido poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo proviene de su interior, manteniéndose este periodo mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora. Esta etapa se puede observar en muchos alimentos, sin embargo, es un período corto en comparación con el tiempo de secado total, en algunos casos no medible. Luego de que el estado de equilibrio ya no se mantiene, es decir se llega al punto crítico, la velocidad de secado comienza a disminuir, comenzando a elevarse la temperatura en la superficie el sólido aproximándose a la temperatura del bulbo seco del aire cuando el secado está por terminar, siendo en este momento en el que es más probable que se produzcan daños por calor en el producto. Es esta la etapa, la que utiliza la mayor parte del secado en deshidratación de materiales alimenticios sólidos. Durante el periodo de velocidad decreciente, el secado se ve afectado por los factores que rigen el movimiento de humedad dentro del sólido como es la difusión. (Brennan, 2005)

2.10 Mecanismos de difusión

La fuerza impulsora para la transferencia de masa por difusión viene dada por la diferencia de presión parcial o concentración que existe entre la superficie del sólido y la fase gaseosa no saturada circundante. El proceso conduce a un equilibrio de concentración dentro del sistema por medio de movimiento moleculares aleatorios. generalmente se representa a través de la segunda ley de Fick (Ecuación 1):

$$\frac{dx}{dt} = D_{eff} \frac{\partial^2 X}{\partial l^2} \quad (1)$$

Donde x es el contenido de humedad del sólido kg/kg producto, t es el tiempo, l es la distancia en metros en la dirección de transferencia de masa y D_{eff} es el coeficiente de difusión m^2/s . Una de las principales dificultades para analizar los datos de secado por difusión consiste en que la distribución inicial de la humedad no es uniforme en todo el sólido al principio, si es que la etapa de velocidad decreciente va precedida por otro de velocidad constante. Por otro lado, la difusividad aumenta a medida que aumenta la temperatura del aire de secado en una relación de tipo Arrhenius. Respecto la solución analítica de esta ecuación según Crank, (1979) si se supone que la geometría es una placa plana infinita, la distribución inicial de humedad es uniforme en el tiempo $t=0$, un coeficiente de difusión es constante y se desprecian otros mecanismos de transferencia y contracción de la muestra, esta se viene dada por la siguiente ecuación (Ecuación 2):

$$M_R = \frac{X_t - X^*}{X_l - X^*} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} [\exp(-D_{eff} t \left(\frac{\pi}{2l}\right)^2)] \quad (2)$$

Asimismo, si es que se trabaja con tiempos de secado prolongado se puede expresar como el primer término de la serie, tal como se muestra en la Ecuación 3:

$$M_R = \frac{X_t - X^*}{X_l - X^*} = \frac{8}{\pi^2} [\exp(-D_{eff} t \left(\frac{\pi}{2l}\right)^2)] \quad (3)$$

En donde M_R es la humedad adimensional. X_t es el contenido de humedad del sólido para el tiempo t , X^* es la humedad libre en equilibrio, X_l es el contenido de humedad en el inicio del periodo, D_{eff} es el coeficiente de difusión efectiva en m^2/s y l es el espesor del sólido en metros. Por otro para la determinación del coeficiente efectivo se considera que la resistencia externa a la transferencia de masa es despreciable en comparación con la resistencia interna, es decir la difusión en el sólido controla la velocidad de secado. (Geankoplis, 1998).

2.11 Difusión anómala

Si bien muchos procesos de secado son modelados en base a segunda Ley de Fick, en muchas ocasiones las cinéticas de secado que presentan los alimentos demuestran desviaciones a lo predicho por Fick, esto debido a la complejidad del proceso de transferencia de masa por la naturaleza compleja de los tejidos vegetales, su estructura heterogénea, la contracción y los cambios de volumen durante el proceso de deshidratación debido a la eliminación de humedad (Simpson et al., 2015)., para estos casos se ha demostrado que la difusión anómala o no fickiana es una herramienta útil para describir cuantitativamente la difusión durante el secado de estos alimentos, ya que considera los muchos cambios que ocurren en el material y en su microestructura.

El modelo de cálculo fraccional es una herramienta matemática que permite representar los fenómenos de difusión anómala real de solutos cuyo movimiento puede ser más rápido o lento que el postulado en la segunda ley de Fick debido a la influencia de la estructura celular del material alimenticio (Simpson et al., 2013), cuya expresión viene dada por la Ecuación 3:

$$M_R = \frac{X_t - X^*}{X_l - X^*} = \frac{8}{\pi^2} [\exp(-D_{eff} t^\alpha \left(\frac{\pi}{2l}\right)^2)] \quad (4)$$

Donde D_{eff} corresponde al coeficiente de difusión en m^2/s^α y α es un parámetro adimensional que, mediante el uso de tiempos fraccionarios, se ha comprobado que realiza una correcta caracterización del comportamiento superdifusivo o subdifusivo de los materiales porosos. Así es que el valor de α se encuentra entre 0 y 1 se

describe un fenómeno de subdifusión en el cual los difusores tardan mayor cantidad de tiempo en recorrer una distancia específica y si $1 < \alpha < 2$, se describe un fenómeno de superdifusión, en cual los difusores tardan menor tiempo en recorrer la distancia. Asimismo, si es que el secado posee un comportamiento según la ley de Fick, el valor α es igual a 1. (Simpson et al., 2013).

2.12 Parámetros de calidad.

2.12.1 Actividad de agua

La actividad de agua (a_w) de un alimento es la humedad de equilibrio de un producto, determinada por la relación entre la presión de vapor del alimento mismo y la presión de vapor del agua destilada a condiciones idénticas. El valor de actividad de agua es entre 0 y 1 y depende de la composición, la temperatura y el contenido de agua del producto. La mayoría de los alimentos tiene una actividad de agua superior a 0.95 lo cual favorece el crecimiento de bacterias, levaduras y moho, por lo que puede ser definido como una medida de disponibilidad de agua para las reacciones biológicas y determina la capacidad de crecimiento de los microorganismos, por lo que mientras mayor sea la actividad menor será la vida útil del alimento, lo que hace que esta sea uno de los factores más críticos para asegurar la calidad y seguridad de los alimentos. (Affairs, 2018)

2.12.2 Color

El color corresponde a una sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los ojos y que depende de la longitud de onda. Corresponde a una percepción e interpretación subjetiva, esto ya que es relativo al punto referencia del que se le vea, por lo que para evitar esto y asegurar un estándar, el color puede ser expresado en términos numéricos y objetivos.

Un espacio de color corresponde a un método de expresar un color usando valores numéricos. Es aquí donde juega un rol importante La Comisión Internationale de l'Éclairage (CIE), la cual es considerada como la autoridad en la ciencia de la luz y el color, y que ha definido espacios de color como CIE XYZ, CIE L*a*b y CIE L*u*v. (Konica Minolta, 2023)

El espacio de color CIELAB (o L*a*b) es uno de los espacios de colores más populares y uniformes usado para evaluar el color de un objeto esto ya que correlaciona los valores numéricos de color de manera concisa con la percepción visual humana. Los colores se pueden clasificar en términos de matiz (color), luminosidad (brillo) y saturación (vividez), por lo que estos atributos son importantes para expresarlos. (Konica Minolta, 2023)

El espacio de color L*a*b tiene como base una teoría de color oponentes que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y

azul al mismo tiempo, por lo que se define las siguientes coordenadas: (Konica Minolta, 2023)

L^* = Luminosidad

a^* = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

b^* = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

La diferencia de color corresponde a la comparación numérica de una muestra con el estándar e indica las diferencias en coordenadas absoluta de color por medio de deltas, los cuales pueden ser positivas o negativos. De igual manera se define la diferencia total ΔE que solo toma valores positivos y expresa como:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_0)^2 + (a_1 - a_0)^2 + (b_1 - b_0)^2} \quad (4)$$

Si bien ΔE indica la diferencia total de color no indica cual aceptable es la diferencia de color, por lo que la tolerancia de color debe ser definida de acuerdo con evaluaciones visuales y ser utilizado como control de calidad. (Konica Minolta, 2023)

2.12.3 Sólidos Solubles

Los sólidos solubles corresponden a azúcares, sales, ácidos y otros compuestos solubles que forman parte de jugos, vinos o líquidos procesados dentro de la industria agroalimentaria, midiéndose por medio de un refractómetro en grados brix, el cual permite cuantificar la refracción, es decir el índice de propagación en función del cambio de dirección que experimenta un rayo. En el caso de las frutas, la mayor cantidad los azúcares y los ácidos orgánicos están presentes en el interior de la fruta existiendo una gran diferencia de concentración con respecto a la parte externa por lo que se debe licuar y filtrar la muestra, con el fin de obtener un zumo o concentrado el cual se pueda medir en el equipo. (Cajamar, 2014)

3 Materiales y Métodos

3.1 Materia Prima

Se trabaja con Manzana Grammy Smith comprada en un supermercado local de Valparaíso, las cuales se almacenan en refrigeración a 4 °C hasta su uso.

Respecto a la preparación de las muestras, estas serán cortadas en rodajas de 4 mm de espesor y con un sacabocados se realizará un corte circular obteniéndose una circunferencia de 40 mm de espesor y con peso promedio de 3.610 ± 0.250 g. (Figura 9). A continuación, las muestras son llevadas un proceso de escaldado en el que las rodajas se mantienen a 90 °C durante 1 min para la inactivación enzimática con calentamiento indirecto mediante un baño de agua y luego agua fría (4 a 8°C) por 1 min.

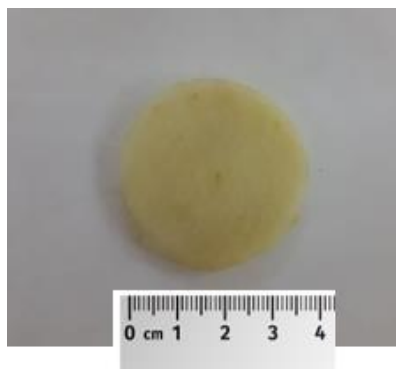


Figura 9. Muestra de Manzana Cortada

3.2 Solución de Impregnación.

Para la solución de impregnación se trabaja con un Jugo natural de manzana verde de la marca AFE®, el cual es adquirido en el comercio. Se realiza un ajuste de pH del jugo a 5- 6 por medio de la preparación de una solución de Bicarbonato 5 g/L y agua, así como también se ajustan los sólidos solubles hasta 6° Brix, realizando la medición con un refractómetro (HANNA Instruments, modelo HI-96801).

A la solución anteriormente mencionada se le agrega caldo MRS, en el cual se ha cultivado *Lactobacillus Rhamnosus* por 48 hrs a 37 °C, en proporción de 10 mL por 90 mL de solución.

3.3 Impregnación a Vacío.

Para el proceso de impregnación se utiliza un desecador en el cual se sumergen las muestras de manzanas en la solución en proporción 1:5 m/v y con ayuda de una bomba de vacío (DOSIVAC, MODELO Dvr II DVP-1A, Buenos Aires, Argentina), se aplica una presión de 0.02 MPa durante 15 minutos y luego se deja el sistema a presión atmosférica por otros 15 minutos, obteniéndose un tiempo total de impregnación de 30 minutos. Cabe destacar que durante todo el proceso con ayuda

de un baño termostático (JEIO TECH modelo BS-21)) se agita el sistema a 65 RPM con el fin de ayudar a la homogenización de la impregnación.

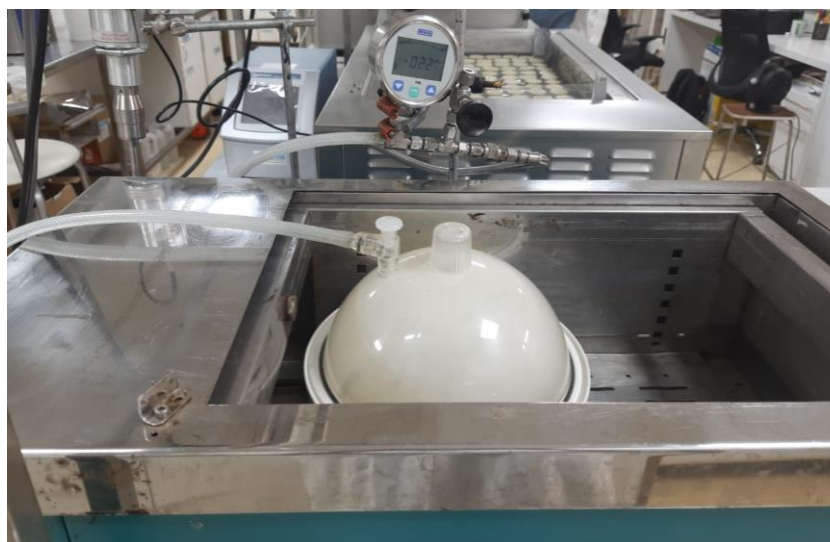


Figura 10. Sistema para la impregnación

3.4 Secado en Ventana Refractiva

Se utiliza un sistema batch que consiste en un baño termostático (MEMMERT, modelo WNB 45, Alemania) con su determinado control de temperatura sobre el cual se ubica una lámina de Mylar de 0.103 mm de espesor, que se encuentra en contacto directo con el agua asegurándose mantener un nivel adecuado de agua en el baño, con el fin evitar la formación de burbujas.

Se trabaja a una temperatura en el baño de 55°C, obteniéndose una temperatura sobre el Mylar de 45 °C, midiéndose con ayuda de un termómetro digital de bolsillo. (HANNA Instruments, modelo HI98509, EEUU).

El tiempo de secado de las muestras es determinado por medio de la medición de actividad de agua cada 15 minutos, tomándose como criterio el alcanzar una actividad de agua menor a 0.4, la cual se obtiene a los 210 minutos aproximadamente. Las muestras secas se retiran y se miden sus propiedades.



Figura 11. Lote de manzanas en Ventana Refractiva

3.5 Deshidratación en Secado Convencional

La deshidratación por secado convencional se realiza en una estufa convectiva (MEMMERT, modelo UFB400, Schwabach, Alemania) con una estabilidad térmica de 0.5 °C, en la cual se introduce una bandeja de secado cubierta con papel mantequilla sobre la cual se ubican las muestras a una temperatura de 45 °C, obteniéndose una actividad de agua menor 0.4 a un tiempo de secado de 330 minutos.

3.6 Liofilización

El proceso de liofilización fue realizado en el liofilizador (Christ, modelo Alpha 2-4 LSCplus) el cual se encuentra programado para el secado de las rodajas de manzana, las cuales fueron previamente congeladas a - 80 °C en la ultra congeladora (HAIER, modelo DW-86W100J, China). Las condiciones de operación para las rodajas fueron de 0.3 mbar y -30 °C durante un tiempo de 24 horas

3.7 Determinación de Características Fisicoquímicas.

3.7.1 Humedad

Para determinar la humedad de las muestras de manzana se considera el método AOAC (Association of Official Analytical Chemist) 934.06 , el cual consiste en la determinar la pérdida de peso de la muestra mediante desecación de esta en una estufa a vacío .Se considerará una muestra de 5 a 10 g lo cual se introduce en el desecador , utilizando una bomba de vacío para alcanzar una presión de 0.2 MPa, luego se introducirá el desecador a una estufa a 60 °C por un tiempo de 24 horas o hasta peso constante. Determinándose la humedad mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{(M_i + M_p - M_f)}{M_i} \cdot 100 \% \quad (5)$$

Donde H es la humedad de la muestra en g de agua/g de muestra, M_i es la masa inicial de la muestra, M_p es la masa de la placa y M_f es la masa final entre la muestra seca y la masa de la placa, todas estas medidas en gramos.

3.7.2 Actividad de agua

Para la determinación de la actividad de agua de las muestras se utiliza el medidor portátil de actividad de agua HYGROPALM, marca ROTTONIC, modelo HP23-AW-A que presenta un rango de medición de 0.000 a 1.000 con una precisión ± 0.001 .

3.7.3 Color

Para determinar el color de cada una de las muestras se utiliza un colorímetro marca Konica Minolta, modelo CR-400 utilizando las coordenadas del espacio de color a través del método CIE $L^*a^*b^*$, calibrándose el equipo antes de la medición con el blanco estándar y con los parámetros registrados estimándose la diferencia de cambio de color respecto a la referencia seleccionada que corresponde en este caso a la manzana impregnada, según la Ecuación 6:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_0)^2 + (a_1 - a_0)^2 + (b_1 - b_0)^2} \quad (6)$$

Considerando que se presenta una diferencia significativa de color por medio del criterio mencionado en Pathare et al., (2013) que señala la existencia de una diferencia de color significativa y perceptible a valores de ΔE mayores de 3 unidades.

3.7.4 Sólidos Solubles.

Respecto a los sólidos solubles se determinarán con ayuda de un refractómetro (HANA Instruments, modelo HI-96801), para el caso de la manzana se analiza una solución realizando una disolución de 2-3 g de manzana en 25 ml de agua masada, calculándose el valor por medio de la siguiente ecuación:

$$Z_t^{ss} = \frac{(W + M_t * H) * A}{M_t * (100 - A)} \quad (7)$$

Donde W es la masa de agua M_t corresponde a la masa de manzana, H la humedad y A corresponde a los grados brix señalados por el equipo.

3.7.5 Recuento de Microorganismos

Para realizar el recuento de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de la solución de impregnación, de las manzanas impregnadas y de las manzanas secas, para esto se considera de la técnica de recuento por disolución, en el cual se toma

1 mL de muestra inicial para el caso de la solución , diluyendo en 9 ml de agua peptonada al 1% V/V de forma seriada hasta la disolución 10^{-6} , para luego tomar 0.1 mL de las disoluciones para realizar el recuento por placas en 48 h con medio de cultivo solido de Man, Rogosa y Sharpe (MRS). determinándose las UFC/mL por medio de la siguiente fórmula:

$$\frac{UFC}{mL} = \bar{X} colonias \cdot \frac{1}{F_{disolucion}} \cdot \frac{1}{Inóculo} \quad (8)$$

Donde $F_{disolucion}$ es el factor 10^n , donde n es el número de disolución dependiendo de la viabilidad del recuento (30-300 colonias por placa) y el inóculo es igual a 0.1 mL.

Para el caso de la medición en las muestras solidas se toma la muestra inicial desde la disolución de 10 g de manzana en 90 mL de agua peptonada al 1% V/V.

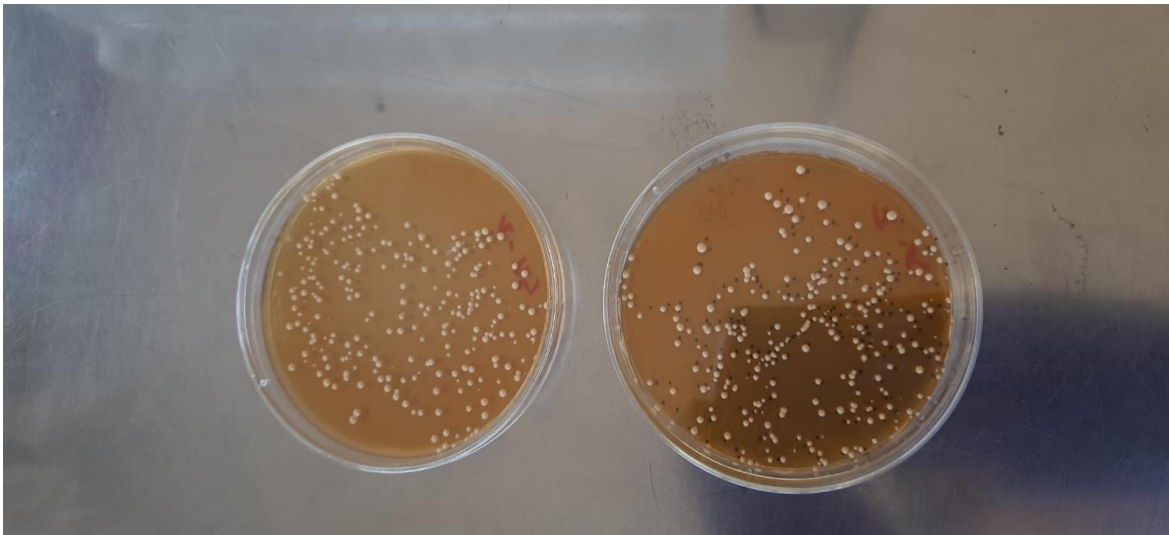


Figura 12. Placas obtenidas en el recuento

3.8 Cinética de secado y determinación de coeficiente de difusión

Para la determinación del coeficiente de difusión se calcula la cinética por medio de la definición de la humedad adimensional MRT que se define como:

$$MR_t = \frac{X_t - X^*}{X_i - X^*} \quad (9)$$

Donde para determinar cada humedad se realiza la medición del cambio de masa retirando las muestras del sistema cada 15 minutos midiendo el peso de las muestras por medio de una balanza digital (modelo JD400-3, Zhejiang, China). Esta medición se realiza por duplicado

Para la determinación del coeficiente de difusión efectivo de Fick y de difusión anómala (D_{eff}), y del parámetro α se utiliza el método del error cuadrático entre la gráfica de los datos experimentales y la curva dada por el modelo a partir de las ecuaciones 3 y 4 con ayuda de Excel y MATLAB, considerando además como supuestos geometría de placa plana y transferencia de masa unidireccional

3.9 Análisis Estadístico

Cada una de las mediciones de las características fisicoquímicas se realizaron en duplicado. El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza y test de múltiples rangos de Duncan con 95% de significancia usando el software STATGRAPHIC Centurion 19 (Statistical Graphic Corporation, versión 19.5.01, Rockville, MD, USA)

4 Resultados y Discusión

4.1 Recuento de probiótico

En primer lugar, se realiza la medición de la cantidad de microorganismos obtenidos desde la solución de impregnación con el fin de asegurar que esta cumpla con una cantidad significativa para ser considerado probiótico, obteniéndose que se tiene un promedio $1.03 \cdot 10^9 \pm 5.45 \cdot 10^8$ UFC/mL.

Por otro lado, respecto a la medición en la manzana impregnada se considera un ajuste de acuerdo a la humedad estimada con el fin de hacer una comparación con el recuento realizado en la manzana seca, obteniéndose los resultados de la Tabla N°2, donde se puede observar que para el caso de la manzana seca en secado convencional se obtiene una reducción de 2 órdenes de magnitud en comparación con la manzana impregnada, lo cual no cumple con ser probiótico según lo señalado con anterioridad, es decir una cantidad superior de 10^6 UFC/mL. Por otro lado, para las muestras de Ventana Refractiva se obtiene una reducción de un orden de magnitud tal como en (Akman et al., 2019) y (Zura-Bravo et al., 2019) obteniéndose un producto con características probióticas. La diferencia existente entre ambos secados se debe principalmente al tiempo de secado, ya que al estar expuesto mayor tiempo al secado las cepas bacterianas se ven afectadas por la exposición al calor, por otro lado, la estructura porosa se ve más afectada en el caso del secado convectivo siendo un factor importante para la estabilidad de las bacterias (Noorbakhsh et al., 2013)

Por otro lado, para el caso de las muestras de manzanas liofilizadas se puede observar que no existe reducción en el orden de magnitud, lo cual concuerda con lo señalado en Cui et al., 2018 en donde se realiza la comparación de diferentes tecnologías observándose que se obtiene una reducción menor a 1 escala

logarítmica para el caso del producto liofilizado. Esta reducción considerablemente menor se debe a que al utilizar bajas temperaturas se evita el estrés térmico que afecta a la supervivencia de los microorganismos y por otro lado el proceso de congelación previo ayuda a la retención de los compuestos bioactivos, así como a la conservación de la estructura celular gracias a la sublimación (Oliveira et al., 2021).

Tabla 2. Resultados Recuentos en Manzanas.

Tipo de Muestra	Recuento (UFC/g)
Manzana Impregnada	$1.07 \cdot 10^7 \pm 1.48 \cdot 10^6$
Manzana seca en Ventana Refractiva	$3.22 \cdot 10^6 \pm 5.26 \cdot 10^5$
Manzana Seca en Secado Convencional	$5.83 \cdot 10^5 \pm 2.43 \cdot 10^5$
Manzana Seca Liofilizada	$1.34 \cdot 10^7 \pm 9.74 \cdot 10^6$

4.2 Determinación de propiedades

4.2.1 Actividad de agua

Se lleva a cabo la medición de la actividad de agua con el fin de identificar el efecto de la impregnación en la cantidad de agua disponible en la muestra, así como en las muestras secas con el fin de identificar el tiempo de secado óptimo (Tabla 3), considerando que la manzana se encuentra deshidratada como criterio cuando existe una actividad de agua menor a 0.4.

Tabla 3. Resultados actividad de agua

Tipo de Muestra	Actividad de agua ¹
Manzana escaldada	0.987 ± 0.003^c
Manzana Impregnada	0.971 ± 0.015^c
Manzana Seca Escaldada	0.382 ± 0.015^b
Manzana Impregnada Seca en VR	0.370 ± 0.034^b
Manzana Impregnada seca en SC	0.393 ± 0.009^b
Manzana Impregnada Liofilizada	0.272 ± 0.04^a

¹ Letras a, b, y c indican diferencias significativas entre las medias según el método de rangos múltiples de Duncan con 95% de significancia

A partir de los datos se obtuvo que se lograba la actividad de agua deseada para el caso de la manzana deshidratada en ventana refractiva a las 3 horas y 30 minutos, esto realizándose la medición de la actividad de agua cada 15 minutos. Del mismo modo se obtuvo que en el secado en el horno convectivo se lograba la actividad de agua a las 5 horas y 30 minutos. Esta diferencia en los tiempos coincide con lo obtenido por Ochoa-Martínez et al., (2012) donde se obtuvo que para reducir la actividad de agua hasta 0,5 se necesitaba de 60 [min] para el caso de Ventana Refractiva y de 240 min para el caso de secado en bandeja (secado convencional) a una 90 °C y asimismo con lo obtenido Franco et al., (2019); que para el secado convencional de rodajas de manzanas se tiene que un tiempo de 14h a 55°C versus 3h en el caso en ventana refractiva.

4.2.2 Color

Se realiza la medición del color por medio del colorímetro cada una de las muestras realizadas (Figura 13). tomando como referencia para la comparación la manzana liofilizada seca debido a que corresponde a la tecnología que ha demostrado tener una mayor conservación de las propiedades como el color. (Kahraman et al., 2021; Antal & Kerekes, 2016). Obteniéndose los datos de Tabla 4:

Tabla 4. Medición parámetros de color

Tipo de Muestra	L*	a*	b*	ΔE
Manzana escaldada	68.51 ± 0.44^a	-5.29 ± 0.20^a	19.34 ± 3.38^a	
Manzana Impregnada	70.36 ± 1.22^a	-5.20 ± 0.67^a	20.32 ± 1.23^b	
Manzana Seca en VR	$80.79 \pm 1,36^d$	-2.85 ± 0.49^c	25.22 ± 0.97^b	
Manzana Seca Impregnada VR	$82.06 \pm 0,82^b$	-2.49 ± 0.70^c	24.01 ± 1.68^b	4.60
Manzana seca Impregnada SC	81.42 ± 1.44^b	-3.16 ± 0.46^c	26.95 ± 1.76^b	7.36
Manzana Liofilizada	84.28 ± 0.80^c	-3.83 ± 0.16^b	20.19 ± 0.28^a	

¹Letras a, b,c y d indican diferencias significativas entre las medias según el método de rangos múltiples de Duncan con 95% de significancia

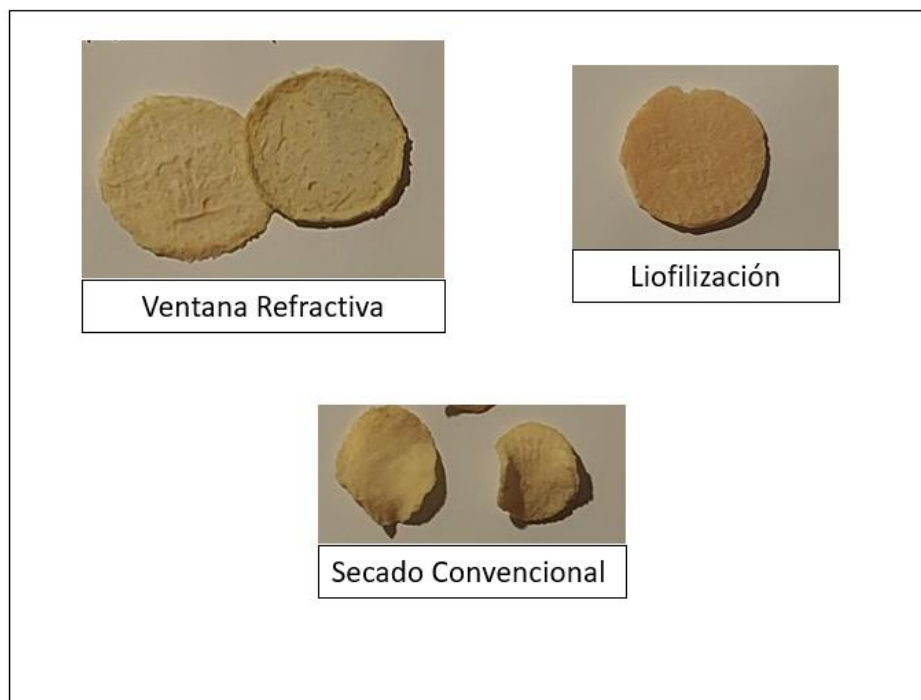


Figura 13. Muestras de manzanas deshidratadas en Ventana Refractiva; Secado Convencional y liofilizada

Al comparar los valores de ΔE se puede observar que existe una diferencia de color menos significativa para el caso de la manzana seca en ventana Refractiva en comparación al secado convencional lo que concuerda con otras investigaciones (Franco et al., 2019; Rajoriya et al., 2019) que mencionan que el secar en ventana refractiva ayuda a la conservación de propiedades, observándose una diferencia de valor estadísticamente significativa lo que cual se debe deber al mayor tiempo de exposición al calor así como la humedad relativa que existía al momento del secado ya que el ΔE se ve afectada por esta, tal como se señala en Ramírez et al., (2017).

Por otro lado, al analizar los parámetros por separado se puede observar que en todos se obtiene una diferencia significativa respecto a lo obtenido en el proceso de liofilización, el cual posee un color visiblemente más claro tal como se menciona en Ceballos et al., (2012) y Martínez-Navarrete et al., (2019).

4.2.3 Humedad

Respecto a la humedad se puede observar que los siguientes datos:

Tabla 5. Resultados de Humedad

Tipo de Muestra	Humedad (g/g) ¹
Manzana escaldada	0,868 ± 0,003 ^a
Manzana Impregnada	0,903 ± 0,009 ^b
Manzana seca en VR	0,057 ± 0,002 ^c
Manzana seca en SC	0,064 ± 0,004 ^c
Manzana Liofilizada	0,033 ± 0,005 ^d

¹ Letras a, b, c y d indican diferencias significativas entre las medias según el método de rangos múltiples de Duncan con 95% de significancia

Respecto a la humedad de las muestras de manzana se obtuvo que en el proceso de impregnación aumento estadísticamente significativo en comparación con la humedad de la manzana escaldada ($p= 0,0036$). Por otro lado, respecto a las manzanas deshidratadas se puede observar que las humedades finales para el caso de las tecnologías de ventana refractiva, así como de secado convencional no presentan una diferencia significativa, obteniéndose un valor ligeramente menor para el caso de la ventana refractiva, siendo la principal diferencia el tiempo de secado el que es significativamente menor en el caso de esta última. Por otro lado, respecto a las manzanas liofilizadas se obtiene una humedad de 3,3%, lo cual se encuentra del rango de 1 a 4 % de humedad que posee un alimento liofilizado normalmente (Freeze-Drying Fundamentals, 2018).

4.2.4 Sólidos Solubles

Se realizó la medición de los sólidos solubles por medio de la disolución obteniéndose los siguientes resultados en base seca (Tabla 6)

Tabla 6. Resultados determinación de sólidos solubles

Tipo de Muestra	Sólidos Solubles [g/g]
Manzana escaldada	0,528± 0,079
Manzana Impregnada	0,571± 0,040

A partir de los datos obtenidos se puede observar que si bien existe una diferencia en los sólidos solubles en la mazana impregnada en comparación con la manzana escaldada, lo cual se puede deber a que la solución de impregnación posee jugo de manzana, que podría generar un aumento en el nivel de sólidos disueltos (en este caso azúcar) en el producto, la diferencia no es estadísticamente significativa ($p > 0,05$) tal como lo obtenido en estudios como García et al., (2018) donde en jugo de manzana se impregnaron distintas cepas como *L. plantarum* 49 y *L. paracasei* obteniendo que no se observan una diferencia significativa en los sólidos solubles al introducir los probióticos en este. Y asimismo Oliveira et al., (2017) llegó a la misma conclusión en la impregnación a vacío de probióticos en matrices de melón.

4.3 Cinética de Secado

Para el cálculo de la cinética de secado se determina la velocidad de secado en primera instancia con el fin de identificar el proceso de velocidad constante y así determinar los puntos en los que existen los procesos difusivos en las muestras, obteniéndose los siguientes gráficos (Figura 14; Figura 15):

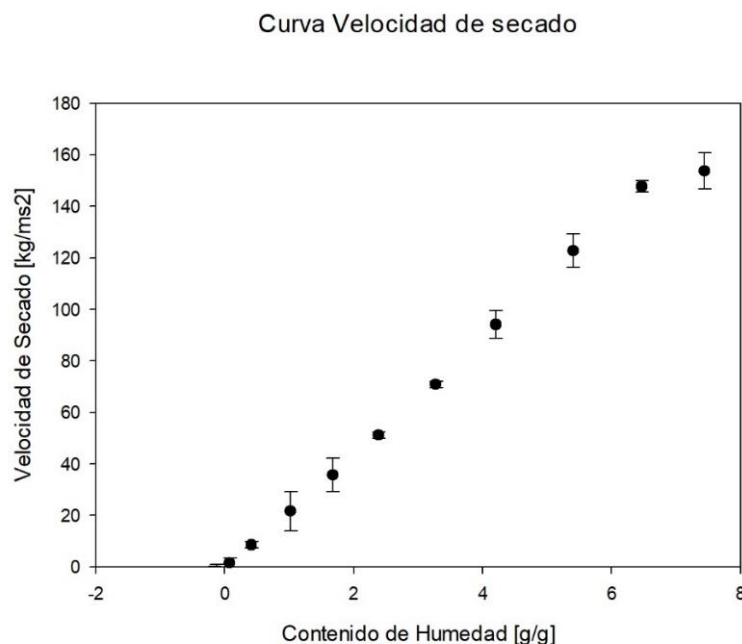


Figura 14. Curva Velocidad de secado VR

Curva Velocidad de secado SC

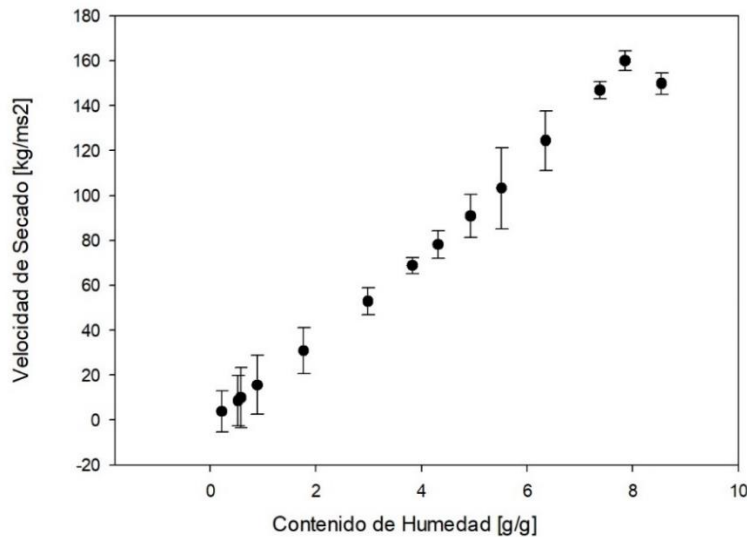


Figura 15. Curva velocidad de secado SC

Donde a partir de la Figura N°14, se puede observar que existe una velocidad que puede ser considerada constante en los primeros 2 puntos de la curva de derecha a izquierda. Por otro lado, para el caso del secado por método convencional (Figura 15) se observa una inestabilidad mayor en el inicio, sin embargo, se igual manera se considera una velocidad constante en los primeros 3 puntos.

4.4 Determinación Coeficiente de Difusión

En primer lugar, se determina el ajuste de los modelos a la curva de humedad adimensional obtenido desde el secado en ventana refractiva de la manzana impregnada considerando la información anterior, así como la humedad adimensional menor 0,6 con el fin de utilizar la forma simplificada, luego por medio de una regresión no lineal se obtiene el siguiente ajuste con los respectivos parámetros (Tabla N°7):

Tabla 7. Ajuste modelo Ley de Fick y difusión anómala Secado en Ventana Refractiva

Cinética de difusión Ventana Refractiva					
Modelo	$D_{eff} \left[\frac{m^2}{s^\alpha} \right]$	$\alpha [-]$	SSE	R^2	R^2 Ajustado
Fick	$3.576 \pm 0.398 \cdot 10^{-10}$	1	0.0340	0.834	0.834
Anómalo	$2.112 \pm 2.390 \cdot 10^{-13}$	$1.965 \pm 0,197$	0.0046	0.978	0.978

Cinética de Difusión VR

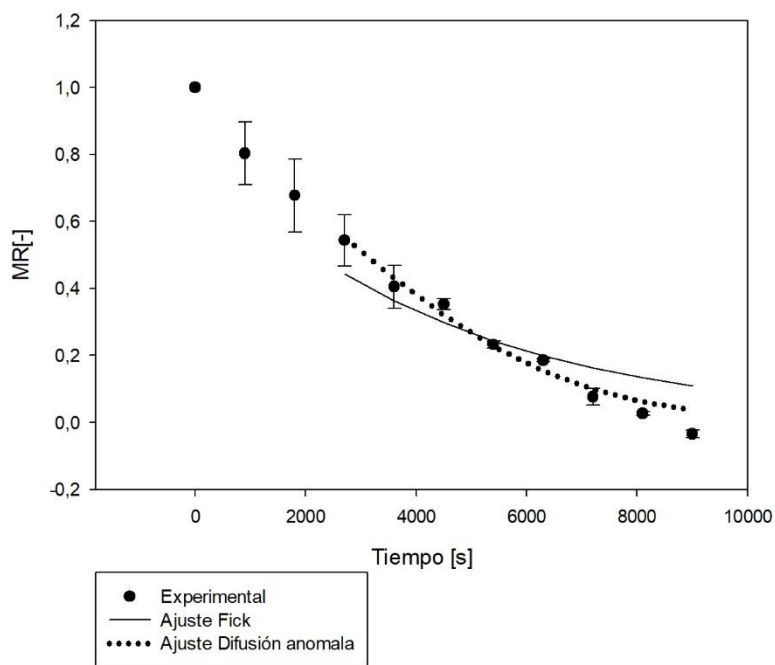


Figura 16. Cinética de Difusión VR

De forma similar se realiza el ajuste para el secado de la manzana en el horno convectivo, obteniéndose los siguientes parámetros y ajuste (Tabla N°8).

Tabla 8. Ajuste modelo Ley de Fick y difusión anómala Secado Convencional

Cinética de difusión Secado Convencional					
Modelo	$D_{eff} \left[\frac{m^2}{s^\alpha} \right]$	α	SSE	R^2	R^2 Ajustado
Fick	$2.023 \pm 0.158 \cdot 10^{-10}$	1	0.0959	0.736	0.736
Anómalo	$7.570 \pm 9.86 \cdot 10^{-14}$	2.088 ± 0.377	0.0117	0.961	0.961

Cinética de Difusión SC

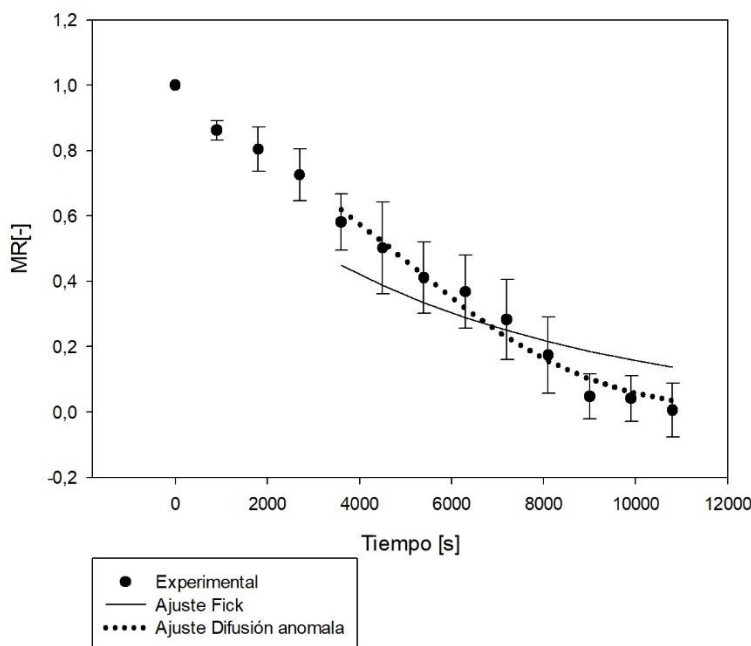


Figura 17. Cinética de difusión SC

A partir de ambas curvas de secado (Figura 16 y 17) se puede observar que los valores de coeficiente de difusión de Fick dan valores entre $2-3 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, cuyos valores dan en concordancia y del mismo orden de magnitud que en el caso de estudios como Franco et al. (2019) y Rajoriya et al., (2019.) Así como también se puede observar un valor mayor para el caso del secado en ventana refractiva, esto debido a que se ha demostrado que el proceso de difusión en ventana refractiva puede ser descrito por el modelo de Fick de mejor manera que en el caso de secado convencional (Rajoriya et al., 2019), sin embargo, el ajuste para curvas de secado es significativamente mejor al modelo de difusión anómala obteniendo valores de R^2 de 0.978 y 0.961 versus 0.834 y 0.736 para los secados en ventana refractiva y secado convencional, respectivamente.

Por otro lado parte en el caso del modelo de difusión anómala se puede observar que en ambos casos se obtiene un $\alpha > 1$, lo cual indica que la difusión en las rodajas de manzana se realiza en proceso superdifusivo tal como sugiere Ramírez et al., (2017) y con un valor de α mayor en el caso del secado convencional que en ventana refractiva, lo que cual va en concordancia con lo obtenido en el ajuste de Fick, dando valores de α similares que en el caso de Rajoriya et al., (2019), el cual reporta un valor 1.620 para una temperatura de 60°C en el caso de ventana refractiva y 2.257 en el caso de secado con aire caliente.

Por otra parte, considerando el valor del coeficiente de difusión anómala, se obtiene que en el caso de las manzanas secas en ventana refractiva se obtiene un valor de $2.112 \cdot 10^{-13} \pm 2.390 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}^\alpha$ cuyo valor se encuentra dentro del rango obtenido en estudios como Hernández et al., (2020) el cual obtuvo un valor de $1,70 \pm 0,01 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}^\alpha$ considerando una temperatura de 55 °C Por otro lado, en el secado convencional se obtuvo un coeficiente de difusión de $7.570 \pm 9.86 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}^\alpha$ lo cual da en el orden de lo obtenido en el caso Rajoriya et al., (2019) que obtuvo un valor de $2.83 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}^\alpha$ para manzanas deshidratadas a 60 °C.

A partir de los datos obtenidos se puede observar que, los coeficientes de difusión obtenidos en el secado de los snacks con probióticos presentan valores similares a lo obtenido por otros estudios como Hernández et al., (2020) y Rajoriya et al., (2019), por lo que no se puede determinar si es que existe una influencia de la solución de impregnación en el proceso difusivo que ocurre en las rodajas de manzana.

5 Conclusiones y Recomendaciones

En la presente investigación se estudió el desarrollo de un snack de manzana Granny Smith probiótico por medio de la impregnación a vacío y la deshidratación por medio del secado convencional, ventana refractiva y liofilización., lográndose la obtención de un alimento probiótico para el caso de un secado en ventana refractiva, así como liofilización, mientras que para el caso de secado convencional no se obtuvo la cantidad de UFC necesaria para la clasificación.

Por otro lado, respecto al color se puede observar que existe una diferencia de color significativa para el secado convencional y la tecnología de ventana refractiva respecto a la manzana liofilizada, siendo menor para el caso de la ventana refractiva por lo que se recomienda realizar estudios con panel sensorial para determinar la aceptabilidad.

A partir de la determinación del coeficiente de difusión en el proceso de secado convencional y por ventana refractiva se determinó que la cinética se ajusta de mejor manera al modelo de difusión anómala, obteniéndose un $\alpha > 1$, que señala que el proceso de difusión en las rodajas de manzana corresponde a un proceso superdifusivo.

Al comparar los tres métodos de secado, se obtiene que el método que genera un producto con una mayor conservación de bacterias impregnadas y visiblemente atractivo corresponde al proceso de liofilización. Sin embargo, al considerar la duración del proceso, la ventana refractiva posee una clara ventaja, ya que significa una reducción del 85 % en tiempo en comparación a la liofilización que requiere 24 horas, lo que hace mucho más costoso a este último. Por lo que en resumen se puede considerar la utilización de la tecnología de ventana refractiva, ya que permite obtención de un producto que cumple con ser probiótico y con características organolépticas que hacen al snack potencialmente comerciable.

Se recomienda realizar análisis de medición de textura, polifenoles totales y capacidad antioxidantes. Asimismo, se recomienda evaluar el proceso de congelación de la manzana previo a la liofilización debido a que el producto liofilizado presenta un cierto nivel de fragilidad y por otro lado evaluar el proceso de rehidratación del producto.

6 Referencias

- Abonyi, B. i., Feng, H., Tang, J., Edwards, C. g., Chew, B. p., Mattinson, D. s., & Fellman, J. k. (2002). Quality Retention in Strawberry and Carrot Purees Dried with Refractance Window™ System. *Journal of Food Science*, 67(3), 1051–1056. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09452.x>
- Affairs, O. of R. (2018). Water Activity (aw) in Foods. *FDA*. <https://www.fda.gov/inspections-compliance-enforcement-and-criminal-investigations/inspection-technical-guides/water-activity-aw-foods>
- Akman, P. K., Uysal, E., Ozkaya, G. U., Tornuk, F., & Durak, M. Z. (2019). Development of probiotic carrier dried apples for consumption as snack food with the impregnation of *Lactobacillus paracasei*. *LWT*, 103, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.070>
- Antal, T., & Kerekes, B. (2016). Investigation of Hot Air- and Infrared-Assisted Freeze-Drying of Apple. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(2), 257–269. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12603>
- arvensisagro. (2014, marzo 15). ¿Que importancia tienen los grados brix en la fruta? ¿Y que son los grados brix? *Arvensis Agro*. <https://www.arvensis.com/es/blog-que-importancia-tienen-los-grados-brix-en-la-fruta-y-que-son-los-grados-brix/>
- Assegehegn, G., Brito-de la Fuente, E., Franco, J. M., & Gallegos, C. (2019). The Importance of Understanding the Freezing Step and Its Impact on Freeze-Drying Process Performance. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 108(4), 1378–1395. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.11.039>
- Betoret, E., Betoret, N., Rocculi, P., & Dalla Rosa, M. (2015). Strategies to improve food functionality: Structure–property relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 46(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.006>

- Betoret, N., Puente, L., Díaz, M. J., Pagán, M. J., García, M. J., Gras, M. L., Martínez-Monzó, J., & Fito, P. (2003). Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 56(2), 273–277. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00268-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00268-6)
- BioNatural Fruits. (2023). *Manzana Granny Smith* | BioNatural Fruits. <https://bionaturalfruits.com/es/mercat/poma-granny-smith/>
- Bonazzi, C., & Dumoulin, E. (2011). Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. En *Modern Drying Technology* (pp. 1–20). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9783527631667.ch1>
- Brennan, J. G. (1998). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. Acribia, Editorial, S.A.
- Cáceres R, P., & Gotteland R, M. (2010). Probiotics in Chile Which are the strains and what are their effects on human health? *Revista chilena de nutrición*, 37(1), 97–109. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182010000100010>
- Cajamar. (2014, 09). *Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria* - Cajamar Caja Rural. <https://www.cajamar.es/es/agroalimentario/innovacion/investigacion/documentos-y-programas/fichas-de-transferencia/parametros-de-calidad-interna-de-hortalizas-y-frutas-en-la-industria-agroalimentaria/>
- Capurso, L. (2019). Thirty Years of *Lactobacillus rhamnosus* GG: A Review. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 53 Suppl 1, S1–S41. <https://doi.org/10.1097/MCG.0000000000001170>
- Carrascosa Morelló, A. (2019). Obtención de aperitivos de manzana con efecto probiótico mediante impregnación con *Lactobacillus paracasei* [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/128039>

- Ceballos, A. M., Giraldo, G. I., & Orrego, C. E. (2012). Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.010>
- Crank, J. (1979). *The Mathematics of Diffusion*. Clarendon Press.
- Cui, L., Niu, L., Li, D., Liu, C., Liu, Y., Liu, C., & Song, J. (2018). Effects of different drying methods on quality, bacterial viability and storage stability of probiotic enriched apple snacks. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 247–255. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61742-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61742-8)
- Cui, Z.-W., Li, C.-Y., Song, C.-F., & Song, Y. (2008). Combined Microwave-Vacuum and Freeze Drying of Carrot and Apple Chips. *Drying Technology*, 26(12), 1517–1523. <https://doi.org/10.1080/07373930802463960>
- de Oliveira, P. M., Ramos, A. M., Martins, E. M. F., Vieira, É. N. R., Soares, A. de S., & de Noronha, M. C. (2017). Comparison of vacuum impregnation and soaking techniques for addition of the probiotic *Lactobacillus acidophilus* to minimally processed melon. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(12), 2547–2554. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13540>
- Doron, S., Snyderman, D. R., & Gorbach, S. L. (2005). *Lactobacillus GG: Bacteriology and Clinical Applications*. *Gastroenterology Clinics*, 34(3), 483–498. <https://doi.org/10.1016/j.gtc.2005.05.011>
- Dupont Teijin Film. (2003). *Mylar® Physical Properties*.
- Fito, P., Andrés, A., Chiralt, A., & Pardo, P. (1996). Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, 27(3), 229–240. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00005-4](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00005-4)

- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J. M., Andrés, A., Martínez-Monzó, J., & Martínez-Navarrete, N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 297–302. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00226-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00226-0)
- Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Cháfer, M., Martínez-Monzó, J., Andrés, A., & Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49(2), 175–183. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00220-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00220-X)
- Franco, S., Jaques, A., Pinto, M., Fardella, M., Valencia, P., Núñez, H., Ramírez, C., & Simpson, R. (2019). Dehydration of salmon (Atlantic salmon), beef, and apple (Granny Smith) using Refractance window™: Effect on diffusion behavior, texture, and color changes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.001>
- Freeze drying. (2023). En *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Freeze_drying&oldid=1167604843
- Freeze-Drying Fundamentals*. (2018, febrero 1). <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2018/february/columns/processing-freeze-drying-foods>
- G.N., A. (2018). Vacuum Impregnation: Applications in Food Industry. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 8(2). <https://doi.org/10.30954/2277-9396.02.2018.3>
- Garcia, E. F., de Oliveira Araújo, A., Luciano, W. A., de Albuquerque, T. M. R., de Oliveira Arcanjo, N. M., Madruga, M. S., dos Santos Lima, M., Magnani, M., Saarela, M., & de Souza, E. L. (2018). The performance of five fruit-derived and freeze-dried potentially probiotic *Lactobacillus* strains in apple, orange, and grape juices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(13), 5000–5010. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9034>
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos De Transporte y Operaciones Unitarias*. CONTINENTAL.

- González-Pérez, J. E., Jiménez-González, O., Ramírez-Corona, N., Guerrero-Beltrán, J. A., & López-Malo, A. (2022). Vacuum impregnation on apples with grape juice concentrate: Effects of pressure, processing time, and juice concentration. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102981. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102981>
- Granny Smith Apples. (s. f.). Recuperado 4 de julio de 2022, de https://specialtyproduce.com/produce/Granny_Smith_Apples_2021.php
- Grattepanche, F., & Lacroix, C. (2013). 13 - Production of viable probiotic cells. En B. McNeil, D. Archer, I. Giavasis, & L. Harvey (Eds.), *Microbial Production of Food Ingredients, Enzymes and Nutraceuticals* (pp. 321–352). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093547.2.321>
- Guiné, R. (2018). The Drying of Foods and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties. *International Journal of Food Engineering*, 4. <https://doi.org/10.18178/ijfe.4.2.93-100>
- Hammami, C., René, F., & Marin, M. (1999). Process–quality optimization of the vacuum freeze-drying of apple slices by the response surface method. *International Journal of Food Science & Technology*, 34(2), 145–160. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1999.00247.x>
- Heredia, B. de, & Rosario, M. (2016). Alimentos funcionales. *Farmacia Profesional*, 30(3), 12–14. <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-alimentos-funcionales-X0213932416546681>
- Hernández, Y., Ramírez, C., Moreno, J., Núñez, H., Vega, O., Almonacid, S., Pinto, M., Fuentes, L., & Simpson, R. (2020). Effect of Refractance Window on dehydration of osmotically pretreated apple slices: Color and texture evaluation. *Journal of Food Process Engineering*, 43(2), e13304. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13304>

- Kahraman, O., Malvandi, A., Vargas, L., & Feng, H. (2021). Drying characteristics and quality attributes of apple slices dried by a non-thermal ultrasonic contact drying method. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105510. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105510>
- Konica Minolta. (2023). Entendiendo El Espacio de Color CIE L*A*B*. *Konica Minolta Sensing*. <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- Krasaekoopt, W., & Suthanwong, B. (2007). Vacuum Impregnation of Probiotics in Fruit Pieces and Their Survival During Refrigerated Storage. *Kasetsart J.*, 42.
- Manzana granny smith [Características, beneficios, origen] → Manzanas [Recetas 2020]*. (s. f.). Recuperado 4 de julio de 2022, de <https://manzanas10.com/tipos-de-manzanas/granny-smith/>
- Manzano A, C., Estupiñán G, D., & Poveda E, E. (2012). Efectos Clínicos De Los Próbióticos: Qué Dice La Evidencia. *Revista chilena de nutrición*, 39(1), 98–110. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000100010>
- Marques, L. G., Silveira, A. M., & Freire, J. T. (2006). Freeze-Drying Characteristics of Tropical Fruits. *Drying Technology*, 24(4), 457–463. <https://doi.org/10.1080/07373930600611919>
- Martínez-Navarrete, N., Salvador, A., Oliva, C., & Camacho, M. M. (2019). Influence of biopolymers and freeze-drying shelf temperature on the quality of a mandarin snack. *LWT*, 99, 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.040>
- Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Vanzela, E. S. L., Stringheta, P. C., de Oliveira Pinto, C. L., & Martins, J. M. (2013). Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. *Food Research International*, 51(2), 764–770. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.047>
- Maupoey, P. F. (2001). *Introducción al Secado De Alimentos Por Aire Caliente*. Universitat Politècnica de València.

- Morales, J., & Vélez-Ruiz, J. (2014). Deshidratación de frutas y hortalizas por Ventana Refractiva® - Dehydration of fruits and vegetables for Refractance Window™. *Revista Reciteia ISSN 2027-6850*, 13, 35–46.
- Mordor Intelligence. (2023). Tamaño del mercado de alimentos funcionales y análisis de acciones - Informe de investigación de la industria - Tendencias de crecimiento. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/global-functional-food-market>
- Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López-Malo, A., Palou, E., & Welte-Chanes, J. (2003). Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. *Journal of Food Engineering*, 56(4), 307–314. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00155-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00155-3)
- Mujumdar, A. S. (Ed.). (2006). Principles, Classification, and Selection of Dryers. En *Handbook of Industrial Drying* (3ª ed.). CRC Press.
- Nindo, C. I., & Tang, J. (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology*, 25(1), 37–48. <https://doi.org/10.1080/07373930601152673>
- Nindo, C. I., Feng, H., Shen, G. Q., Tang, J., & Kang, D. H. (2003). Energy Utilization and Microbial Reduction in a New Film Drying System. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27(2), 117–136. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2003.tb00506.x>
- Noorbakhsh, R., Yaghmaee, P., & Durance, T. (2013). Radiant energy under vacuum (REV) technology: A novel approach for producing probiotic enriched apple snacks. *Journal of Functional Foods*, 5(3), 1049–1056. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.02.011>
- Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). The Freeze-Drying of Foods—The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials. *Foods*, 9(10), 1488. <https://doi.org/10.3390/foods9101488>

Obtención de aperitivos de manzana con efecto probiótico mediante impregnación con Lactobacillus paracasei. (s. f.). Recuperado 23 de julio de 2022, de <https://riunet.upv.es/handle/10251/128039>

Ochoa-Martínez, C. I., Quintero, P. T., Ayala, A. A., & Ortiz, M. J. (2012). Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *Journal of Food Engineering*, 109(1), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.032>

Oliveira, A. S., Niro, C. M., Bresolin, J. D., Soares, V. F., Ferreira, M. D., Sivieri, K., & Azeredo, H. M. C. (2021). Dehydrated strawberries for probiotic delivery: Influence of dehydration and probiotic incorporation methods. *LWT*, 144, 111105. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111105>

Optibac Probiotic. (2022). *Lactobacillus rhamnosus GG®* | Database. Optibac Probiotics by Probiotic Professionals. <https://www.optibacprobiotics.com/professionals/probiotics-database/lactobacillus/lactobacillus-rhamnosus/lactobacillus-rhamnosus-lgg>

Orrego Alzate, C. E. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10647>

Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A.-J. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>

Pimentel, T. C., Madrona, G. S., & Prudencio, S. H. (2015). Probiotic clarified apple juice with oligofructose or sucralose as sugar substitutes: Sensory profile and acceptability. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1, Part 2), 838–846. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.001>

Putranto, A., & Chen, X. D. (2019). Drying in biotechnology. En *Comprehensive Biotechnology* (pp. 820–833). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00102-6>

- Rahman, M. S., & Perera, C. O. (2020). Quality Changes during Drying of Foods. En *Handbook of Food Preservation* (3^a ed.). CRC Press.
- Rajoriya, D., Shewale, S. R., & Hebbar, H. U. (2019). Refractance Window Drying of Apple Slices: Mass Transfer Phenomena and Quality Parameters. *Food and Bioprocess Technology*, 12(10), 1646–1658. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02334-7>
- Ramírez, C., Astorga, V., Nuñez, H., Jaques, A., & Simpson, R. (2017). Anomalous diffusion based on fractional calculus approach applied to drying analysis of apple slices: The effects of relative humidity and temperature. *Journal of Food Process Engineering*, 40(5), e12549. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12549>
- Refractance Window food drying system delivers quality product efficiently.* (s. f.). Recuperado 23 de julio de 2022, de <https://www.foodonline.com/doc/refractance-window-food-drying-system-deliver-0001>
- Rodríguez-Barona, S., Giraldo, G. I., & Zuluaga, Y. P. (2015). Evaluación de la Incorporación de Fibra Prebiótica sobre la Viabilidad de *Lactobacillus casei* Impregnado en Matrices de Mora (*Rubus glaucus*). *Información tecnológica*, 26(5), 25–34. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500005>
- Saydam, D. D., Dakak, R., & Dalgiç, A. Ç. (2019). A preliminary study of probiotic apple snack production with assisting food technologies. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(3), 324–334. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.499249>
- Scrimshaw, N. S. (2005). La Fortificación de Alimentos: Una Estrategia Nutricional Indispensable. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 18(1), 64–68. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0798-07522005000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Segers, M. E., & Lebeer, S. (2014). Towards a better understanding of *Lactobacillus rhamnosus* GG - host interactions. *Microbial Cell Factories*, 13(1), S7. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-S1-S7>
- Shukla, S. (2011). *Freeze Drying Process: A Review*. 2. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.2\(12\).3061-68](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.2(12).3061-68)
- Simpson, R., Jaques, A., Nuñez, H., Ramirez, C., & Almonacid, A. (2013). Fractional Calculus as a Mathematical Tool to Improve the Modeling of Mass Transfer Phenomena in Food Processing. *Food Engineering Reviews*, 5(1), 45–55. <https://doi.org/10.1007/s12393-012-9059-7>
- Simpson, R., Ramírez, C., Birchmeier, V., Almonacid, A., Moreno, J., Nuñez, H., & Jaques, A. (2015). Diffusion mechanisms during the osmotic dehydration of Granny Smith apples subjected to a moderate electric field. *Journal of Food Engineering*, 166, 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.027>
- Singh, S., Singh, M., & Gaur, S. (2022). Probiotics as multifaceted oral vaccines against colon cancer: A review. *Frontiers in Immunology*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fimmu.2022.1002674>
- Tang, X., & Pikal, M. J. (2004). Design of freeze-drying processes for pharmaceuticals: practical advice. *Pharmaceutical Research*, 21(2), 191–200. <https://doi.org/10.1023/b:pham.0000016234.73023.75>
- Trade Map. (s. f.). *Trade Map - List of importing markets for the product exported by Chile in 2021*. Recuperado 5 de julio de 2022, de https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry.aspx?nvpm=1.
- Vijaya Kumar, B., Vijayendra, S. V. N., & Reddy, O. V. S. (2015). Trends in dairy and non-dairy probiotic products - a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6112–6124. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1795-2>

- White, J., & Hekmat, S. (2018). Development of Probiotic Fruit Juices Using *Lactobacillus rhamnosus* GR-1 Fortified with Short Chain and Long Chain Inulin Fiber. *Fermentation*, 4(2), 27. <https://doi.org/10.3390/fermentation4020027>
- WHO. (2023). *Food fortification*. World Health Organisation. <https://www.who.int/health-topics/food-fortification>
- World Gastroenterology Organisation (WGO). (2011). *Guía Práctica de la Organización Mundial de Gastroenterología: Probióticos y prebióticos*. <https://www.worldgastroenterology.org/UserFiles/file/guidelines/probiotics-and-prebiotics-spanish-2017.pdf>
- Zhang, L., Yu, X., Yagoub, A. E. A., Xia, G., & Zhou, C. (2022). Effect of vacuum impregnation assisted probiotics fermentation suspension on shelf life quality of freshly cut lotus root. *Food Chemistry*, 381, 132281. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132281>
- Zhao, Y., & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15(9), 434–451. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.01.008>.
- Zielinska, M., & Michalska, A. (2016). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*, 212, 671–680. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.003>.
- Zura-Bravo, L., Rodriguez, A., Stucken, K., & Vega-Gálvez, A. (2019). Drying kinetics of probiotic-impregnated murta (*Ugni molinae* T.) berries. *Journal of Food Science and Technology*, 56(1), 103–113. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3463-9>

7 ANEXOS

Tabla 9. Resultados mediciones Actividad de agua

Actividad de agua					
Muestra	1	2	3	4	5
Manzana Escaldada	0,987	0,984	0,985	0,987	0,993
Manzana Impregnada	0,970	0,956	0,977	0,958	0,992
Manzana Escaldada VR	0,371	0,362	0,386	0,398	0,392
Manzana Impregnada VR	0,372	0,357	0,398	0,321	0,404
Manzana Impregnada SC	0,398	0,382	0,402	0,399	0,386
Manzana Liofilizada	0,248	0,247	0,254	0,342	0,268

Tabla 10. Resultados Humedad

Humedad			
	1	2	3
Manzana Escaldada	0,9094	0,8921	0,9077
Manzana Impregnada	0,8714	0,8656	0,8663
Manzana Impregnada VR	0,0587	0,0554	
Manzana Impregnada SC	0,0672	0,0614	
Manzana Liofilizada	0,0338	0,0272	0,0372

Tabla 11. Cálculos solidos Solubles

Manzana Escaldada			
	1	2	3
masa agua	2,752	2,306	2,403
masa Manzana	24,609	24,512	24,425
A	0,700	0,800	0,700
Xss	0,069	0,093	0,078
Z	0,457	0,612	0,514
Manzana Impregnada			
	1	2	3
masa agua	2,572	2,447	2,447
masa Manzana	24,780	24,675	24,485
A	0,600	0,600	0,600
H	0,064	0,066	0,066
Xss	0,577	0,602	0,597

Tabla 12. Resultados medición de color

Manzana Escaldada					
	1	2	3	4	Prom
L	68,61	68,57	68,95	67,9	68,51
a	-5,02	-5,23	-5,42	-5,47	-5,29
b	17,6	18,14	17,23	24,37	19,34
Manzana Impregnada					
	1	2	3	4	Prom
L	69,09	70,36	72,01	69,98	70,36
a	-4,38	-5,5	-5,93	-4,99	-5,20
b	19,96	21,9	20,47	18,94	20,32
Manzana Escaldada VR					
	1	2	3	4	Prom
L	79,49	80,67	82,2		80,79
a	-2,29	-3,008	-3,24		-2,85
b	24,3	25,11	26,24		25,22
Manzana Impregnada VR					
	1	2	3	4	Prom
L	82,64	81,02	81,8	82,79	82,06
a	-3,26	-2,31	-1,61	-2,77	-2,49
b	25,42	22,09	23,1	25,42	24,01
Manzana Impregnada SC					
	1	2	3	4	Prom
L	79,99	82,82	82,48	80,38	81,42
a	-3,81	-2,73	-3,1	-2,98	-3,16
b	27,55	26,63	24,7	28,9	26,95
Manzana Liofilizada					
	1	2	3	4	Prom
L	83,09	84,58	84,81	84,62	84,28
a	-3,8	-3,63	-3,86	-4,01	-3,83
b	19,87	20,11	20,26	20,53	20,19

Tabla 13. Datos Cinética de difusión VR EXP 1

tiempo [s]	m inicial 1	m final 1	m inicial 2	m final 2	MR1	MR2
0	3,622	3,622	3,598	3,356	1,000	1,000
900	3,993	3,465	3,988	3,356	0,851	0,888
1800	3,978	3,009	3,964	2,998	0,726	0,784
2700	3,945	2,629	3,884	2,267	0,625	0,572
3600	3,783	1,840	3,777	1,920	0,423	0,480
4500	3,750	1,598	3,747	1,583	0,355	0,374
5400	3,727	1,163	3,720	1,113	0,227	0,223
6300	3,716	0,808	3,713	1,209	0,120	0,256
7200	3,633	0,594	3,622	0,596	0,059	0,058
8100	3,617	0,478	3,528	0,523	0,024	0,038
9000	3,458	0,297	3,448	0,339	-0,028	-0,023
9900	3,444	0,261	3,443	0,403	-0,039	0,000
10800	3,429	0,271	3,387	0,303	-0,035	-0,034
11700	3,375	0,265	3,350	0,281	-0,036	-0,041
12600	3,278	0,269	3,241	0,269	-0,032	-0,042
13500	3,201	0,354	3,163	0,263	0,000	-0,042

Tabla 14. Datos Cinética de difusión VR EXP 2

Tiempo [s]	m inicial 1	m final 1	m inicial 2	m final 2	MR1	MR2
0	3,268	3,268	3,237	3,237	1,000	1,000
900	3,806	2,907	3,798	2,969	0,726	0,747
1800	3,625	2,359	3,600	2,373	0,596	0,605
2700	3,584	1,829	3,539	2,154	0,433	0,547
3600	3,530	1,612	3,519	1,540	0,371	0,349
4500	3,420	1,470	3,390	1,464	0,340	0,342
5400	3,388	1,513	3,386	0,814	0,359	0,120
6300	3,353	1,286	3,325	0,684	0,286	0,080
7200	3,269	0,766	3,287	0,660	0,113	0,074
8100	3,269	0,575	3,222	0,440	0,046	0,000
9000	3,205	0,316	3,156	0,316	-0,044	-0,042
9900	3,081	0,270	2,994	0,222	-0,057	-0,072
10800	2,986	0,234	2,944	0,228	-0,067	-0,068
11700	2,963	0,260	2,869	0,291	-0,057	-0,041
12600	2,819	0,274	2,755	0,217	-0,046	-0,067
13500	2,719	0,280	2,771	0,211	-0,039	-0,070

Tabla 15-. Datos Cinética de difusión SC

tiempo [s]	m inicial 1	m final 1	m inicial 2	m final 2	m inicial 3	m final 3	MR1	MR2	MR3
0	3,250	3,250	3,223	3,223	3,475	3,475	1,000	1,000	1,000
900	3,778	3,426	3,738	3,360	4,099	3,604	0,894	0,884	0,860
1800	3,725	3,242	3,709	3,266	3,918	3,274	0,853	0,863	0,810
2700	3,627	2,811	3,626	2,950	3,883	3,153	0,745	0,786	0,783
3600	3,428	2,334	3,448	1,935	3,756	2,764	0,638	0,497	0,695
4500	3,425	2,247	3,392	1,927	3,671	2,490	0,610	0,505	0,628
5400	3,389	1,686	3,333	1,876	3,599	2,040	0,430	0,499	0,499
6300	3,327	1,663	3,324	1,746	3,598	1,841	0,432	0,456	0,435
7200	3,301	1,441	3,232	1,467	3,539	1,575	0,361	0,374	0,358
9000	3,170	0,999	3,174	1,052	3,429	0,909	0,223	0,234	0,150
10800	3,162	0,640	3,150	0,447	3,119	0,664	0,095	0,017	0,090
12600	2,999	0,356	2,961	0,381	3,268	0,441	0,000	0,002	0,000
14400	2,956	0,247	2,955	0,376	2,823	0,256	-0,040	0,000	-0,051
16200	2,899	0,255	2,851	0,231	2,816	0,249	-0,035	-0,152	-0,054
18000	2,851	0,239	2,829	0,234	2,79	0,218	-0,040	-0,150	-0,066
19800	2,706	0,224	2,628	0,249	2,674	0,22	-0,041	-0,135	-0,061

Tabla 16. Recuento solución e Impregnación

Solución		Impregnada	
Factor	UFC	# Colonias	UFC
149	1,5,E+09	100	1,0,E+07
129	1,3,E+09	110	1,1,E+07
33	3,3,E+08	86	8,6,E+06
30	3,0,E+08	103	1,0,E+07
138	1,4,E+09	130	1,3,E+07
64	6,4,E+08	114	1,1,E+07

Tabla 17. Recuentos Manzanas deshidratadas

Manzanas secas					
VR		SC		Liofilización	
# Colonias	UFC	# Colonias	UFC	# Colonias	Factor
35	3,5,E+06	75	7,5,E+05	229	2,3,E+07
40	4,0,E+06	83	8,3,E+05	135	1,4,E+07
34	3,4,E+06	35	3,5,E+05	106	1,1,E+07
26	2,6,E+06	40	4,0,E+05	60	6,0,E+06