

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las manzanas deshidratadas, son productos que se vienen elaborando desde la antigüedad hasta nuestros días, según (Barrera, 2017), la manzana deshidratada es catalogada “como un alimento nutritivo, práctico, ricos en vitaminas, minerales, fibras y proteínas que benefician el cuerpo manteniendo al organismo saludable”. Por otro lado, (Humacata, 2019) describe a las frutas deshidratadas como alimentos que poseen ventajas técnico-económicas sobre las frutas frescas, son de calidad similar, tienen mayor vida útil (consecuentemente disponibilidad durante todo el año), al mismo tiempo que ofrece la posibilidad de desarrollar nuevos productos de acuerdo con la tecnología utilizada y/o componentes agregados.

A través de la historia el secado de frutas es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de los alimentos. Ya en la era paleolítica, hace unos 400.000 años, se secaban al sol alimentos como frutas, granos, vegetales, carnes y pescados, aprendiendo mediante ensayos y errores, para conseguir una posibilidad de subsistencia en épocas de escasez de alimentos, no solo necesarios, sino que también nutritivos (Deik, 2018).

Esta técnica de conservación trata de preservar la calidad de los alimentos bajando la actividad de agua mediante la disminución del contenido de humedad, evitando así el deterioro y contaminación microbiológica de los mismos durante el almacenamiento. Para ello se pueden utilizar varios métodos de deshidratación, tales como la deshidratación por ósmosis, secado solar, secado por aire caliente, atomizador entre otros (Deik, 2018).

En cuanto técnica seleccionada “deshidratación por ósmosis y secado por aire caliente”, es una técnica combinada, se destaca por dar la posibilidad de insertar sólidos deseables al alimento mediante la ósmosis inversa, lo que le convierte al alimento en un deshidratado con atributos especiales, pudiéndose constatar mediante trabajos exitosos de investigación en Tarija, como el caso de la deshidratación de la papaya,

frutilla, mango, durazno, arándano, palta entre otros, en la “universidad Autónoma Juan Misael Saracho”.

1.2 Mercado internacional de las manzanas deshidratadas

En cuanto al mercado a nivel internacional de las manzanas deshidratadas, Estados Unidos y Europa, son los principales importadores, los Estados Unidos encabeza la lista con el 12,9% del total de importaciones. Le siguen, en importancia, el mercado alemán (8,8%), el ruso (5,8%), el neerlandés (5,6%), y el del Reino Unido (5,4%), entre otros. Ver figura 1-1.

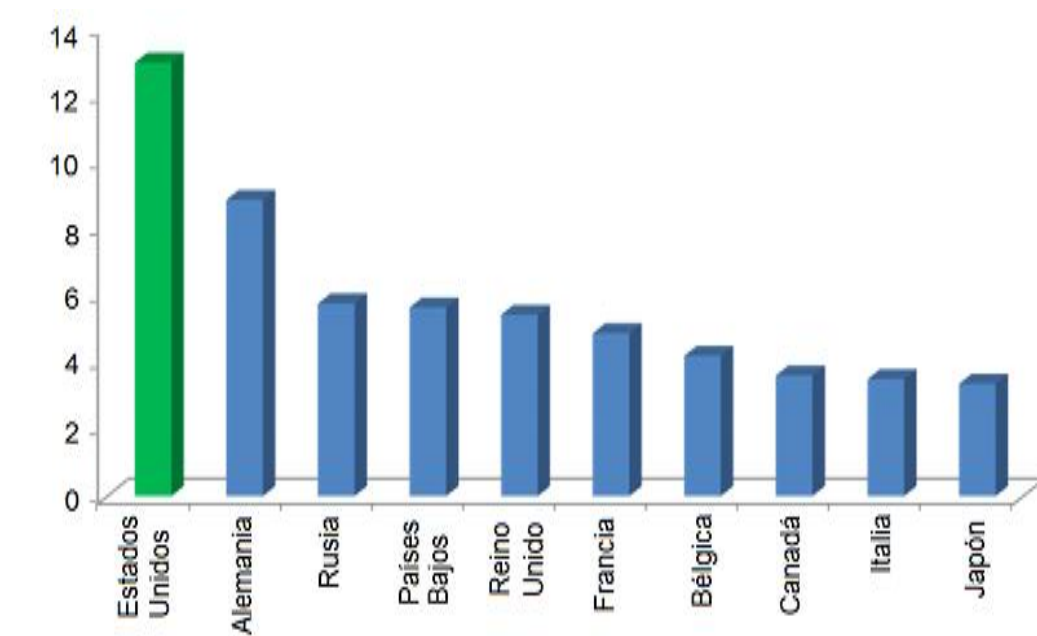


Figura 1-1. Principales importadores de frutas deshidratadas en el mundo 2016.

Fuente: UN COMTRADE, 2018.

En cuanto al mercado mundial de mezcla de frutas deshidratadas, los principales compradores son el Reino Unido (18,8% de las importaciones totales), seguido por Kazajistán (11,7%), Alemania (9,8%), Francia (8,1%), Bélgica (5,5%), entre otros (véase el gráfico 2). En el presente estudio, Europa es el mercado potencial para las exportaciones de snacks nutritivos con base en fruta deshidratada, por la gran demanda existente de este tipo de producto. En El Salvador se han enviado a Inglaterra algunas

exportaciones de semilla de marañón (nuez de la India), aunque también se contempla la opción de hacerlo a los Estados Unidos, dado que en El Salvador también existen unas cuantas empresas de productos deshidratados que venden sus insumos a este mercado (aunque en pequeña escala). Entre los principales proveedores del Reino Unido se encuentran Italia (46,4% del total de sus importaciones), Francia (34,3%), Alemania (12%), Turquía (2,6%) y España (1,6%). En otras palabras, prácticamente son europeos los que exportan al Reino Unido este tipo de snack, y su participación conjunta suma casi el 97%. (Romero, et..all, 2016).

1.3 Mercado nacional

El negocio de la manzana en Bolivia es una actividad importante en la generación de ingreso y empleo de pequeños productores principalmente en el área rural. Como fruta de clima templado se produce principalmente en los valles de los departamentos de: Cochabamba, Chuquisaca, Tarija, La Paz, Potosí y Santa Cruz. Ver tabla I-1 y figura 1-2.

Tabla I-1. Exportación e importación de frutos secos

Exportaciones de frutos secos según departamento en 2017 y avance a marzo de 2018 (p)					
(En kilogramos brutos y dólares)	Departamento	2017		2018	
		Volumen	Valor	Volumen	Valor
	Cochabamba	37.424	145.320	9.487	87.794
	Santa Cruz	726	24.434	412	9.904
	Total exportado	38.151	169.754	9.898	97.698

Fuente: Instituto Boliviano de Comercio Exterior [IBCE], 2019.



Figura I-2. Importaciones de frutos secos

Fuente: IBCE, 2019.

“Las exportaciones bolivianas de frutos secos desde 2013 alcanzaron más de un millón de dólares por la venta de casi 200 toneladas hasta el primer trimestre de 2018. En 2017 se exportó frutos secos a siete países, destacándose Costa Rica como el mayor comprador, con una participación del 51% sobre el total exportado; le siguió España y Estados Unidos”, explicó Jimena León, jefa de la Unidad de Estadísticas del IBCE, en respuesta a un cuestionario enviado por este rotativo. (Villa, 2018).

1.4 Mercado a nivel regional

El nivel de producción de manzana en Tarija según el Instituto Nacional de Estadística [INE], 2013., es el siguiente:

Tabla I-2. Producción de manzana en Tarija

Cultivo	Casos	%	Acumulado %
Manzana	94,00	0,09	62,50

Fuente: INE, 2013.

La tabla I-2 muestra los datos estadísticos de la producción de manzana en Tarija, presentando una producción relativamente pequeña, llegando a situarse por debajo del 0,1 % de la producción agrícola.

Si bien estos datos de producción son pequeños, el concepto que se maneja actualmente podría cambiar significativamente si se cambia el enfoque actual de la producción de manzana mediante la aplicación de nuevas técnicas de cultivo y el otorgamiento de

valor agregado utilitario a la fruta, esto conllevaría a la mejora de la región y un perfil de atracción al sistema inversionista, ya que el clima y las condiciones del valle central de Tarija están diseñado para este cultivo e industrialización de la misma.

Por tal motivo el desarrollo de esta tesis busca fomentar la comercialización de derivados con mayor vida útil y no solo como materia prima, por tal motivo la tesis está enfocado realizar la elaboración experimental de **rodajas deshidratadas de manzana** (*Pyrus malus L, variedad Red delicious*), un producto en “contexto general” que va teniendo éxito cada vez más en distintos sectores tanto a nivel nacional como a nivel internacional, en cuanto a la variedad de la fruta se puede decir que es la indicada no solo por el sabor especial que lleva por ser una fruta de altura, sino también por los atributos en general que posee, como ser el tamaño, el color, el contenido nutricional entre otros.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Elaborar rodajas de manzana deshidratada (*Pyrus malus L, variedad Red delicious*) cultivada en el valle central de Tarija, mediante los métodos de deshidratación osmótica y tiro forzado para tener un producto de calidad.

1.5.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima: Manzana (*Pyrus malus L, variedad Red delicious*) cultivada en el valle central de Tarija.
- Ejecutar la Fase Experimental del Proceso Tecnológico de elaboración de rodajas de manzana deshidratada mediante deshidratación por ósmosis y tiro forzado.
- Caracterizar el producto obtenido rodajas de manzana deshidratada (*Pyrus malus L, variedad Red delicious*): tomando en cuenta características fisicoquímicas, así como las propiedades organolépticas del producto.
- Determinar el rendimiento, la eficiencia del Proceso Tecnológico Experimental y evaluar los resultados obtenidos de la elaboración de rodajas de manzana deshidratada (*Pyrus malus L, variedad Red delicious*).

- Determinar el costo de producción (a escala laboratorio) para la producción de rodajas deshidratadas de manzana.

1.6 Justificación

Justificación económica: las rodajas deshidratadas de manzana variedad (*Red delicious* cultivada en el valle central de Tarija, con el propósito de ofertar un producto innovador en el mercado local; permitiendo al consumidor contar con un producto de calidad nutricional y con mayor tiempo de vida útil.

Justificación tecnológica: Mediante este proyecto se desea obtener rodajas de manzana deshidratada de buena calidad, incorporando tecnologías que en nuestro medio no son usadas normalmente, como es la deshidratación por ósmosis y secado por tiro forzado, dado que este método se ajusta perfectamente a las condiciones de la región tanto económica, productiva y en calidad, es decir se caracteriza por el rendimiento elevado en la extracción de agua, así como la conservación al máximo de las propiedades nutricionales y organolépticas del producto.

Justificación social: El proyecto planifica generar más empleos en la región, más movimiento económico, mejores condiciones de vida para las personas, así como la creación alterna de un menú alimenticio, como son las rodajas de manzanas deshidratadas, un producto saludable, nutritivo, diferente a los alimentos tradicionales.

Justificación ambiental: La producción de rodajas de manzana deshidratada tendrá el siguiente efecto:

- Reducirá los malos olores de las manzanas en el campo, por efecto de la descomposición.
- Disminuirá el criadero de insectos y microorganismos patógenos de la fruta.
- En cuanto a los residuos generados como es el agua, los plásticos se puede controlar eficazmente con bajos costos económicos cumpliendo las normas en Bolivia, dado que el proceso es casi verde, los reactivos más contaminantes vendrían a ser los agentes de limpieza y el ácido cítrico que son productos orgánicos biodegradables.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia de la manzana

La manzana es una de las frutas más completas y saludables que se conocen por su contenido en hidratos de carbono, fibra, vitaminas y potasio, siendo muy recomendable para todas las edades. Dice un aforismo inglés que "una manzana diaria mantiene al doctor a distancia" (Haro y Moreu, 2018).

La manzana es el fruto del manzano (*Pyrus malus L.*), árbol de la familia de las rosáceas, a la que también pertenecen otras frutas como el melocotón, el albaricoque, la ciruela y la cereza, por citar algunos ejemplos. Aunque se desconoce el origen exacto de la manzana, se cree que procede del cruce de varias especies de manzanos silvestres europeos y asiáticos. Lo que sí se puede asegurar es que el hombre, desde la antigüedad, aprendió a cultivar el manzano y, actualmente, es uno de los árboles frutales más extendidos a nivel mundial (Haro y Moreu, 2018).

Lo primero que hay que tener en cuenta es que los médicos siempre la incluyen cuando la persona quiere bajar de peso debido a su bajo aporte de calorías. Esta fruta contiene 96 calorías y le proporciona al organismo 4,4 gramos de fibra dietética, lo cual impacta positivamente en el sistema digestivo, ayudando a mejorar los procesos de alimentación (Benitez, 2010).

Por otra parte, contiene vitamina C lo cual ayuda a mantener fuerte el sistema inmunológico y también contiene, aunque en poca cantidad, calcio, que sin duda es vital para todo el sistema óseo. Finalmente, lo que los expertos recomiendan es consumir la manzana como un snack o incluirla en las mañanas con el desayuno, acompañada de almendras, avellanas o maní, con el fin de aportarle más calorías al organismo y a su vez aumentar la energía para las actividades diarias o el entrenamiento intensivo del corredor. (Benitez, 2010)

2.1.1 Características de las manzanas en general

Las manzanas son una fuente de fibra soluble e insoluble. Fibra soluble como pectina incluso ayuda a prevenir la formación de colesterol en las paredes de los vasos sanguíneos, de modo que reduce la incidencia de enfermedades del corazón y

arteriosclerosis. La fibra insoluble de la manzana actúa como una almohadilla en la vía intestinal, reteniendo agua para limpiar y mover la comida fácilmente a través del sistema digestivo (Penelo, 2019). Ver tabla II-1.

Tabla II-1 *Composición nutricional de la manzana*

Calorías	81	Hierro	0,25 mg
Carbohidratos	21 g	Sodio	0,00 mg
Fibra	4 g	Potasio	159 mg
Fibra soluble		Vitamina C	8 mg
Fibra Insoluble		Vitamina A	73 IU
Calcio	10 mg	Ácido Fólico	4 mg
Fosforo	10 mg		

Fuente: Penelo, 2019.

La tabla II-1, muestra las propiedades nutricionales más importantes de una porción de 100 g de manzana en promedio.

Por lo tanto, se puede decir que la manzana es rica en vitaminas y minerales lo cual la convierte en una de las frutas más beneficiosas para la salud. Por algo existe aquella vieja frase que dice: Una manzana por día aleja al médico de tu vida y es realmente cierto ya que el consumo diario de manzanas previene y cura a la vez múltiples dolencias (Díaz y León, 2014).

Es una buena idea comer manzanas con su cáscara. Casi la mitad del contenido de vitamina C se encuentra en la cáscara. Comer la cáscara también aumenta el consumo de fibra insoluble. La mayor parte de la fragancia de una manzana está concentrada en la cáscara y conforme maduran, las células en la cáscara desarrollan más aroma y sabor (Penelo, 2019).

Otra de las virtudes de la manzana es que puede utilizarse fresca y con su cáscara ya que ésta posee gran cantidad de sustancias beneficiosas, puede consumirse en zumo, también cocida o asada al horno. Esto convierte a la manzana en beneficioso para el rejuvenecimiento, pero además se está estudiando las propiedades anticancerígenas de dichas sustancias (Díaz y León, 2014).

2.1.2 Taxonomía de la manzana

Reino: Vegetal.

Phylum: Telemophytae.

División: Tracheophytae.

Sub división: Anthophyta.

Clase: Angiospermae.

Sub clase: Dicotyledoneae.

Grado Evolutivo: Archichlamydeae.

Grupo de Ordenes: Corolinos.

Orden: Rosales.

Familia: Rosaceae.

Sub familia: Pomoideae.

Nombre científico: *Pyrus malus* L.

Nombre común: Manzano.

Variedad: *Red delicious*.

Fuente: (Herbario Universitario (T.B.), 2022).

2.1.3 Variedad *Red delicious*

La manzana *Red delicious* es la variedad a ser usada en este proyecto de investigación, debido a que se cuenta con una producción local de la misma, en el Barrio San Bernardo de Tarija conocido como el vivero “Vifrud el Rosal” de la cual se proveerá para realizar la parte experimental de este proyecto.

La manzana *Red delicious* es un árbol pequeño que se cultiva normalmente por sus cualidades comestibles. Produce grandes manzanas redondas de color rojo oscuro (conocidas botánicamente como “pomes”) con una pulpa blanca cremosa que suele

estar lista para la recolección desde finales de verano hasta principios de otoño. Las manzanas tienen un sabor dulce y una textura crujiente (Ayala y Calle, 2016).

Las manzanas *Red delicious* ofrecen una pequeña cantidad de vitamina A y vitamina C y sólo tienen un rastro de sodio. Contienen pectina, una fibra beneficiosa que ha demostrado que ayuda a promover niveles saludables de colesterol y retrasa el metabolismo de la glucosa en diabéticos. Las *Red delicious* son también más ricas en antioxidantes que muchas otras variedades de manzanas, la mayoría de las cuales se encuentran en su piel (Ayala y Calle, 2016).

2.2 Alimentos deshidratados

La deshidratación a través de la historia es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de los alimentos. Esta técnica de conservación trata de preservar la calidad de los alimentos bajando la actividad de agua, mediante la disminución del contenido de humedad, evitando así el deterioro y contaminación microbiológica de los mismos durante el almacenamiento. Para ello se puede utilizar varios métodos de deshidratación o combinación de los mismos, tales como secado solar, aire caliente, liofilización, deshidratación osmótica, entre otros (Sánchez, 2017).

El agua es el principal componente de los alimentos, ayudándoles a mantener su frescura, sabor, textura y color. Además de conocer el contenido de agua y humedad de un alimento es imprescindible conocer si ésta está disponible para ciertas reacciones bioquímicas, microbianas, o bien interactuando con otros solutos presentes en el alimento como son proteínas, carbohidratos, lípidos y vitaminas (Sánchez, 2017).

Al convertir un alimento fresco en uno procesado (deshidratado) se añade valor agregado a la materia prima utilizada, además se reducen costos de transporte, distribución y almacenaje debido a la reducción de peso y volumen del producto en fresco (Sánchez, 2017).

2.2.1 Proceso tradicional

Tradicionalmente en la zona alta de Tarija desde tiempos remotos se practicaba el secado de alimentos (frutas, verduras, carnes, etc.) debido a que es una económica

solución para aquellas personas que les gusta consumir productos de calidad en cualquier época del año, se utilizaban diversos tipos de rejillas donde se extienden las frutas / verduras, durante el día se exponen al sol y por la noche deben recogerse para evitar las humedades nocturnas, la descompensación que se produce por el cambio de temperatura y la diferencia de calidad del aire afecta directamente a la calidad del deshidratado.

2.3 Descripción de métodos de deshidratado

La deshidratación es un procedimiento de conservación de alimentos, que, al eliminar parcial o totalmente el agua libre de este, impide la actividad microbiana y reduce la actividad enzimática. Recibe diferentes denominaciones, como secado, desecado o deshidratación y entre ellos tenemos:

2.3.1 Deshidratación solar

La deshidratación por exposición al sol es ampliamente practicada en los trópicos y subtropicos. La variante más común y económica de este método consiste en colocar el alimento sobre la tierra (acondicionada o alfombrada) o piso de concreto, quedando expuesto directamente al sol. La desventaja de esta variante radica en la vulnerabilidad del alimento a la contaminación por polvo, infestación por insectos y hongos productores de aflatoxinas, pérdidas por animales y baja calidad de los productos obtenidos. (Ochoa, Ornelas & Ruiz, 2013).

2.3.2 Deshidratado con aire caliente forzado

El deshidratado con aire caliente forzado es el método más común para secar productos alimenticios. En este método, el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos, el incremento en la velocidad del aire y la turbulencia generada alrededor del alimento provoca una reducción de la tensión en la capa de difusión, causando una deshidratación eficiente. (Ochoa, Ornelas & Ruiz, 2013).

Entre sus ventajas:

- Es un método convencional, rápido y preciso.

- Se pueden acomodar varias muestras al mismo tiempo, y llegar a la temperatura deseada más rápidamente.
- El secado es de buena calidad y minimiza el uso de energía

Entre sus desventajas:

- El uso de temperaturas elevadas por encima de 60 °C, generan cambios en la calidad del producto afectando el valor nutritivo como: la destrucción de vitaminas, desnaturalización de proteínas, caramelización de azúcares, gelificación de almidones, destrucción de pigmentos, pérdidas y cambios de aromas e incluso producción de sustancias tóxicas, y modificación de textura. (Jijena, 2017)

2.3.3 Deshidratado por liofilización

Es un proceso industrial empleado para asegurar la estabilidad a largo plazo y para preservar las propiedades originales de los productos farmacéuticos y biológicos. Este proceso se aplicó recientemente para mejorar la estabilidad a largo plazo de las nanopartículas. El liofilizado requiere la eliminación de agua de más de 99 % de una solución diluida inicialmente. La concentración de soluto total aumenta rápidamente y es una función de la temperatura solamente, es por lo tanto independiente de la concentración de la solución inicial. El estado sólido del agua durante la liofilización protege la estructura primaria y la forma de los productos con una reducción mínima de volumen. Los compuestos volátiles, sales o electrolitos, sino forman una clase especial de excipientes, sales, acetato o bicarbonato, se eliminan fácilmente durante la etapa de sublimación del hielo y por lo tanto no permanecen en el producto deshidratado. (Ochoa, Ornelas & Ruiz, 2013)

2.3.4 Deshidratación osmótica

La deshidratación Osmótica es una técnica que permite reducir el contenido de humedad e incrementar el contenido de sólidos solubles en las frutas, mediante la inmersión de esta en solución acuosa de alta concentración de soluto. La deshidratación se debe a que ocurre un proceso de osmosis entre la fruta y la solución concentrada. El agua se traslada desde la disolución menos concentrada en soluto (alimento) hacia la

más concentrada (solución hipertónica), de tal manera que las concentraciones tienden a igualarse. (Castillo & Cornejo, 2007)

Existen varios factores (temperatura, concentración de solución osmótica, etc.) que ejercen influencia sobre los fenómenos de transferencia de masa en el proceso de deshidratación osmótica.

2.4 Fenómeno de ósmosis

Una vez el alimento y la solución osmótica se ponen en contacto, se establecen dos flujos de materia simultáneos y en contracorriente:

- Flujo de agua desde el producto hacia la solución osmótica, generalmente acompañado de sustancias propias de la fruta, como azúcares, vitaminas y pigmentos.
- Flujo de los solutos de la solución osmótica, en sentido opuesto al flujo de agua, que se incorporan al tejido del alimento. Ver figura 2-1.

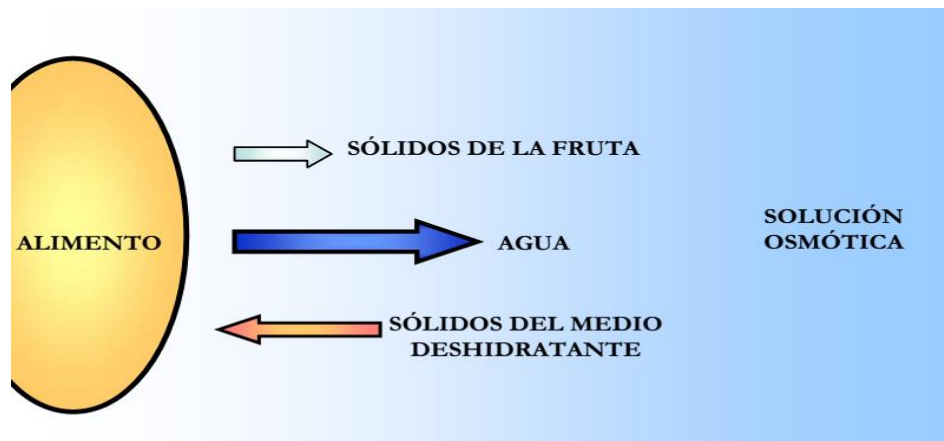


Figura 2-1. Transferencia de materia en el proceso de deshidratado osmótico

Fuente: Wais, 2011.

2.4.1 Fundamentos de la deshidratación osmótica

Todos los seres vivos requieren de un nivel adecuado de agua y de sólidos disueltos en el interior de sus células para que éstas puedan llevar a cabo sus funciones metabólicas las cuales son fundamentales para la vida del organismo. El fenómeno de ósmosis se

realiza con el objetivo de conservar este balance hídrico entre las células y el líquido que las rodea, denominado líquido intersticial. (Parzanese, 2015).

La ósmosis es el desplazamiento de moléculas de solvente a través de una membrana semipermeable desde una región de concentración de soluto más baja (hipotónica) hacia otra de concentración más alta (hipertónica) del mismo soluto, por acción de las diferencias de presión osmótica que poseen estas soluciones. El proceso finaliza cuando se igualan las presiones osmóticas. (Parzanese, 2015)

La deshidratación osmótica de alimentos consiste en la aplicación de éste fenómeno ya que, como se mencionó antes, los alimentos contienen gran cantidad de agua y de sustancias disueltas en el interior de las células que conforman los distintos tejidos. La membrana celular actúa como membrana semipermeable, el contenido intracelular como solución hipotónica y como solución hipertónica se utiliza una preparada con altas concentraciones de soluto en función del producto a tratar, generalmente se utiliza sacarosa para frutas y cloruro de sodio para carnes y vegetales, o mezclas de estos; también pueden utilizarse alcoholes de alto peso molecular. En dicha solución concentrada se sumergen los alimentos ya sea enteros o trozados. (Parzanese, 2015)

Si la membrana celular fuera perfectamente semipermeable, los solutos no podrían difundir hacia el interior de las células. No obstante, los alimentos no poseen este tipo de membrana, por lo cual puede existir difusión del soluto al alimento y de sus componentes hacia la solución. En consecuencia, se producen dos fenómenos de transferencia de masa: Difusión de agua desde el alimento a la solución cuya fuerza impulsora es la diferencia de presión osmótica. Es posible que ocurra arrastre de algunos solutos disueltos en el interior del producto, sin embargo, este flujo de componentes suele ser despreciable respecto al de salida de agua y al de entrada de soluto al alimento. Difusión de solutos desde la solución hacia el alimento, denominado impregnación, donde la fuerza impulsora es la diferencia de concentraciones. (Parzanese, 2015). Ver figura 2-2.

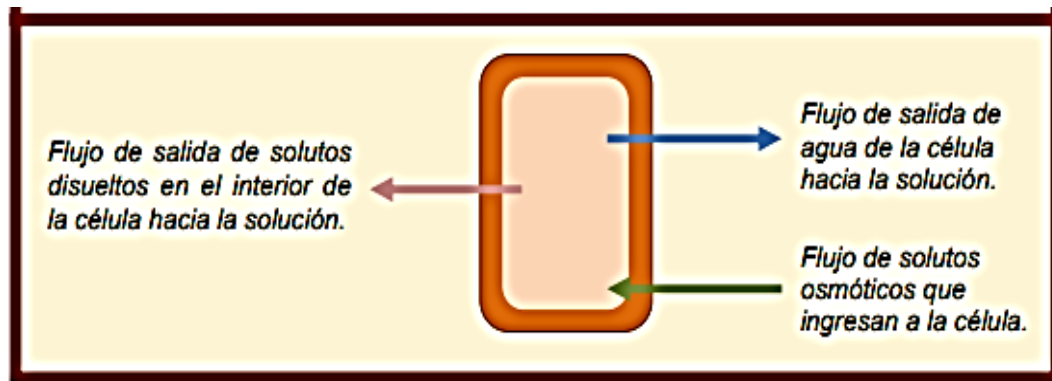


Figura 2-2. Diagrama de los fenómenos de transferencia de masa que ocurren en las células de los alimentos durante la deshidratación osmótica.

Fuente: Parzanese, 2015.

2.4.2 Factores que afectan a la deshidratación osmótica

2.4.2.1 Concentración de la solución

La concentración de la solución osmótica afecta en gran medida a la velocidad del proceso, ya que define la fuerza impulsora para la transferencia de materia. (Wais, 2011).

2.4.2.2 Relación de solución/alimento

Expresa la cantidad de solución requerida por unidad de peso del alimento.

2.4.2.3 Temperatura de la solución

Cuanto mayor sea la temperatura mucho más rápido será la deshidratación y en la solución osmótica disminuye la viscosidad.

2.4.2.4 Agitación

La agitación es una operación física que hace la solución sea más uniforme.

2.4.2.5 Tiempo de inmersión

La pérdida de agua y ganancia de sólidos es mayor durante las primeras horas de proceso, luego disminuye drásticamente como consecuencia de la progresiva disminución de la presión osmótica.

2.4.2.6 Naturaleza y geometría del alimento

La forma geométrica y el tamaño de los trozos de alimento a procesar son importantes desde el punto de vista estético del producto terminado, además juega un papel importante en la cinética del proceso de deshidratación. A mayor área de contacto entre la superficie del alimento en relación con la solución osmótica, mayor será la velocidad de deshidratación (Jijena, 2017). De manera tal que el gasto energético, así como el tiempo del secado térmico, se reducen a medida que aumenta el área de contacto con el medio deshidratante.

2.4.2.7 Tipo de solución osmótica

El tipo de agente osmótico afecta a los parámetros de pérdida de calidad y ganancia de sólidos.

2.5 Proceso de deshidratado osmótico (DO)

Este tratamiento consiste en la inmersión de un alimento en una solución concentrada de un azúcar, una sal o una combinación de ambos. Durante el deshidratado osmótico se produce la difusión del agua del alimento a la solución y a su vez el alimento absorbe azúcares o sales presentes en la solución (Wais, 2011).

El proceso de deshidratación osmótica se puede aplicar hasta niveles donde la fruta pierde cerca del 70 al 80 % de su humedad, si se deja el tiempo suficiente de tratamiento. Los trozos, según el grado de deshidratación alcanzado, se pueden someter a procesos complementarios que le darán mayor estabilidad hasta el punto de poderse someter a condiciones ambientales con un empaque adecuado. Algunos de los procesos complementarios son la refrigeración, congelación, pasteurización, liofilización, secado con aire caliente, o a temperatura ambiente, adición de conservantes o empackado en vacío. La alternativa seleccionada depende de las posibilidades del procesador y de las necesidades de estabilidad en el producto final, en este caso de estudio será mediante secado con aire caliente para poder alcanzar el porcentaje mínimo de humedad requerido que viene a ser el 14 % según la siguiente tabla II-2:

Tabla II-2. Temperaturas máximas de secado y humedades

Alimento	Humedad alimento fresco Hf (%)	Humedad residual alimento seco Hs (%)	Temperatura máxima °C
Manzana	84	14	60
Higo	80	16	65
Uva	80	15 a 20	70
Banana	80	15	70

Fuente: FAO, 2020.

2.6 Tratamientos previos

Para la eficiencia de este proceso es necesario optar por frutas que poseen estructura celular rígida o semirrígida es decir aquellas que permitan su trazado (en cubos, tiras, rodajas, etc.) por el contrario las frutas que presentan pulpa no servirán para este proceso. Cuando se desee procesar frutas que se presentan un recubrimiento ceroso o purina recomendable aplicar el tratamiento permeabilización previo al trazado este tratamiento se hace con un baño de solución otra opción es el escaldado someterá la fruta a la acción del calor durante 1 a 3 minutos lo cual disminuye la selectividad y paredes la célula si aumenta la probabilidad de también existe la opción del uso de antioxidantes. (Stephanie, 2018).

La deshidratación osmótica se usa como tratamiento de muchos para mejorar las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales del alimento sin modificar su integridad. (Stephanie, 2018)

2.7 Ecuaciones de cálculo en una deshidratación osmótica

El conocimiento de la cinética y la difusividad ayudan a comprender mejor la transferencia de masa interna, y con ello permiten modelar un mecanismo de transporte de materia óptimo para el sistema. Según vaya transcurriendo el tiempo, la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica, nos ira proporcionando resultados numéricos mediante ecuaciones que nos ayudaran a comprender y explicar

el proceso osmótico entre ellas tenemos: la pérdida de peso (PP); el contenido de sólidos totales (ST); la pérdida de agua (PA); la ganancia de sólidos (SG).

Las ecuaciones se detallan a continuación:

1. Pérdida de peso durante la deshidratación osmótica PP (%):

$$PP(\%) = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) 100 \quad (2-1)$$

Donde m_i es la masa de la muestra fresca y m_f es la masa de la muestra ya osmodeshidratada, ambas expresadas en gramos.

2. Contenido de sólidos totales de la muestra osmodeshidratada ST (%):

$$ST(\%) = \left(\frac{m_s}{m_o} \right) 100 \quad (2-2)$$

Donde m_o es la masa de la muestra húmeda (fresca o DO) y m_s es la masa de la muestra seca ambas expresadas en gramos. Para obtener m_s , una fracción de peso conocido (m_o) se secó hasta peso constante en el secador infrarrojo Sartorius a 50 °C.

3. Pérdida de agua durante la deshidratación osmótica PA (%):

$$PA(\%) = \left[\left(1 - \frac{ST_0}{100} \right) - \left(1 - \frac{ST}{100} \right) \left(1 - \frac{PP}{100} \right) \right] 100 \quad (2-3)$$

Expresada como los gramos de agua que pierde en la muestra por cada cien gramos de muestra fresca y donde ST_0 es el contenido de sólidos totales de la fruta fresca.

4. Ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica SG (%):

$$SG(\%) = \left[\left(1 - \frac{PP}{100} \right) \frac{ST}{100} - \frac{ST_0}{100} \right] 100 \quad (2-4)$$

Expresada como los gramos de sólidos que ingresan al tejido por cada cien gramos de muestra fresca.

Las ecuaciones (2-1, 2-2, 2-3 y 2-4) fueron extraídas de (Wais, 2011)

2.8 Reutilización de la solución osmótica agotada

Los jarabes resultantes de la deshidratación osmótica (DO) pueden ser utilizados como ingredientes de otros productos. Además, estos pueden haber retenido compuestos de la fruta que conservan características de aroma, sabor y color. Estos se pueden emplear edulcorantes de productos específicos, o ser reutilizados como jarabes para posteriores

deshidrataciones osmóticas si son llevados a concentraciones adecuadas para regenerar su fuerza osmótica (Wais, 2011).

2.9 Ventajas del proceso de ósmosis

- Costos energéticos reducidos debido a la aplicación de temperaturas relativamente bajas.
- No se producen cambios de fase del agua contenida en el alimento.
- El color, aroma, sabor y textura del alimento se modifican mínimamente.
- Permite el procesamiento de pequeños volúmenes de producto.
- Característica del producto final Aumenta la vida útil del alimento ya que disminuye su actividad de agua, inhibiendo el crecimiento de los microorganismos.
- Al reducir el contenido de agua disminuye el peso del producto, lo cual reduce los costos de empaque y transporte.

2.10 Desventajas del proceso de ósmosis

- Es un proceso que no se puede aplicar a todo tipo de alimento, solo a aquellos que presentan estructuras sólidas y que puedan cortarse en trozos.
- No alcanza el grado de humedad requerida, por lo tanto, necesita ser complementado por otras técnicas.
- En algunos alimentos puede generar dificultades, debido a flotación de la fruta por baja densidad obstaculizando la deshidratación.

2.11 Calidad del producto final

Según (Saguy y Karel, 1980 citado por Humacata, 2019), señalaron que la calidad es una función multiparamétrica y que viene determinada no sólo por las propiedades organolépticas, tales como color, sabor y textura, sino también por el contenido en nutrientes.

Por otra parte (Labuza y Hyman 1998, citado por Humacata, 2019) indican que la calidad y seguridad de un alimento que un fabricante debe tener en cuenta son la estabilidad microbiana y las propiedades físicas y sensoriales.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) entidades destinadas a regular y proteger la salud de los consumidores a nivel mundial, señalan que los códigos alimentarios de todo el mundo están integrados a este sistema internacional, por lo tanto, el código alimentario de Bolivia respecto a otro país no debería diferir en mucho.

De acuerdo a las normas calidad vigentes en la Argentina, su código alimentario en el capítulo XI, Artículo 904, pág. 493. Establece "la fruta desecada en el momento del empaque, no deberá contener más de 25 % de agua". Ver la tabla II-3.

Tabla II-3. *Norma general para frutas deshidratadas*

Parámetro	Unidad	Límite de referencia
Humedad	g/100 g	Máximo. 25 %
Azúcares totales	g/100 g	Sin límite de referencia

Fuente: Código Alimentario Argentino [CAA], 2018.

Esto concuerda con la tabla II-2, mencionado anteriormente mediante la (FAO, 2020), donde muestra el porcentaje de humedad de las manzanas deshidratadas es del 14 %, además se menciona que la calidad *organoléptica del producto acabado debe ser característico a la fruta fresca: sabor, olor, aspecto* (CAA, 2018).

De acuerdo al Reglamento Sanitario Chileno del capítulo V artículo 172, pág. 88 las frutas deshidratadas para ser comercializadas deben ser sometidos a los siguientes estudios y evaluaciones de calidad sanitaria. Ver tabla II-4.

Tabla II-4. Norma sanitaria para frutas deshidratadas

Plan de muestreo		Limites por g	
Parámetros	C	m	M
Escherichia coli	2	10	5×10^2
Salmonella en 50 g	2	0	...
Mohos	2	10^2	10^3
Levaduras	0	10^2	10^3

Fuente: Reglamento Sanitario de Chile [RSC], 2018.

m = valor del parámetro microbiológico para el cual o por debajo del cual el alimento no representa un riesgo para la salud.

C = número máximo de unidades de muestra que puede contener un número de microorganismos comprendidos entre “m” y “M” para que el alimento sea aceptable.

M = valor del parámetro microbiológico por encima del cual el alimento representa un riesgo para la salud.

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Caracterización de la materia prima: manzana *Red delicious*

El presente trabajo de investigación, elaboración experimental de rodajas de manzana deshidratadas (*Pyrus malus l, variedad Red delicious*) fue desarrollado a partir de la adquisición de la materia prima (*manzanas*) procedentes del vivero el Rosal del barrio San Bernardo en Tarija (*Prov. Cercado*), luego de ello, se procedió a determinar la calidad de la fruta como ser: (estado de madurez, daño microbiológico, daño mecánico, separando las frutas que no cumplían dicho requisito), (ver requisitos en el subtítulo 3.5.2), después del control de calidad de la manzana se pasó al estudio y transformación hasta obtener el resultado final mediante los métodos de deshidratación por ósmosis y tiro forzado, en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales, pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnología, de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho" (U.A."J.M.S.").

La caracterización de la manzana Red delicious: se llevó adelante mediante un análisis físico y fisicoquímico.

Los análisis físicos se llevaron a cabo en de las instalaciones del (LOU) como ser la medición de: altura de la manzana, peso, diámetro ecuatorial, peso comestible y no comestible. Ver figura 3-1.



Figura 3-1. Manzana *Red delicious*.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.1.1 Análisis físico de la manzana *Red delicious*

La determinación del análisis físico de la manzana *Red delicious*, se realizó con quince muestras tomadas al azar y aleatoriamente las cuales se detallan en la tabla III-1.

Tabla III-1. *Propiedades físicas de la manzana Red delicious*

N° Muestras	Altura (mm)	Peso (g)	Diámetro (mm)	Peso comestible (g)	Peso no comestible (g)	Número de rodajas útiles	Número de rodajas no útiles
1	74	174	73	107,042	65,389	13	7
2	70	169	69	104,326	61,583	12	5
3	75	175	74	108,326	65,985	14	6
4	71	170	70	105,021	62,233	12	5
5	67	165	65	101,653	60,543	11	5
6	69	169	68	102,598	61,486	11	6
7	73	172	72	105,656	64,521	12	5
8	70	170	69	105,412	62,456	12	5
9	66	166	65	100,321	59,453	11	6
10	68	168	67	101,985	61,002	11	6
11	68	169	66	109,941	59,059	12	5
12	71	175	69	114,406	60,594	13	5
13	69	165	73	103,404	61,596	12	5
14	73	168	75	106,042	61,958	11	6
15	67	170	71	107,413	62,587	13	5
Promedio	70,067	169,667	69,733	105,569	62,030	12,000	5,467

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla III-1, muestra los resultados de las propiedades físicas medidas a la manzana *Red delicious*, cuya altura de polo a polo tiene un promedio de 70,067 mm, un diámetro ecuatorial de 69,733 mm, su peso bruto es 169,667 g. Así mismo, se presenta un resultado promedio de peso neto de 105,569 g de manzana comestible y 62,030 g de peso de manzana no comestible.

Las propiedades fisicoquímicas de la manzana *Red delicious*, se determinaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), como ser:

El (%) de agua, (%) de proteínas, (%) de grasa, (%) de fibra, (%) de hidratos de carbono, (%) de ceniza, valor energético y pH.

Ver los resultados del análisis de las propiedades fisicoquímicas en la tabla IV-2. (pág. 47).

3.2 Desarrollo de la fase experimental

El trabajo de investigación plantea una fase experimental el deshidratado por ósmosis ya que es el más significativo del estudio y un secado complementario por tiro forzado para alcanzar los niveles de humedad exigidos por las normas internacionales.

3.2.1 Variables seleccionadas para el proceso de ósmosis

El trabajo de investigación aplicó un diseño factorial que permita obtener un modelo matemático entre las variables estudiadas, donde la pérdida de humedad sea significativa en la deshidratación osmótica, y la ganancia de sólidos solubles sean necesarios por el alimento, que le permitan conservar la mayor parte de sus propiedades organolépticas al producto terminado. Entre las variables más significativas del deshidratado osmótico tenemos:

La concentración del agente osmótico: variable encargada de regular la velocidad de transferencia de materia, tanto en la pérdida de agua como la ganancia de sólidos solubles necesarios para el producto final.

El tiempo: es una variable determinante en el contexto de rendimiento productivo en un punto donde se requiere tener un tiempo óptimo del proceso de (DO).

Temperatura: esta variable tiene un efecto directo en la velocidad de transferencia de materia y las propiedades organolépticas.

3.2.2 Diseño factorial del proceso de deshidratación osmótica (DO)

Variabes del deshidratado osmótico

Concentración del agente osmótico (°Brix), tiempo (min), y temperatura (°C).

Los niveles óptimos de operación de cada variable propuesta, fueron determinados a través de pruebas organolépticas de evaluación.

Tabla III-2. Factores seleccionados y niveles de operación

Factores	N° de Niveles	
	Inferior (-)	Superior (+)
Concentración osmótica (°Brix)	50	60
Tiempo (min).	180	240
Temperatura (°C)	45	55

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla III-2, presenta los factores seleccionados para el proceso de DO, con sus niveles respectivos de operación.

Variable respuesta pérdida de agua (PA)

Como variable respuesta se tomó en cuenta la pérdida de agua (PA) durante el DO, de las rebanadas de manzana para verificar hasta qué punto se puede deshidratar sin afectar significativamente las propiedades organolépticas del producto final.

Matriz de diseño factorial para el proceso de deshidratación osmótica

La fórmula de diseño experimental está basado en los niveles óptimos de investigación, de donde se recabaron los datos reales para su representación.

$$\text{Numero de experimentos} = n^k.$$

Dónde:

n: Numero de niveles experimentales a medir.

k: Número de factores (variables a medir en el proceso).

Representando los números reales del proceso en la formula queda:

$$\text{Número de experimentos} = 2^3 = 8.$$

El número total de experimentos incluye los experimentos principales y sus réplicas.

$$\text{Número total de experimentos} = 8*2 = 16.$$

El número de combinaciones entre factores y niveles se representa en la tabla III-3.

Tabla III-3. *Diseño factorial del proceso de deshidratación por ósmosis*

Muestras	Combinaciones	Concentración (°Brix)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Respuestas
					PA (%)
MD1	(+1)	+1	-1	-1	PA1
MD2	a	+1	+1	-1	PA2
MD3	b	+1	-1	+1	PA3
MD4	ab	+1	+1	+1	PA4
MD5	c	-1	-1	-1	PA5
MD6	ac	-1	+1	-1	PA6
MD7	bc	-1	-1	+1	PA7
MD8	abc	-1	+1	+1	PA8

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla III-3, muestra el diseño factorial, del proceso de deshidratación por ósmosis, mediante los niveles supuestos (+) y (-) de cada variable seccionada, con sus repuestas respectivas PA pérdida de agua (%), PP pérdida de peso (%) para cada muestra de manzana (MD).

Tabla III-4. *Diseño experimental del proceso de deshidratación por ósmosis*

Muestras	Combinaciones	Concentración (°Brix)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Respuestas
					PA (%)
MD1	(+1)	60	180	45	PA1
MD2	a	60	240	45	PA2
MD3	b	60	180	55	PA3
MD4	ab	60	240	55	PA4
MD5	c	50	180	45	PA5
MD6	ac	50	240	45	PA6
MD7	bc	50	180	55	PA7
MD8	abc	50	240	55	PA8

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla III-4, muestra el diseño experimental para la elaboración de las rodajas de manzana deshidratada, mediante la combinación de factores y los niveles de operación, para la obtención de las variables respuestas como son pérdida de agua (%PA).

En este mismo modelo se hará la réplica para reconfirmar los datos experimentales del estudio de investigación, haciendo un total de 16 experimentos.

3.3 Secado por aire caliente (tiro forzado)

➤ Variables de operación:

El tamaño de partícula, juega un rol importante dentro del secado por aire caliente, a mayor área de contacto, habrá mayor velocidad de secado por lo cual el tiempo de operación será menor. De acuerdo a las pruebas pre-experimentales, donde se trabajó con rodajas de 5 mm y 3 mm de espesor, se obtuvo buenos resultados con rodajas de 3 mm de espesor, requería menor tiempo de deshidratación la cual se utilizó para trabajar en el proceso de investigación. Ver figura 3-4 (pág. 34).

Temperatura de operación 50 °C: Es una temperatura óptima de secado que garantiza que las propiedades nutricionales y organolépticas sensibles al calor dentro de la manzana se mantendrán intactas. Esta temperatura del sistema de secado se halla regulado mediante un termostato eléctrico que contiene el **caloventor** quien propicia energía suficiente al sistema para calentar el aire frío a caliente entre un rango de temperatura entre 50-55 °C.

Tiempo de secado por aire caliente: El tiempo de secado por aire caliente es un parámetro fundamental a tomar en cuenta, ya que el mismo depende de varios factores como ser: el flujo de aire, el área de contacto de las rodajas de manzana semi deshidratadas con el aire, el tamaño de partícula, la temperatura del sistema, la porosidad de la fruta entre otros, pero sobre todo estará en función de la humedad de la fruta antes y después del deshidratado. De acuerdo a nuestros experimentos realizados el tiempo de secado es variante, las rodajas de manzana con mayor humedad requerirán mayor tiempo de secado y viceversa para las rodajas de menor humedad. El rango de tiempo de secado de acuerdo a los experimentos realizaos vario entre 180 - 210 min aproximadamente, según la muestra estudiada.

Flujo de aire caliente: es un parámetro a tomar en cuenta para el estudio de investigación, dado que el sistema de secado que se usó tiene un sistema particular, no

es contante, el flujo de aire funciona por ciclos, enciende el sistema del caloventor cuando la temperatura desciende a una temperatura por debajo de los 50 °C, y deja de funcionar cuando la temperatura del sistema de secado supera los 55 °C, en conclusión, la eficiencia de funcionamiento del caloventor está en función a las condiciones de operación que se den en el sistema de secado, para nuestro caso el ciclo de funcionamiento del caloventor consto de 14-15 min, con un rendimiento aproximado del 50 %, con 7 min de funcionamiento activo aproximadamente, con un caudal del flujo de aire en la alimentación de 0,12 m³/s, cuya velocidad alcanzó los 2,3 m/s. Ver el cálculo del caudal en el capítulo IV, en el subtítulo balance de materia

3.4 Materiales, instrumentos de laboratorio y utensilios de cocina

A continuación, se detallan los materiales de laboratorio que se necesitaron en la parte experimental de rodajas deshidratadas de manzana (*Pyrus malus L, variedad Red delicious*) cultivada en el valle central de Tarija, mediante los métodos de deshidratación osmótica y tiro forzado.

3.4.1 Balanza analítica

La balanza analítica digital (figura 3-2) del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), fue utilizada para medir la masa de las diferentes muestras en el proceso de elaboración de rodajas deshidratadas de manzana, la cual fue empleada por ejemplo el pesado de materia prima, sacarosa, ácido cítrico, pesado de rodajas osmodeshidratadas entre otros.


Marca	GIBERTINI	
Industria	Italia	
Tipo	EUROPE 500	
Capacidad para muestra	510 g	
Rango de temperatura	10-40 °C	
Tensión	120 V	
Frecuencia	50 Hz	
Error de precisión	0.001 g	

Figura 3-2. Balanza analítica digital

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.4.2 Refractómetro digital

El refractómetro (figura 3-3) que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU). Se utilizó para medir los °Brix del agente osmótico en el proceso de preparación del agente osmótico y durante el proceso de deshidratación osmótica


Marca	ABBE	
Industria	EE.UU	
Tipo	WYA-1S	
Capacidad para muestra	Área: 0.7 cm x3,5 cm	
Rango de medida	Índice refractivo: 1300-1700 +/-0.0002 Brix Bx-TC:0-95 % +/-0.1 % Brix Bx: 0-95 % +/-1 %	
Tensión	220V +/-20V/50 Hz	
Lámpara de iluminación	6.3 V; 0.25 A	
Rango de temperatura	0-50 °C	
Rango correctivo de temperatura	15-45 °C	

Figura 3-3. Refractómetro digital

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.4.3 Calentador eléctrico

El calentador eléctrico (figura 3-4) del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU). A sido empleado para calentar las distintas soluciones experimentales a temperaturas requeridas dentro del proceso de deshidratado.


Marca	Fisher	
Industria	Suiza	
Tipo	-	
Capacidad para muestra	-	
Rango de temperatura	0-100 °C	
Potencia	250 W	
Velocidad de agitación	-	
Frecuencia	50/60 Hz	

Figura 3-4. Calentador eléctrico.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.4.4 Agitador eléctrico

El agitador eléctrico (figura 3-5) del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU). Se utilizó para agitar las distintas soluciones osmóticas que contienen las rodajas de manzana a velocidad constante.


Marca	Artesanal	
Industria	Suiza-adaptado en Bolivia	
Rango de temperatura	-	
Tensión	220 v	
Potencia	80 W	
Velocidad de agitación	1 500 rpm	
Frecuencia	50/60 Hz	

Figura 3-5. Agitador eléctrico

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.4.5 pH-metro digital

El pH-metro digital (figura 3-6) que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU). Se utilizó en la medición del pH de la solución osmótica preparada, en las distintas etapas del deshidratado.


Marca	CHEMILABOR	
Industria	EE.UU.	
Electrodo	Fijo	
Rango de pH	0 a 14	
Rango de temperatura	0-50 °C	
Precisión	± 0,1	
Peso	50 g	

Figura 3-6. pH metro digital

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.4.6 Secador infrarrojo

El secador infrarrojo (figura 3-7) que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU). Se utilizó para realizar el respectivo análisis de humedad de las

rodajas deshidratadas, al inicio y al final del proceso de elaboración de rodajas deshidratadas de manzana.


Marca	SARTORIUS.	
Industria	Alemana	
Modelo	MA 100/MA 50	
Capacidad para muestra	5,0 g	
Rango de temperatura	30-200 °C	
Tensión de red	230 V	
Consumo máximo de corriente	700 V	
Frecuencia	48-60 Hz	
Dimensiones	350x453x156 mm	

Figura 3-7. Secador infrarrojo

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.4.7 Anemómetro

Es un equipo que nos permite realizar la medición de la velocidad del flujo de aire que entra y sale del sistema de secado, además nos permite medir la temperatura de bulbo seco y húmedo, así como otras propiedades. Ver figura 3-8.

Marca	Amprobe	
Modelo	Tma5	
Rango de temperatura	32 °F → 122 °F (0 °C → 50 °C)	
Mide:	Velocidad del aire, temperatura ambiente, humedad, punto de rocío, bulbo húmedo, sensación térmica.	
Unidades de viento seleccionables:	mph, pies/m, Knt, m/s, km/h, BF	

Figura 3-8. Anemómetro

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.4.7 Materiales de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se utilizaron en el presente trabajo, son detallados en la tabla III-5.

Tabla III-5. *Materiales de laboratorio*

Materiales	Unidad	Capacidad	Tipo de material
Termómetro	1	0-200 °C	Vidrio
Vaso de precipitado	2	500 ml	Vidrio
Espátula	1	Mediana	Metal
Varilla de vidrio	1	Mediano	Vidrio
Vidrio reloj	1	Mediano	Vidrio
Matraz aforado	1	500 ml	Vidrio
Piseta	1	1000 ml	Plástico

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.4.8 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina que se utilizaron en el presente trabajo, son detallados en la tabla III-6.

Tabla III-6. *Utensilios de cocina*

Materiales	Unidad	Capacidad	Tipo de material
Colador	1	Pequeño	Metal
Jarra	1	Mediana	Acero inoxidable
Mandolina	1	Mediano	Plástico
Cuchillo	1	Mediano	Acero inoxidable
Despepitador	1	Pequeño	Metal

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.4.9 Materiales complementarios de laboratorio

Estos son los materiales complementarios que se utilizaron en el presente trabajo, detallados en la tabla III-7.

Tabla III-7. Materiales complementarios de laboratorio

Materiales	Unidad	Tipo de material
Guantes	Par	Látex
Servilleta absorbente	Rollo	Papel
Bolsas	50	Polipropileno

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.4.10 Reactivos químicos

Los reactivos químicos que fueron necesarios para la limpieza de la materia prima, materiales de laboratorio y utensilios de cocina se muestran en la tabla III-8.

Tabla III-8. Reactivos químicos

Ingrediente	Estado	Procedencia
Cloruro de lapirio (DG-6)	Líquido	Bolivia
Alcohol etílico	Líquido	Bolivia

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.4.11 Insumos alimenticios

Los insumos alimenticios que fueron necesarios para el presente trabajo se muestran en la tabla III-9.

Tabla III-9. Insumos alimenticios

Ingrediente	Estado	Procedencia
Sacarosa	Sólido	Bolivia
Ácido cítrico	Sólido	Bolivia

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.5 Proceso productivo

De acuerdo al desarrollo de la fase experimental que se ejecutó, el proceso productivo de la deshidratación de rodajas de manzana *Red delicious* queda constituida por las siguientes etapas de proceso: Clasificación y recepción de la manzana, lavado, cortado y pesado, tratamiento de las rodajas de manzana con ácido cítrico al 1 %, la deshidratación osmótica de las rodajas de manzana, filtrado y lavado de las rodajas de manzana osmodeshidratadas, luego se secado por aire caliente hasta niveles óptimos de humedad, finalmente se sella y se almacena el producto final. Ver figura 3-9.

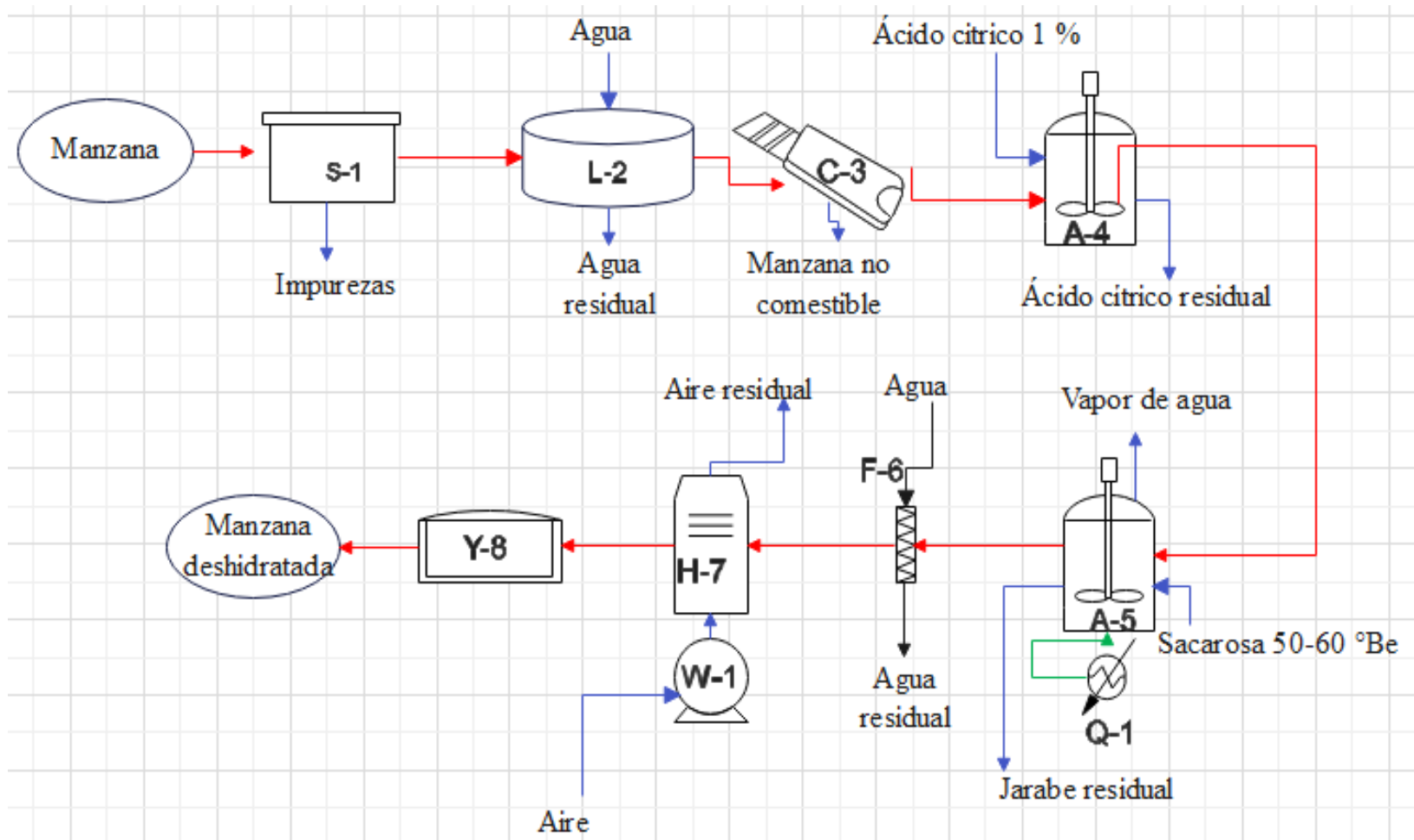





Figura 3-9. Descripción de las etapas del proceso tecnológico del deshidratado de rodajas de manzana *Red delicious*

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La figura 3-9, puede describirse de forma más detallada de acuerdo al cuadro III-1.

Cuadro III-1. Descripción de las codificaciones del diagrama de flujo del proceso tecnológico figura 3-9.

Códigos	Nombre y operación	Descripción
S-1	“Mesa” Clasificación y selección de la manzana	Se separan las frutas que sirven de las que no sirven para procesar
L-2	“Recipiente” Lavado	Elimina el polvo, y todo tipo de impurezas superficial
C-3	“Mandolina” Cortado y pesado	Se corta la manzana para extraer la parte comestible, y darle una forma que tenga mayor área de contacto con el sistema de secado, al finalizar el cortado se pesa
A-4	“Reactor” tratamiento antipardeamiento de las manzanas	Las manzanas cortadas se sumergen en una solución de ácido cítrico al 1% por un tiempo de 5 min, con agitación constante para protegerse del pardeamiento
A-5	“Reactor” deshidratado osmótico	Las manzanas se deshidratan parcialmente, se destaca la etapa por insertar una cantidad de solidos disueltos necesarios al alimento que permitirá resaltar la textura y las propiedades organolépticas
Q-1	“Calor” para el reactor A-5	Mediante una resistencia eléctrica se mantiene la temperatura estable del deshidratado osmótico entre 45 – 55 °C.
F6	“Filtro” y lavado	Después del DO de las manzanas, estas se lavan y se filtran para eliminar el azúcar extendido sobre la superficie de las rodajas
W-1	“Caloventor” generación de aire caliente para el secador tiro forzado H-7	Genera un flujo de aire caliente entre 50-55 °C, para alimentar al secador tiro forzado
H-7	“Secador tiro forzado”	Es donde las rodajas de manzana reducen su humedad final hasta niveles requeridos por las normas del [CAA]. < 25 %
Y-8	Sellador	Después de acabar el deshidratado, la fruta se empaca para poderlo almacenar
	Flujo de manzana en proceso de operación	-
	Flujo de insumos y reactivos	-
	Flujo de calor	-

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.5.1 Descripción del proceso productivo de la manzana *Red delicious*

Los pasos a seguir para la elaboración experimental de rodajas de manzana deshidratadas (*Red delicious*), mediante los métodos de deshidratación osmótica y tiro forzado.

3.5.2 Selección y clasificación

La selección y clasificación de las manzanas *Red delicious*, es un proceso de separación de las frutas en buen estado de las frutas que no cumplen con los niveles de exigencia para el proceso requerido, entre las exigencias tenemos:

Estado de madurez: que la maduración sea óptima del fruto, buen color, sabor, olor, y firmeza de la textura en el alimento.

Daño microbiológico: en casos de contaminación microbiológica irreversible, las frutas deben ser separados inmediatamente del lote seleccionado.

Daños mecánicos: todas las manzanas con daños físicos debido a golpes y fracturas superficiales que presentan durante la cosecha y traslado de la materia prima, deben ser separadas de las frutas seleccionadas. Ver figura 3-10.



Figura 3-10. Selección y clasificación de las manzanas

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.5.3 Lavado

El lavado es una operación en la cual constituye el punto de partida de este proceso de deshidratación, consiste en eliminar impurezas indeseadas como ser: tierra, basuritas y microorganismos mediante el lavado con agua destilada, así evitando posibles contaminaciones derivadas de la contaminación de la materia prima.

3.5.4 Trozado

El trozado se realizó con la ayuda de la mandolina que contiene 5 niveles de corte, de acuerdo a los datos de la fase pre-experimental se determinó que las partículas (rodajas) ideales para el proyecto de investigación son las de 3 milímetros de espesor. Ver figura (3-11).

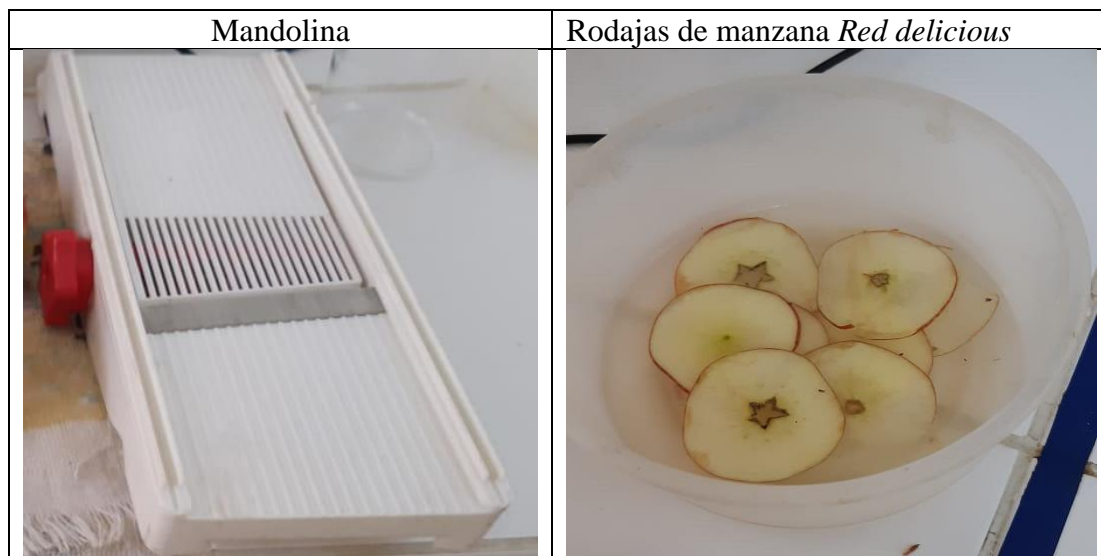


Figura 3-11. Trozado de las manzanas *Red delicious*

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.5.5 Pesado

Para este proceso de deshidratado se trabajó con muestras promedio de 4 a 6 g acumulando un total de 100 g por muestra. Ver figura 3-12.



Figura 3-12. Pesado de las rodajas de manzana

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.5.6 Tratamiento anti pardeamiento

Después del trozado de las manzanas, las rodajas cortadas empiezan a experimentar pardeamiento, para evitar este problema se seleccionó un agente acidulante (ácido cítrico), que tiene la función de reducir el pH de las rodajas, y prevenir el pardeamiento durante proceso de deshidratación y almacenamiento del producto terminado, la técnica del tratamiento antipardeamiento de las manzanas consiste en sumergir las rodajas de manzanas en una solución de ácido cítrico al 1% por un tiempo de 5 min, mediante una agitación constante de la solución, esto permitirá que se cree una película de protección superficial en las rodajas manzana, que le protegerá posteriormente de la oxidación.

3.5.7 Preparado de la solución osmótica

Ambas soluciones se prepararon en distintas concentraciones, 50 y 60 °Brix.

50 °Brix: para 1000 g de solución: (500 g de sacarosa) / (500 g de agua destilada).

60 °Brix: para 1000 g de solución: 600 g de sacarosa) / (400 g de agua destilada).

Luego de realizar una buena disolución de las soluciones osmóticas, se procedió a medir los °Brix en el refractómetro, para así poder proceder con la inmersión de las rodajas de manzana y así realizar el deshidratado.

3.5.8 Deshidratación osmótica

En esta etapa se produjo la salida del agua y el ingreso de solutos en las rodajas de manzana, mediante la solución osmótica preparada previamente, provocando por una mayor diferencia de concentración de la solución osmótica con respecto a la del fruto. El proceso se llevó a cabo en distintos tiempos (180-240) min, temperaturas (45-55) °C y concentraciones (50 -60) °Brix, manteniendo una agitación constante de 170 rpm con el propósito de homogenizar la solución osmótica.

La relación solución / alimento utilizada en esta etapa fue 3:1 (300 g de jarabe por 100 g de manzana). Ver figura 3-13. El porcentaje de humedad se determinó al finalizar cada proceso de deshidratación osmótica de las rebanadas de manzana deshidratada.



Figura 3-13. Deshidratado osmótico de las manzanas *Red delicious*

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Los datos de las 16 muestras realizadas por deshidratación osmótica de la manzana *Red delicious* están en el Anexo B.

3.5.9 Lavado y escurrido

Una vez terminado el proceso de deshidratación osmótica, se drena el jarabe osmótico residual, luego se procede al lavado con agua tibia destilada a chorro, esto con la finalidad de evitar el exceso de soluto adherido a la superficie de las rodajas de manzana y finalmente antes de secar por tiro forzado se escurre suavemente para evitar una rehidratación de las rodajas de manzana. Ver figura 3-14.



Figura 3-14. Filtrado de las rodajas de manzana deshidratada

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.5.10 Secado en secador de bandejas

Luego del filtrado, pesado, se procedió a introducir las rodajas en el secador de bandejas a través de la inducción de aire caliente generada por el equipo entre una temperatura variada de 50-55 °C aproximadamente.

La rodaja utilizada en este proceso de estudio fue de 3 mm, que estuvieron alrededor de dos a tres horas de secado de acuerdo al espesor de las rodajas y el contenido de humedad. Además, se debe mencionar que, al finalizar el proceso de cada muestra, se sometieron las muestras al análisis de humedad en el secador infrarrojo. Ver los datos evaluados en el Anexo C. Ver la figura 3-15.



Figura 3-15. Secado en secador de bandejas

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.5.11 Envasado

En esta etapa se realizó el envasado de las rodajas deshidratadas mediante un empacador al vacío, en bolsas de polipropileno (densidad = 0,85 g/cm³), y así evitar que el producto final se contamine y absorba humedad del ambiente.

3.6 Características del producto final

Los parámetros de calidad que se tomaron en cuenta para el producto final rodajas de manzana deshidratada (*variedad Red delicious*), siguieron el protocolo del código alimentario de la Argentina, que señala que la fruta deshidratada debe tener las propiedades características a la de una fruta fresca como ser el olor, color, sabor y textura, en este caso las manzanas deshidratadas siguieron ese patrón, con algunos retoques en el sabor y el color por la adición del ácido cítrico para mantener el color, o el caso de la sacarosa que le deja una textura suave al producto final, como puede observarse en la figura 3-16.



Figura 3-16. Rodajas de manzana deshidratada *Red delicious*

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Entre otros parámetros que se tomaron en cuenta son el porcentaje de humedad que sea inferior a 25 % del producto obtenido, además de ello se siguió el protocolo de control sanitario de Chile para frutas deshidratadas, de acuerdo a la tabla II-4.

Para seleccionar un producto ideal final, las muestras obtenidas se evaluaron organolépticamente mediante jueces catadores al azar, que puede demostrarse mediante datos gráficos en el capítulo IV.

3.6.1 Planteamiento de la evaluación sensorial de la manzana deshidratada

La evaluación sensorial es el análisis de alimentos y otros materiales por medio de los sentidos. La palabra sensorial se deriva del latín *sensus*, que quiere decir sentido. La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos químicos, físicos, microbiológicos, etc. Este tipo de análisis tiene la ventaja de que la persona que efectúa las mediciones lleva consigo sus propios instrumentos de análisis, o sea, sus cinco sentidos (Martinez, 2014).

En este proyecto de investigación la calificación organoléptica está basada en la escala **Hedónica** de 5 puntos, para lo cual, se sometió el producto a una evaluación e interpretación independiente por cada juez, para que pudiera determinar la calidad del producto. Ver en la tabla III-10.

Tabla III-10. *Escala de calificación de las propiedades organolépticas*

Escala	Valor	Ponderación (%)
Muy Buena	5	100
Buena	4	75
Regular	3	50
Mala	2	25
Muy mala	1	0

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para una mejor interpretación tanto gráfica como estadística de las calificaciones hechas por los jueces, es necesario asignarles una puntuación sobre 100 %, a los parámetros evaluados. Ver la tabla III-11.

Tabla III-11. *Puntuación a los parámetros evaluados*

Parámetro	Valoración (%)
Evaluación visual	Total 40
Color	10
Tamaño	10
Forma	10
Brillo	10
Evaluación olfativa	Total 20
Olor	20
Evaluación de gusto	Total 30
Acidez	15
Dulzor	15
Evaluación de contacto	Total 10
Textura	10
Sumatoria total de las valoraciones asignadas a cada parámetro	100

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para el estudio de investigación de las pruebas organolépticas de las rodajas de manzana deshidratada, se seleccionó a 10 jueces al azar, para que asignaran las calificaciones correspondientes de las ocho muestras realizadas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de ingeniería Química en presencia de los encargados del laboratorio. Ver los datos de los análisis en el Anexo D

3.6.2 Características fisicoquímicas del producto final

El análisis fisicoquímico para el producto final, se realizó en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se determinó los siguientes parámetros y técnicas que se detallan en la tabla III-12.

Tabla III-12. *Parámetros del análisis físico-químico del producto final*

Parámetros	Técnica	Unidades
Humedad	Gravimetría	(%)
Proteínas	Volumetría	(%)
Fibra	Gravimetría	(%)
Hidratos de carbono	Cálculo	(%)
Materia grasa	Gravimetría	(%)
Cenizas	Gravimetría	(%)
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g
pH	Potenciométrico	

Fuente: CEANID, 2021.

3.6.3 Parámetros del análisis microbiológico del producto final

El análisis microbiológico se realizó en el Centro de Análisis Investigación y desarrollo (CEANID), los siguientes parámetros y métodos que se observa en la tabla III-13.

Tabla III-13. *Características microbiológicas del producto final*

Parámetros	Técnica	Unidades
Echerichia coli	Recuento en placa	NMP/g
Mohos y levaduras	Recuento en placa	NMP/g

Fuente: CEANID, 2021.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Análisis de la manzana variedad *Red delicious*

Para tener información ordenada y de primera mano sobre la manzana *Red delicious*, se analizaron las propiedades físicas y fisicoquímicas de la manzana., las cuales permitieron desarrollar la investigación más adelante de deshidratado de forma exitosa.

4.1.1 Análisis de las propiedades físicas de la manzana *Red delicious*

Para determinar los parámetros físicos de la manzana *Red delicious*, se realizaron cálculos estadísticos mediante software en Excel, como ser el valor del rango y la media de las propiedades físicas de la manzana, en base a datos obtenidos de la tabla III-1.

Tabla IV-1. Resumen de las propiedades físicas de la manzana *Red delicious*

Detalle	Rango	Media
Altura (mm)	66,00 – 75,00	70,07
Diámetro (mm)	65,00 – 75,00	69,73
Peso bruto (g)	165,00 – 175,00	169,67
Peso neto (g)	100,32 – 108,33	105,57
Peso no comestible (g)	59,06 – 65,99	62,03

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la tabla IV-1, se muestran los valores estadísticos de rango y la media que atribuyen a las siguientes propiedades físicas de la manzana como ser: la altura, el diámetro, el peso bruto (o peso total), el peso neto “porción comestible” y finalmente esta la porción no comestible todo aquello que se considera no aprovechable de una manzana.

4.1.2 Análisis de las propiedades fisicoquímicas de la manzana *Red delicious*

En cuanto a las propiedades fisicoquímicas de la manzana *Red delicious* realizadas en el CEANID, tenemos los siguientes resultados: (ver tabla IV-2).

Tabla IV-2. Propiedades fisicoquímicas de la manzana Red Delicious

Parámetros	Cantidad	Unidades
Humedad	84,79	(%)
Proteínas (Nx6,25)	0,16	(%)
Fibra	0,16	(%)
Hidratos de carbono	14,57	(%)
Materia grasa	0,12	(%)
Cenizas	0,20	(%)
Valor energético	60,00	Kcal/100 g
pH (20°C)	4,02	

Fuente: CEANID, 2021.

Como se puede observar en la tabla IV-2, según los resultados obtenidos del análisis de propiedades fisicoquímicas, la manzana (*variedad Red delicious*) cultivada en el valle central de Tarija, tiene un contenido de humedad aproximado 84,79 %, el valor de las proteínas es del 0,16 %, la fibra 0,16 %, los hidratos de carbono 14,57 %, la materia grasa 0,12 %, los minerales o ceniza 0,20 %, el valor energético es 60 Kcal por cada 100 g de porción de manzana, con un pH ácido de 4,02.

4.1.3 Análisis de la porción comestible de la manzana *Red delicious*

La porción comestible de la manzana *Red delicious*, se calculó a partir de la necesidad de tener un producto de alta calidad donde las rodajas de manzana deshidratada tengan en su estructura física la mayor cantidad posible de pulpa pura.

En ese sentido se descartaron varias partes de la manzana que llegaron a denominarse la parte no comestible como ser: el centro (o endocarpio) de la manzana, las semillas, el pedúnculo, el estilo y todo aquello que se considere no utilizable como los polos de la manzana (pequeñas rodajas que se encuentran ubicadas en la parte inferior y la parte superior por su gran contenido de cascara que posee). Ver las partes de una manzana en el Anexo E

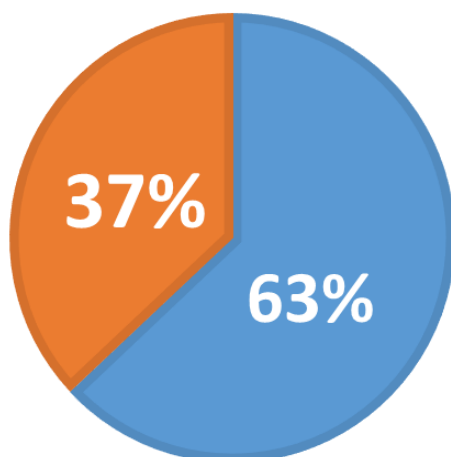


Figura 4-1. Porción comestible de la manzana *Red delicious*

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La figura 4-1, ilustra la porción comestible de una manzana que equivale al 63 % de una manzana en peso bruto, cuyos datos fueron calculados mediante diferencia de masas descritos en la tabla III-1.

4.2 Fase experimental de la obtención de rodajas de manzana deshidratada

Tras la culminación de la fase experimental, las tecnologías planteadas para la deshidratación de la manzana *Red delicious*, lograron satisfacer las expectativas de un producto de calidad, siendo las mismas el resultado de cada etapa complementaria realizada, empezando desde la selección de la manzana, el lavado, el corte, el tratamiento con ácido cítrico de las rodajas de manzana, el deshidratado osmótico donde se insertaron sólidos solubles como son el (ácido cítrico y sacarosa), que contribuyeron de forma positiva a la estructura del producto final, mejorando las propiedades organolépticas, y finalmente complementario a esto se deshidrató la manzana, mediante el aire caliente forzado con el objetivo de reducir la humedad final de las rodajas de manzana deshidratadas a niveles requeridos, ver niveles en la tabla II-3 y tabla II-4.

4.2.1 Resultados de la deshidratación osmótica de la manzana *Red Delicious*

La deshidratación osmótica es una fase donde las rodajas de manzana se deshidratan de forma parcial, mediante un intercambio de materia y energía. Las rodajas de manzana inmersos en el jarabe osmótico pierden (agua y sustancias orgánicas de bajo peso molecular) (Wais, 2011), así como también ganan sólidos deseables (sacarosa y ácido cítrico), el ácido cítrico es el agente principal que evita el pardeamiento de las rodajas de manzana.

El trabajo propuesto se realizó a base de ocho pruebas promedio entre la muestra trabajada y su réplica: muestras MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8.

4.2.1.1 Pérdida de peso

La pérdida de peso (PP) se denomina a la diferencia de masa que existe en la manzana, después de ser sometido a un proceso de deshidratado osmótico. Ver la ecuación (2-1), (pág. 18).

Ejemplo: Cálculo de la pérdida de peso de la muestra MD1 en el primer experimento.

Ver datos de la muestra MD1 en el anexo B

$$PP1 (\%) = \frac{(101,2 - 49,2)[g] * 100}{101,2 [g]} = 51,38$$

Masa de fruta fresca = 101,2 g, para un tiempo de deshidratación de cero segundos.

Masa de la muestra ya osmodeshidratada = 49,2 g, para un tiempo $t_{DO} = 180$ min, 60 °Brix, y 45 °C.

En la siguiente tabla IV-3, se muestra la pérdida de peso en las rodajas de manzana a diferentes tipos de concentración vs tiempo y temperatura.

Tabla IV-3. Pérdidas de peso vs el tiempo de deshidratación y temperatura

N° Experimentos	Concentración (°Brix)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	PP1 (%)	PP2 (%)	PP (%)
MD1	60	180	45	51,38	51,21	51,30
MD2	60	240	45	57,02	54,74	55,88
MD3	60	180	55	53,25	50,91	52,08
MD4	60	240	55	60,39	59,82	60,11
MD5	50	180	45	43,02	45,05	44,03
MD6	50	240	45	47,82	50,74	49,28
MD7	50	180	55	43,68	43,99	43,83
MD8	50	240	55	54,52	54,24	54,38

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla IV-3, muestra los resultados de las pérdidas de peso de las muestras MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8, durante el proceso de osmosis: abreviadas como PP1 (pérdida de peso de la muestra trabajada), PP2 (pérdida de peso de la muestra réplica respecto a PP1) y PP (pérdida de peso de la muestra trabajada PP1 Y PP2 en promedio). Ver figura 4-2.

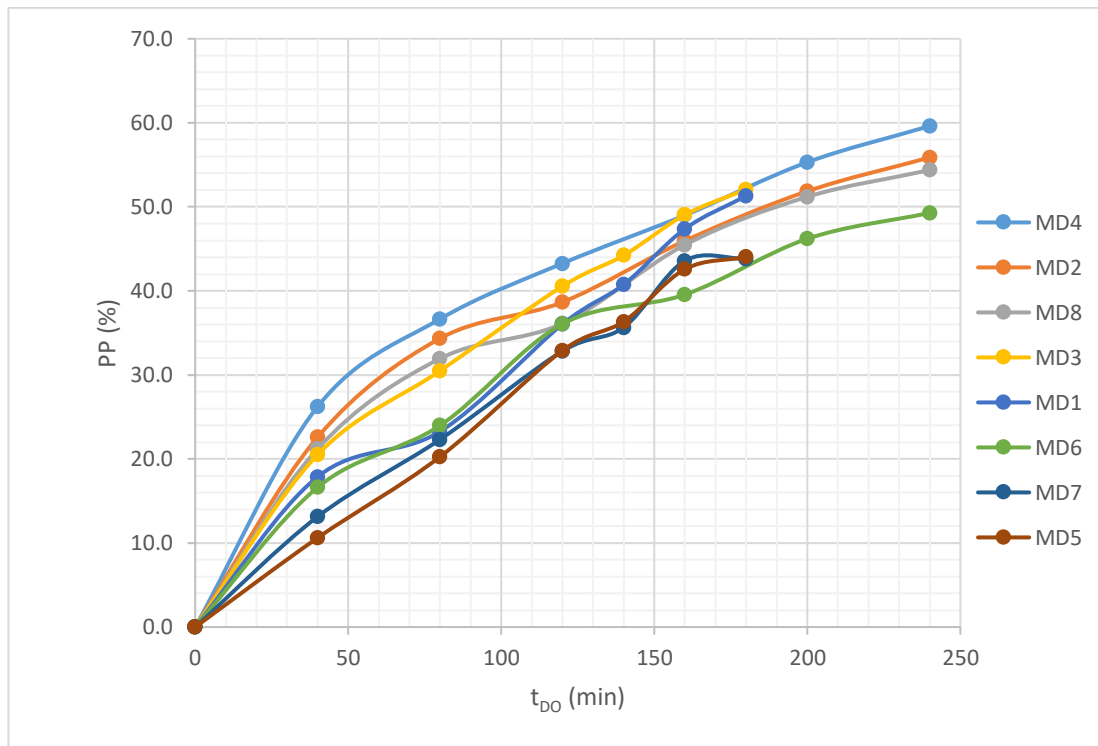


Figura 4-2. Pérdidas de peso vs el tiempo de deshidratación

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La figura 4-2, ilustra el comportamiento de la pérdida de peso de cada muestra respecto al tiempo de deshidratado osmótico en las condiciones de: 170 rpm de agitación y 1:3 de relación fruta/jarabe. En esta representación se observa, que la pérdida de peso está en función de la concentración, a mayor concentración 60 °Brix habrá mayor pérdida de peso, que los que se trabajen a 50 °Brix, manifestándose sobre todo en las primeras horas de deshidratado donde la velocidad de intercambio de masa es mayor, además se puede observar que las muestras fueron influenciadas por la temperatura en un grado menor que las variables tiempo concentración.

4.2.1.2 Ganancia de sólidos totales en las rodajas de manzana *Red delicious*

La ganancia de sólido totales (ST) se denomina a la cantidad de sólidos solubles totales que llega tener la manzana *Red delicious* conforme pasa el tiempo durante la deshidratación osmótica. Ver la ecuación (2-2)., (pág. 18)

Ejemplo. Cálculo de la ganancia de sólidos totales de la muestra MD1 en el experimento ST1. Ver los datos de la muestra MD1 en el Anexo B

$$ST1(\%) = \frac{19,14 \text{ [g]}}{49,2 \text{ [g]}} * 100 = 38,90$$

Masa seca de la muestra ya osmodeshidratada = 19,14 g, para un t_{DO} = 180 min, 60 °Brix y 45 °C.

Masa de las rodajas de manzana osmodehidratadas = 49,2 g, para un t_{DO} = 180 min, 60 °Brix y 45 °C.

En la siguiente tabla IV-4, se muestra la ganancia de sólidos totales en las rodajas de manzana a diferentes tipos de concentración vs tiempo y temperatura durante la deshidratación osmótica.

Tabla IV-4. *Ganancia de los sólidos totales en las rodajas de manzana osmodeshidratadas*

Nº experimento	Concentracion (°Brix)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	ST1 (%)	ST2 (%)	ST (%)
MD1	60	180	45	38,90	37,87	38,39
MD2	60	240	45	45,08	42,95	44,02
MD3	60	180	55	40,32	38,54	39,43
MD4	60	240	55	49,50	49,19	49,35
MD5	50	180	45	31,14	32,17	31,66
MD6	50	240	45	36,00	37,28	36,64
MD7	50	180	55	32,35	32,38	32,37
MD8	50	240	55	41,46	41,85	41,66

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla IV-4, muestra los resultados de la ganancia de sólidos totales de las muestras MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8 durante el proceso de ósmosis: abreviadas como ST1 (ganancia de sólidos totales de la muestra trabajada), ST2 (ganancia de sólidos totales de la muestra réplica respecto a ST1) y ST (ganancia de sólidos totales de la muestra trabajada ST1 y ST2 en promedio).

El comportamiento de la ganancia de sólidos totales por cada muestra respecto al tiempo, se muestra en la figura 4-3, en ella se observa, que la ganancia de sólidos totales se produce a partir del 15,21 %, de la masa inicial contenida en la manzana *Red delicious*, datos proporcionados por el CEANID, la transferencia de masa se manifiesta en las primeras 2 horas de forma más lenta, en cambio después de las dos horas la velocidad de la ganancia de sólidos totales aumenta de forma leve hasta el punto de corte de deshidratado osmótico.

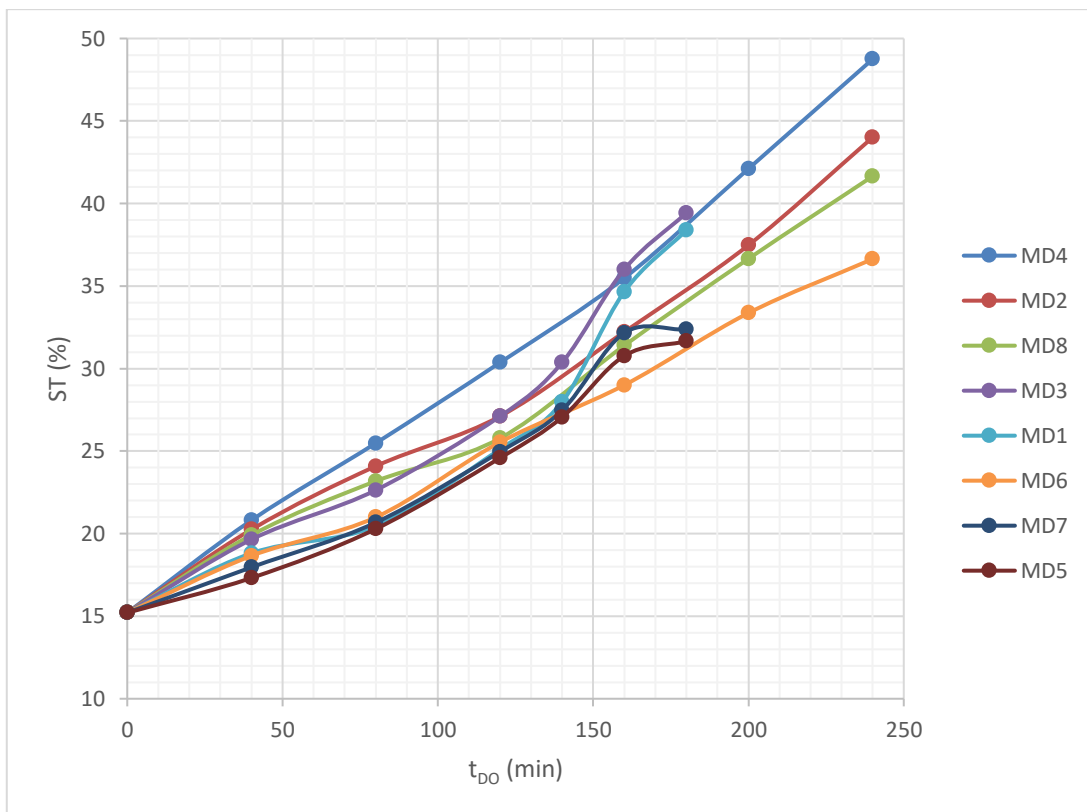


Figura 4-3. Ganancia de sólidos totales vs el tiempo de deshidratación osmótica.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.2.1.3 Pérdida de agua en las rodajas de manzana *Red delicious*

La pérdida de agua (PA) se denomina a la cantidad de agua que pierde la manzana durante la deshidratación por ósmosis por cada 100 g de manzana fresca que entra. Ver la ecuación (2-3)., (pág. 18).

Ejemplo. Cálculo de la pérdida de agua perteneciente a la muestra MD1 durante la deshidratación osmótica del primer experimento.

Ver los datos recabados de la muestra MD1 en el Anexo B.

Para este cálculo se considera una muestra de manzana fresca de 100 g.

$$PA(\%) = \left[\left(1 - \frac{15,21 \text{ [g]}}{100 \text{ [g]}} \right) - \left(1 - \frac{38,9 \text{ [g]}}{100 \text{ [g]}} \right) \left(1 - \frac{51,38 \text{ [g]}}{100 \text{ [g]}} \right) \right] * 100 = 55,09$$

Contenido de sólidos totales de una muestra de manzana fresca = 15,21 g.

Contenido de sólidos totales de una muestra de manzana ya osmodeshidratada = 38,90 g.

Pérdida de peso de la manzana durante la deshidratación por ósmosis = 51,38 g.

En la siguiente tabla IV-5, se muestra la pérdida de agua en las rodajas de manzana a diferentes tipos de concentración vs tiempo y temperatura durante la deshidratación osmótica.

Tabla IV-5. Pérdida de agua en las rodajas de manzanas durante el deshidratado osmótico

Nº experimentos	Concentración (°Brix)	Tiempo (min)	Temperatura (°Brix)	PA1 (%)	PA2 (%)	PA (%)
MD1	60	180	45	55,09	54,48	54,78
MD2	60	240	45	45,08	61,18	53,13
MD3	60	180	55	56,89	54,62	55,75
MD4	60	240	55	64,78	64,38	64,58
MD5	50	180	45	45,55	47,51	46,53
MD6	50	240	45	51,40	53,89	52,65
MD7	50	180	55	46,69	46,92	46,80
MD8	50	240	55	58,17	58,18	58,17

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla IV-5, muestra los resultados de las pérdidas de agua de las muestras MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8 durante el proceso de ósmosis: abreviadas como PA1 (pérdida de agua de la muestra trabajada), PA2 (pérdida de agua de la

muestra réplica respecto a PA1) y PA (pérdida de agua de la muestra trabajada PA1 y PA2 en promedio). Ver figura 4-4.

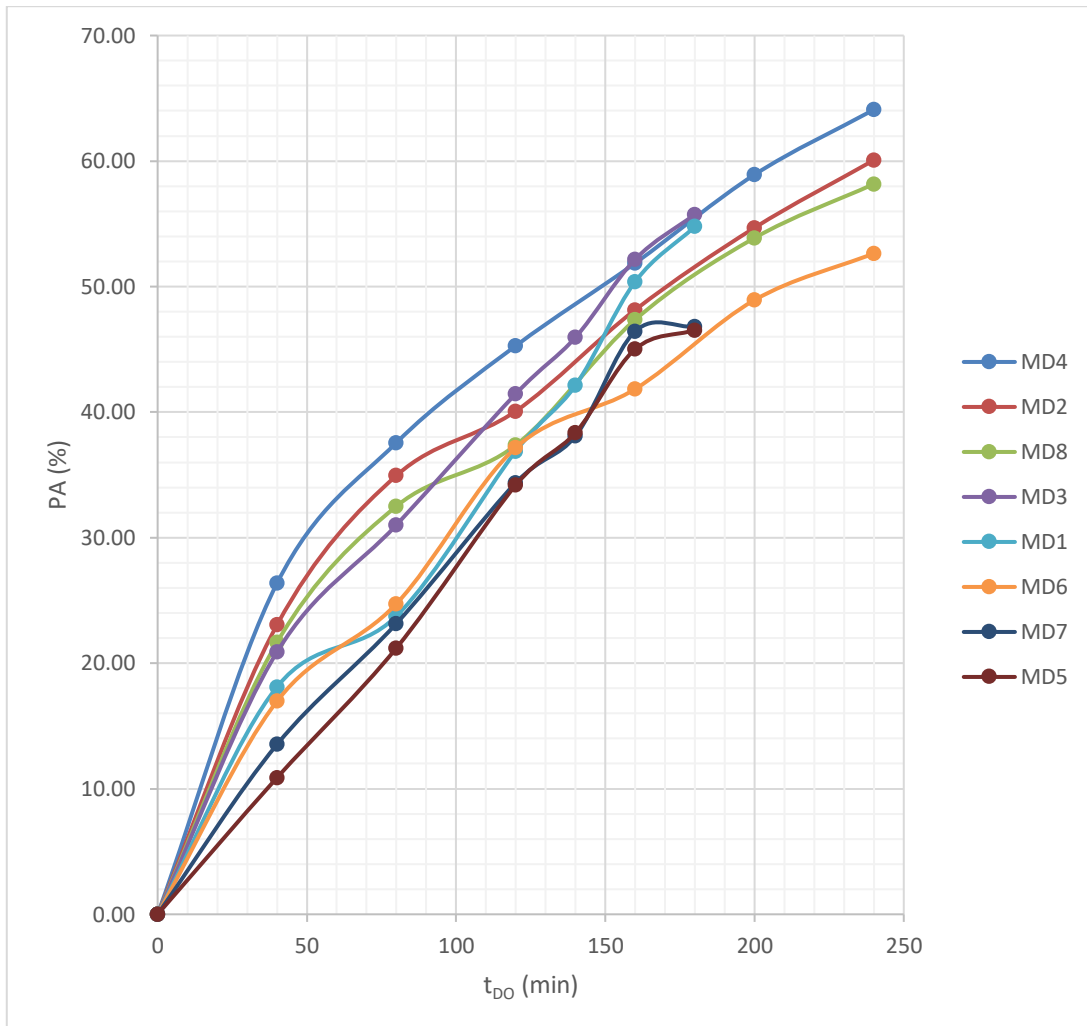


Figura 4-4. Pérdida de agua en las muestras vs el tiempo de deshidratación

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La figura 4-4, ilustra el comportamiento de la pérdida de agua de cada muestra de rodajas de manzana respecto al tiempo de deshidratación en las condiciones de: 170 rpm de agitación y 1:3 de relación fruta/jarabe. En esta representación se observa, que la pérdida de agua está en función de la concentración del jarabe y del tiempo, en menor relevancia esta la temperatura, la mayor pérdida se da en las primeras horas del deshidratado osmótico.

4.2.1.4 Ganancia de sólidos solubles en las rodajas de manzana *Red delicious*

La ganancia de sólidos solubles (SG) se denomina a la cantidad de sólidos deseables que va ganando la manzana conforme transcurre en tiempo durante la deshidratación por ósmosis por cada 100 g de manzana fresca que entra. Ver la ecuación (2-4), (pág.8).

Ejemplo. Cálculo de la ganancia de sólidos deseables de la muestra MD1 en el experimento 1.

Para este cálculo se considera una muestra de manzana fresca de 100 g.

Ver los datos de la muestra MD1 en el anexo B.

$$SG(\%) = \left[\left(1 - \frac{51,38 \text{ [g]}}{100 \text{ [g]}} \right) \frac{38,90 \text{ [g]}}{100 \text{ [g]}} - \frac{15,21 \text{ [g]}}{100 \text{ [g]}} \right] 100 = 3,70$$

Pérdida de peso de la manzana durante la deshidratación por ósmosis = 51,38 g.

Contenido de sólidos totales de una muestra de manzana ya osmodeshidratada es igual a 38,90 g.

Contenido de sólidos totales de una muestra de manzana fresca = 15,21 g.

En la siguiente tabla IV-6, se muestra la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de manzana a diferentes tipos de concentración vs tiempo y temperatura durante la deshidratación osmótica.

Tabla IV-6. *Ganancia de sólidos solubles por las rodajas de manzana Red delicious durante la deshidratación osmótica.*

N° experimentos	Concentracion (°Brix)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	SG1 (%)	SG2 (%)	SG (%)
MD1	60	180	45	3,70	3,27	3,49
MD2	60	240	45	4,17	4,23	4,20
MD3	60	180	55	3,64	3,71	3,67
MD4	60	240	55	4,40	4,55	4,48
MD5	50	180	45	2,54	2,47	2,50
MD6	50	240	45	3,58	3,15	3,36
MD7	50	180	55	3,01	2,93	2,97
MD8	50	240	55	3,65	3,94	3,80

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla IV-6, muestra los resultados de las ganancias de los sólidos solubles. para las muestras MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8 durante el proceso de ósmosis: abreviadas como SG1 (ganancia de sólidos solubles de la muestra trabajada), SG2 (ganancia de sólidos solubles de la muestra réplica respecto a SG1) y SG (pérdida de agua de la muestra trabajada SG1 y SG2 en promedio). Ver figura 4-4.

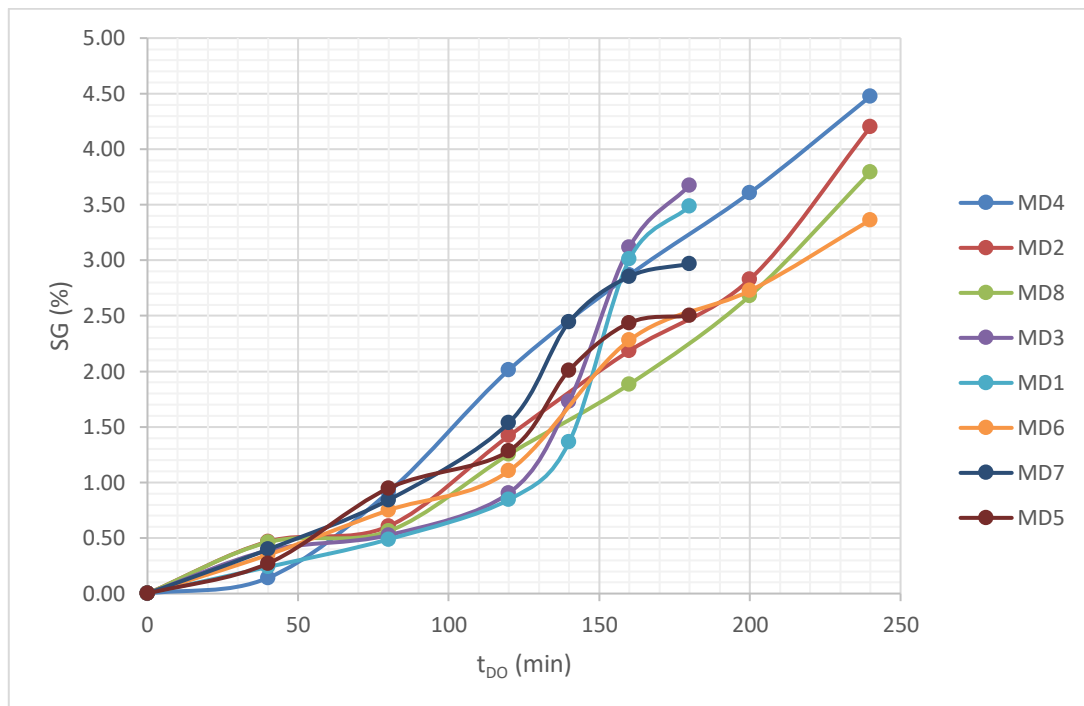


Figura 4-5. Ganancia de sólidos deseables vs tiempo de deshidratación

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La figura 4-5, ilustra el comportamiento de la ganancia de sólidos deseables de cada muestra de manzana respecto al tiempo de deshidratación. En esta representación se observa, que la ganancia de sólidos deseables está en función de la concentración y del tiempo, a mayor concentración hay mayor ganancia de sólidos deseables.

4.2.2 Resultados del secado por aire caliente (tiro forzado)

La deshidratación osmótica remueve grandes cantidades de agua incluso puede superar el 50% del peso inicial de la fruta, en este caso de la manzana *Red delicious*, que en nuestro proceso de investigación en la muestra MD4 casi logró alcanzar el 60 % de

perdida de agua, a pesar de ello, no permite obtener un producto seguro microbiológicamente, ya que la actividad acuosa alcanzada no es lo suficientemente baja como para inhibir la proliferación de microorganismos. En consecuencia, es necesario someter las manzanas osmodeshidratadas a un secado final por aire caliente para reducir la cantidad de humedad en la fruta a niveles estables.

4.2.2.1 Resultado de las curvas de secado por aire caliente [SAC]

El comportamiento de la pérdida de agua en la manzana durante el secado por aire caliente se considera como la variación de la humedad libre respecto al tiempo expresada matemáticamente mediante la ecuación (4-1):

$$H_{bs} = \frac{W_1 - W_s}{W_s} \left(\frac{g \text{ totales de agua}}{g \text{ de sólido seco}} \right) \quad (4-1)$$

H_{bs} = Contenido de humedad libre en base seca (g de agua/g de sólido seco) al tiempo t.

W_1 = el peso del sólido húmedo en gramos al tiempo t.

w_s = el peso del sólido seco en gramos.

Ejemplo. Secado por aire caliente de la muestra MD1 del experimento 1, en base seca.

Ver los datos de la muestra MD1 en el anexo C de secado por aire caliente.

$$H_{bs} = \frac{49,2 \text{ [g]} - 18,11 \text{ [g]}}{18,11 \text{ [g]}} = 1,72$$

Masa de la manzana húmeda osmodeshidratada = 49,2 g.

Masa de la manzana deshidratada seca = 18,11 g, determinado en el secador infrarrojo a 50 °C.

En la siguiente tabla IV-7, se muestra la variación de la humedad de las rodajas de manzana osmodeshidratadas respecto al tiempo de secado por aire caliente para la muestra MD1.

Tabla IV-7. Variación de humedad respecto al tiempo de secado por aire caliente de la muestra MD1

Tiempo SAC (min)	Humedad libre en base seca ($\frac{\text{g totales de agua}}{\text{g sólido seco}}$)		
	H_{bs} (I)	H_{bs} (II)	H_{bs}
0	1,72	1,78	1,75
30	1,46	1,50	1,48
60	1,24	1,18	1,21
90	0,96	0,94	0,95
130	0,47	0,36	0,42
210	0,23	0,24	0,23

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla IV-7, muestra la variación de humedad libre (en base seca) de la muestra MD1 respecto el tiempo de secado por aire caliente, **H_{bs} (I)** es la humedad libre en base seca de la muestra trabajada, **H_{bs} (II)** es la humedad libre en base seca de la réplica respecto a H_{bs} (I) y **H_{bs}** es la humedad libre en promedio respecto a H_{bs} (I) y H_{bs} (II)., el mismo cálculo se hizo para las demás muestras MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8. Ver figura 4-6.

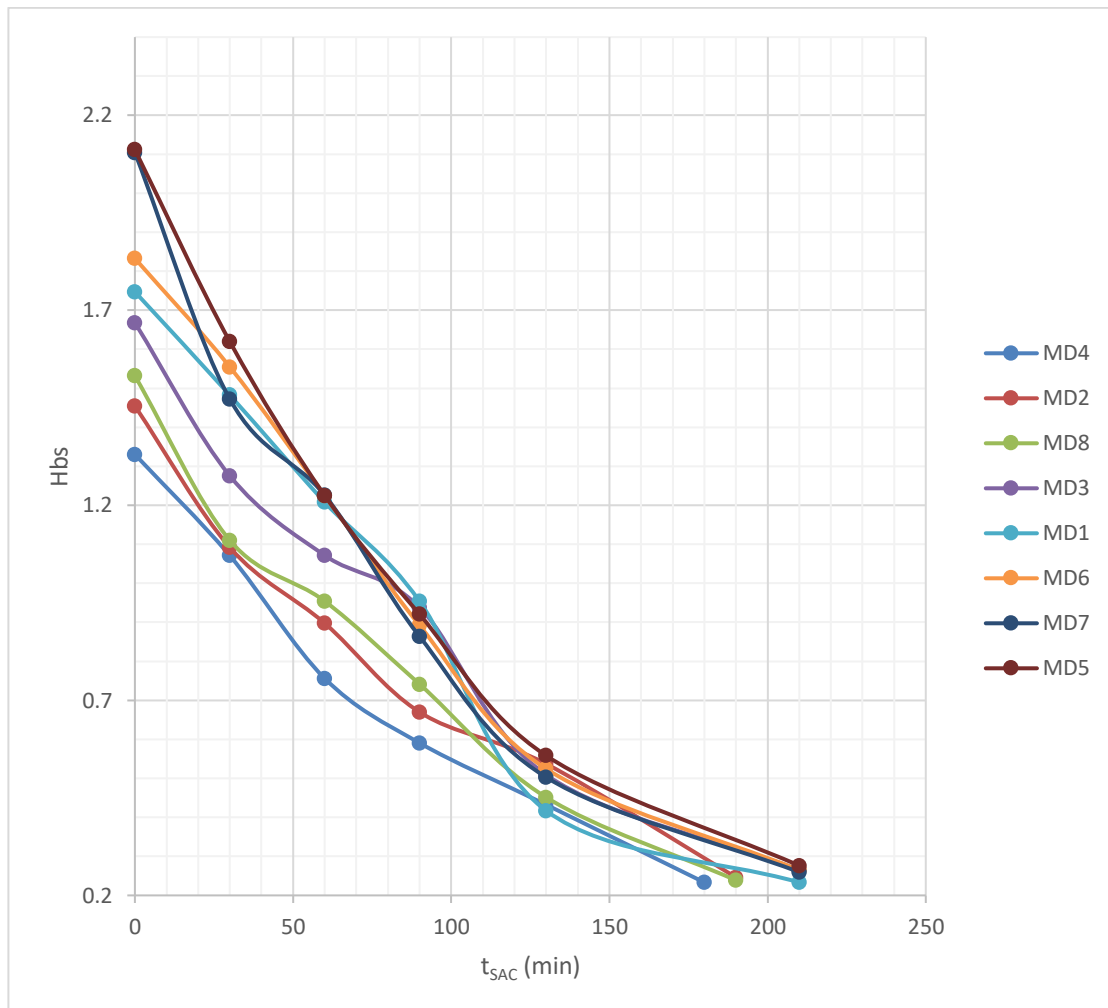


Figura 4-6. Curvas de secado por aire caliente de las 8 muestras estudiadas

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La figura 4-6, ilustra la variación de las humedades de la manzana en base seca (H_{bs}) de las muestras MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8 respecto al tiempo de secado por aire caliente (t_{SAC}), en las siguientes condiciones: temperatura 50-55 °C, ver (pag-17), presión 1 atm a 3 mm de espesor de cada rodaja y un caudal de aire aproximado de 0,12 m³/s, con una velocidad del flujo de 2,3 m/s de acuerdo al dato medido por el anemómetro “Amprobe”, además, se puede concluir que las muestras que se deshidrataron bajo las condiciones de los niveles inferiores de cada variable en el deshidratado osmótico como ser: concentración del jarabe osmótico a 50 °Brix,

temperatura 45 °C y tiempo de 180 min de deshidratación, tuvieron una tendencia de secado más lento, con mayor tiempo de operación del secado por aire caliente.

4.2.3 Resumen de la pérdida de agua en las rodajas de manzana *Red delicious*

Después de analizar la fase experimental del proceso combinado (de la deshidratación por ósmosis y secado por aire caliente), se creó la tabla IV-8, donde se puede resumir la pérdida de agua en las rodajas de manzana durante la deshidratación por ósmosis y secado por aire caliente para cada muestra, donde también se puede apreciar el tiempo empleado en cada proceso de deshidratado, así como la humedad final (H_f) de cada muestra.

Tabla IV-8. *Resumen de la pérdida de agua en el proceso combinado*

Muestra	PA_{DO} (%)	t_{DO} (min)	PA_{SAC} (%)	t_{SAC} (min)	H_f (%)
MD1	54,78	180	44,89	210	16,27
MD2	53,13	240	50,78	190	14,0
MD3	55,75	180	47,42	210	17,61
MD4	64,58	240	54,16	180	11,86
MD5	46,53	180	40,75	210	22,87
MD6	52,65	240	44,66	210	18,94
MD7	46,80	180	40,58	210	20,32
MD8	58,17	240	48,93	190	15,27

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla IV-8, muestra el resumen de la pérdida de agua en el proceso combinado de deshidratación por osmosis y secado por aire caliente de las muestras de manzana MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8., se puede observar resultados tales como (**PA_{DO}**) la pérdida de agua en las rodajas de manzana respecto a la masa total, (**t_{DO}**) tiempo del deshidratado osmótico de cada muestra, (**PA_{SAC}**) la pérdida de agua en las rodajas de manzana durante el secado de aire caliente respecto a la cantidad inicial de humedad en la fruta osmodeshidratada, (**t_{SAC}**) el tiempo operativo del secado por aire caliente, y (**H_f**) la humedad del producto final de cada muestra.

Del resumen se concluye que el tiempo del secado por aire caliente más allá de sus condiciones operativas, depende del tiempo de inmersión del deshidratado osmótico, así como de su concentración. A mayor tiempo de deshidratación osmótico habrá menor tiempo secado por aire caliente.

4.3 Análisis de las pruebas organolépticas de las rodajas de manzana deshidratada

La evaluación organoléptica de las rodajas de manzana deshidratadas se realizó mediante un panel de degustadores (jueces) realizadas en el LOU, en base en la escala **Hedónica** de 5 puntos, Ver en la tabla IV-9

Tabla IV-9. *Escala de calificación de las propiedades organolépticas*

Escala	Valor
Muy Buena	5
Buena	4
Regular	3
Mala	2
Muy mala	1

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para las muestras: MD1, MD2, MD3, MD4, MD5, MD6, MD7, MD8 desde lo visual, olfativo, gustativo y de contacto.

4.3.1 Resultado del análisis visual de las rodajas de manzana deshidratada

En la siguiente tabla IV-10, se ilustra los parámetros de la evaluación visual de las rodajas de manzana deshidratadas para cada muestra de forma específica, como es el color, el brillo, la forma y tamaño, más la ponderación porcentual.

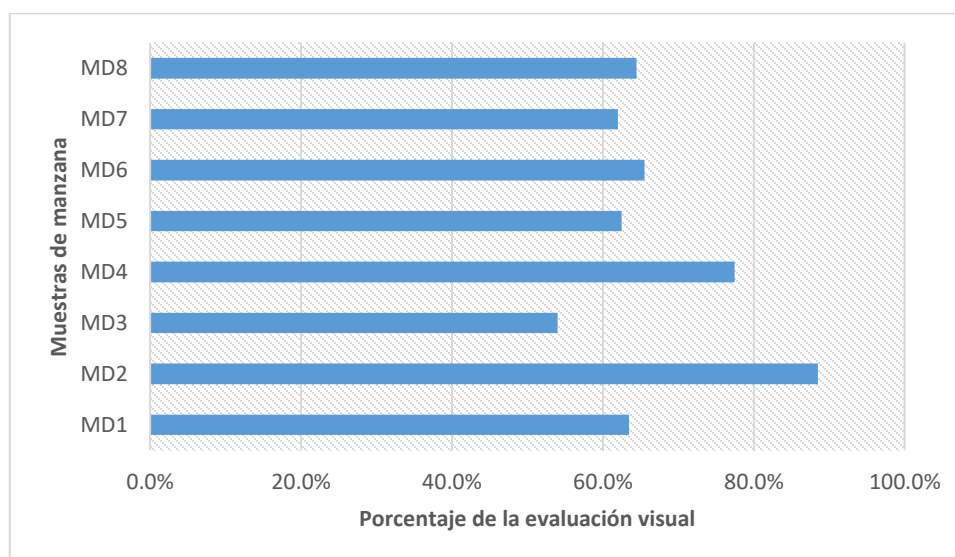
Tabla IV-10. Puntuación tope a los parámetros visual evaluados

Parámetros específicos de la evaluación visual	Ponderación (%)
Color	10
Tamaño	10
Forma	10
Brillo	10
Sumatoria total	40

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la siguiente figura 4-7, se muestra el grado de aceptación visual de las rodajas de manzana deshidratadas para cada muestra, que es el resultado de la sumatoria de los parámetros específicos evaluados como es el color, el brillo, la forma y tamaño, donde los jueces a criterio personal dieron su valoración al producto expuesto, para una mejor representación en la gráfica de la figura 4-7, el valor obtenido de la aceptación visual se llevó a una escala de 100.

Ahora el parámetro específico visual es el resultado del valor promedio calificado por los degustadores sobre el valor de la escala hedónica más elevada, el resultado se multiplicada por la ponderación del parámetro específico visual. Ver en el Anexo D

**Figura 4-7.** Aceptación visual del producto final

Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.3.2 Resultado del análisis olfativo de las rodajas de manzana deshidratada

En la siguiente tabla IV-11, se ilustra el parámetro de la evaluación olfativa de las rodajas de manzana deshidratadas para cada muestra.

Tabla IV-11. Puntuación tope al parámetro olfativo evaluado

Parámetro de la evaluación olfativa	Ponderación (%)
Olfato	20

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la siguiente figura 4-8, se muestra el grado de aceptación olfativa de las rodajas de manzana deshidratadas para cada muestra, que es el resultado de la evaluación, donde los jueces a criterio personal dieron su valoración al producto expuesto, para una mejor representación en la gráfica de la figura 4-8, el valor obtenido de la aceptación visual se llevó a una escala de 100.

Ahora el parámetro olfativo es el resultado del valor promedio calificado por los degustadores sobre el valor de la escala hedónica más elevada, el resultado se multiplica por la ponderación del parámetro olfativo. Ver en el Anexo D

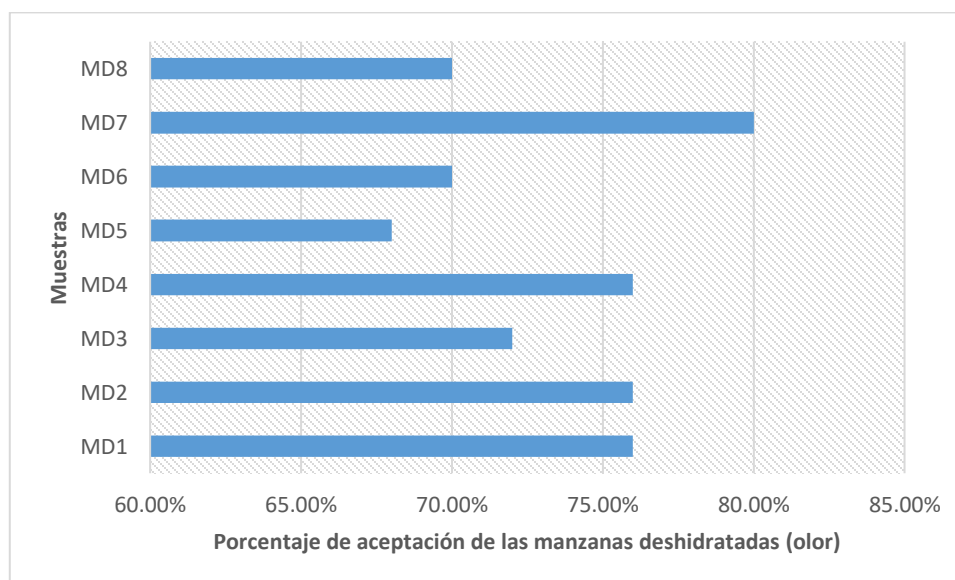


Figura 4-8. Aceptación del olor del producto final

Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.3.3 Resultado del análisis olfativo de las rodajas de manzana deshidratada

En la siguiente tabla IV-12, se ilustra los parámetros de la evaluación del sabor de las rodajas de manzana deshidratadas para cada muestra de forma específica, como es la acidez y dulzura.

Tabla IV-12. Puntuación tope a los parámetros del sabor evaluados

Parámetros específicos de la evaluación del sabor	Ponderación (%)
Acidez	15
Dulzura	15
Sumatoria total	30

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la siguiente figura 4-9, se muestra el grado de aceptación del sabor de las rodajas de manzana deshidratadas para cada muestra, que es el resultado de la sumatoria de los parámetros específicos evaluados como es la acidez y la dulzura, donde los jueces a criterio personal dieron su valoración al producto expuesto, para una mejor representación en la gráfica de la figura 4-9, el valor obtenido de la aceptación visual se llevó a una escala de 100.

Ahora el parámetro específico visual es el resultado del valor promedio calificado por los degustadores sobre el valor de la escala hedónica más elevada, el resultado se multiplicada por la ponderación del parámetro específico visual. Ver en el Anexo D

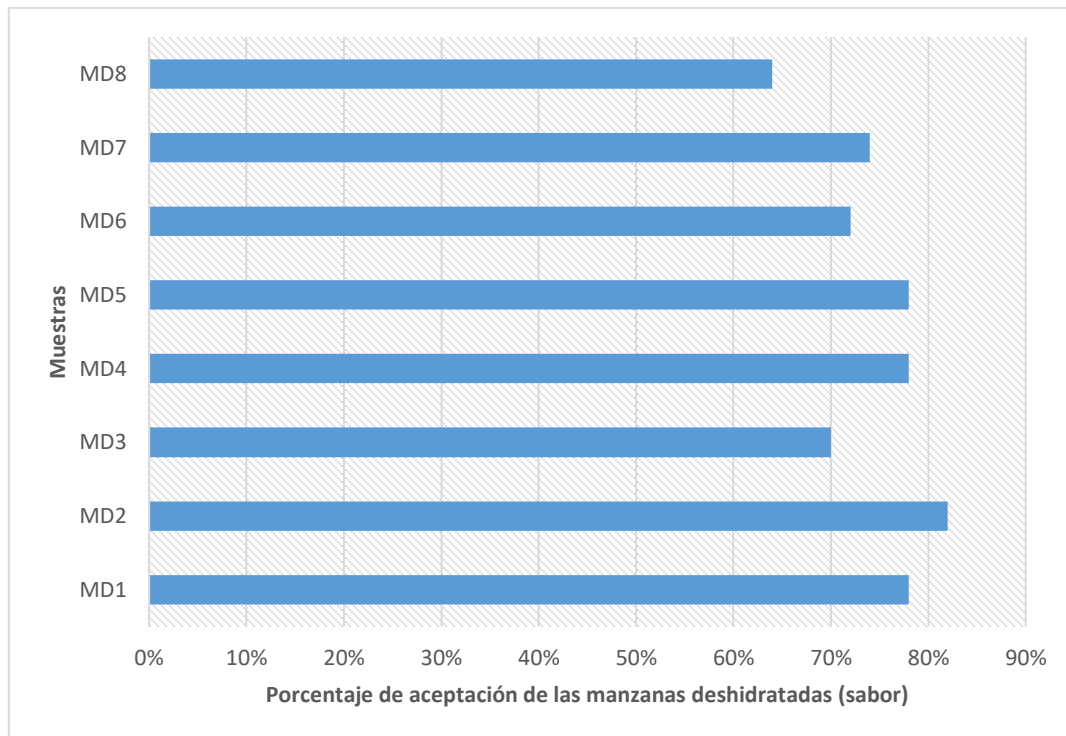


Figura 4-9. Aceptación del sabor del producto final

Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.3.4 Resultado del análisis de textura de las rodajas de manzana deshidratada

En la siguiente tabla IV-13, se ilustra el parámetro de la evaluación de textura de las rodajas de manzana deshidratadas para cada muestra.

Tabla IV-13. *Puntuación tope a los parámetros olfativo evaluados*

Parámetro de la evaluación de textura	Ponderación (%)
textura	20

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la siguiente figura 4-10, se muestra el grado de aceptación de textura de las rodajas de manzana deshidratadas para cada muestra, que es el resultado de la evaluación, donde los jueces a criterio personal dieron su valoración al producto expuesto, para una mejor representación en la gráfica de la figura4-10, el valor obtenido de la aceptación visual se llevó a una escala de 100.

Ahora el parámetro de textura es el resultado del valor promedio calificado por los degustadores sobre el valor de la escala hedónica más elevada, el resultado se multiplicada por la ponderación del parámetro olfativo. Ver en el Anexo D

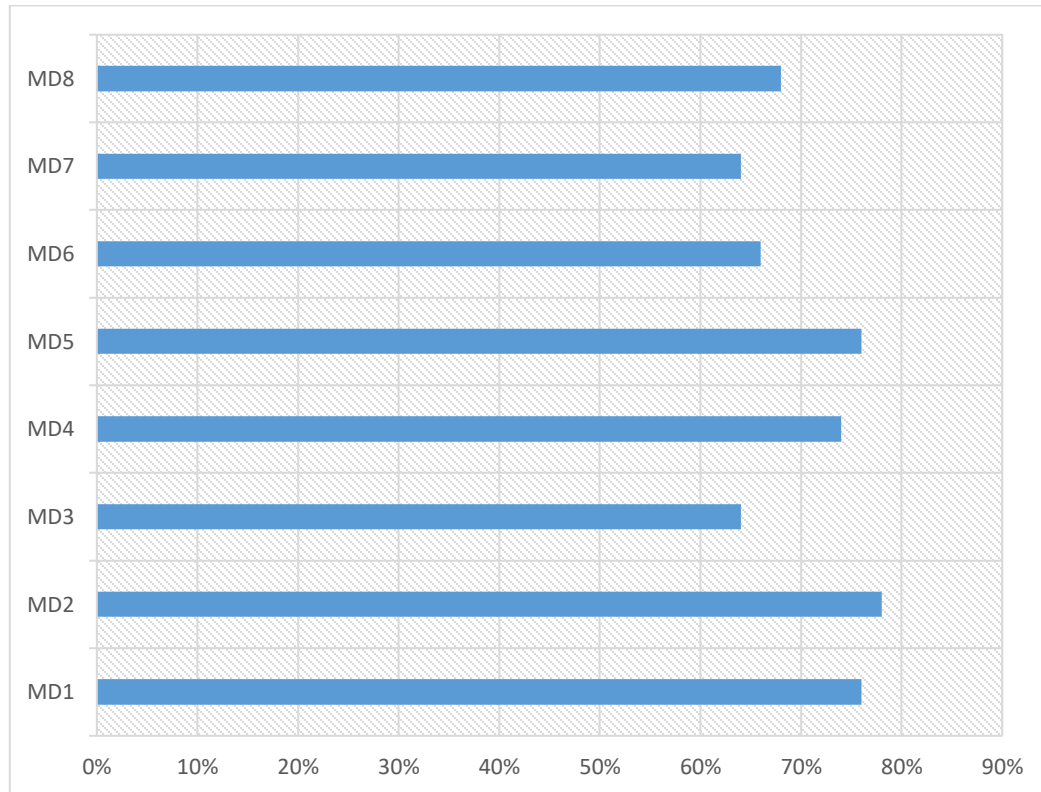


Figura 4-10. Aceptación de la textura del producto final

Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.3.5 Resumen de las pruebas organolépticas

De acuerdo al trabajo realizado, el grado de aceptación de las rodajas de manzana deshidratada sobre pasa el 60 % en general. Obteniéndose la mayor aceptación tanto en lo visual, gusto, olor y contacto a la muestra MD2 con un porcentaje de aceptación del 83 %, seguido de la muestra MD4 con el 77 %, la muestra MD1 con un 71,6 %, MD5 con el 69,6 %, MD7 con el 69,4 %, MD6 con el 68,4 %, MD8 con el 65,4 % y finalmente la muestra MD3 con el 63,4 %. ver figura 4-11.

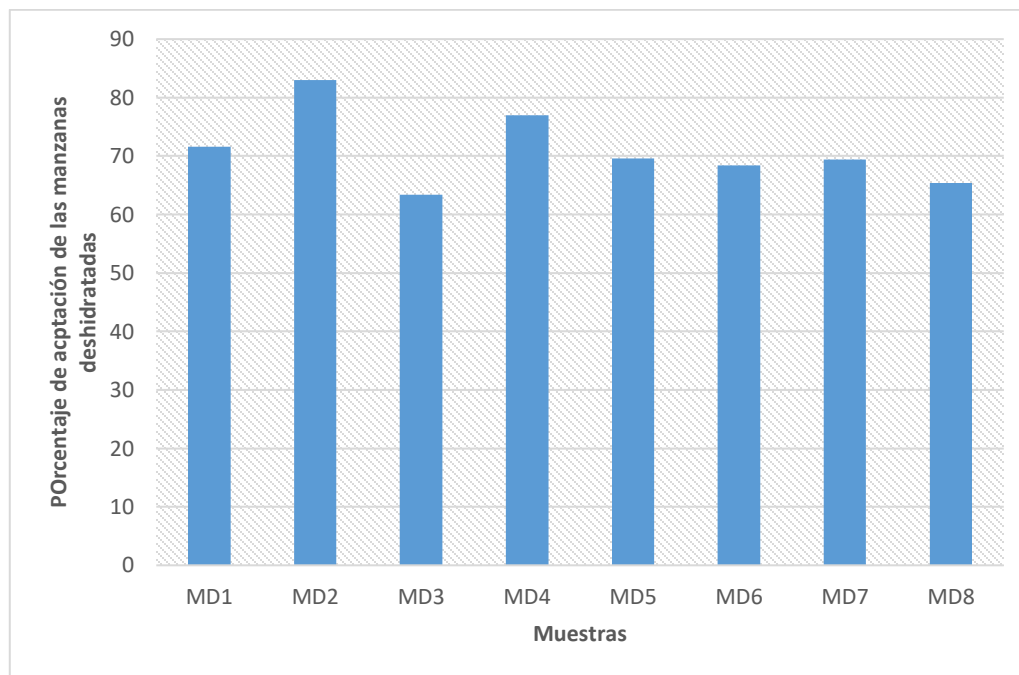


Figura 4-11. Grado de aceptación de las rodajas de manzana deshidratadas

Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.4 Análisis del producto final (rodajas de manzana deshidratada)

Para entender mejor el trabajo de investigación, se generó la tabla IV-14, con el objetivo de representar los datos más sobresalientes del trabajo realizado.

Tabla IV-14. Resumen general de las rodajas de manzana deshidratadas

Muestra	Rodajas de manzana deshidratada (%)	Humedad final "HF" (%)	Tiempo de Elaboración (min)	Rendimiento productivo "η" (%)	Grado de aceptación (%)
MD1	100	16,27	390	21,86	71,6
MD2	100	14,0	430	22,40	83,0
MD3	100	17,61	390	22,72	63,4
MD4	100	11,86	420	21,87	77,0
MD5	100	22,87	390	22,96	69,6
MD6	100	18,94	450	22,64	68,4
MD7	100	20,32	390	22,79	69,4
MD8	100	15,27	430	22,33	65,4

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla IV-14, muestra el resumen de las ocho muestras obtenidas de manzana deshidratadas, donde se puede observar en la columna dos el porcentaje másico en base húmeda de las rodajas de manzanas antes de iniciar el proceso de deshidratado con una valoración del 100 %, luego tenemos la humedad final del producto terminado para cada muestra, también el tiempo total de elaboración de cada muestra, el rendimiento productivo respecto a la porción comestible que se usó y el grado de aceptación de cada muestra según la evaluación de degustación que se realizó con los jueces seleccionados.

4.4.1 Análisis fisicoquímico de las rodajas de manzana deshidratadas

Para realizar el análisis nutricional del producto elaborado, se tomó en cuenta el grado de aceptabilidad de cada muestra, seleccionando el de mayor valor:

Muestra MD2 = 83 % de aceptación. Ver tabla IV-15.

Tabla IV-15. *Análisis fisicoquímico de las rodajas de manzana deshidratada*

Parámetro	Unidad	Resultado	Norma de calidad según el Código Alimentario Argentino
Humedad	%	14,74	25 % máximo
Proteínas	%	0,36	-
Grasa	%	0,29	-
Fibra	%	0,38	-
Hidratos de carbono	%	83,91	sin dato
pH (20 °C)		4,3	-
Azúcares totales	%	64,35	sin dato
Ceniza	%	0,61	-
Valor energético	kcal/100 g	337	-

Fuente: CEANID, 2021.

En la tabla IV-15, se observa el resultado del análisis a las propiedades fisicoquímicas a las rodajas de manzana deshidratada MD2 hechas en el CEANID, donde se puede concluir que el producto obtenido cumple con las normas de calidad exigidas por el Código Alimentario Argentino, donde estipula que toda fruta deshidratada debe contener como máximo una humedad del 25 %.

4.4.2 Análisis sanitario de las rodajas de manzana deshidratada

En la tabla IV-16, se puede presenciar los resultados del producto final, donde se puede observar *Escherichia coli*, Mohos y Levadura < 10 UFC/g (Unidades Formadoras de Colonias) por gramo de alimento cuyos valores comparados son menores a “m” (valor del parámetro microbiológico para el cual o por debajo del cual el alimento no representa un riesgo para la salud)., según el Reglamento Sanitario de Chile ver la tabla II-4.

Tabla IV-16. Análisis sanitario de las rodajas de manzana deshidratada

Microorganismos	Unidad	Resultado	Norma sanitaria del Reglamento de Chile	
			m	M
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	$<1.0 \cdot 10^1 (*)$	$1.0 \cdot 10^1$	$5.0 \cdot 10^2$
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1.0 \cdot 10^1 (*)$	$1.0 \cdot 10^2$	$10 \cdot 10^3$

Fuente: CEANID, 2019.

m = valor del parámetro microbiológico para el cual o por debajo del cual el alimento no representa un riesgo para la salud.

M = valor del parámetro microbiológico por encima del cual el alimento representa un riesgo para la salud.

En conclusión, después de ver los análisis de las rodajas de manzana deshidratadas *Red delicious*, se puede decir que son aptas para el consumo.

4.5 Análisis estadístico del diseño experimental

El análisis estadístico SPSS 17.0 del diseño experimental post experimento, evalúa las variables más influyentes del proceso en estudio: concentración osmótica, tiempo, temperatura, así como la variable respuesta de PA1 planteada y su réplica PA2 obtenida de cada muestra, determina el grado de error y significancia de cada variable en el proceso, además procesa una ecuación corregida ideal para el proceso de investigación la ecuación 4-1.

El objetivo principal del análisis univariante es describir los datos y encontrar los patrones que existen en ellos. Tabla IV-17.

Tabla IV-17. Inter-factores

N° Experimentos	Combinaciones	Concentracion (°Brix)	Tiempo (min)	Temperatura (°Brix)	PA1 (%)	PA2 (%)
MD1	(+1)	+1	-1	-1	55,09	54,48
MD2	a	+1	+1	-1	45,08	61,18
MD3	b	+1	-1	+1	56,89	54,62
MD4	ab	+1	+1	+1	64,78	64,38
MD5	c	-1	-1	-1	45,55	47,51
MD6	ac	-1	+1	-1	51,40	53,89
MD7	bc	-1	-1	+1	46,69	46,92
MD8	abc	-1	+1	+1	58,17	58,18

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En la tabla IV-17, muestra las combinaciones y los inter-factores de los ocho experimentos realizados y su réplica., dos pruebas para cada muestra y su variable respuesta.

4.5.1 Pruebas de los efectos inter-factores

En la siguiente tabla IV-18, se muestran los efectos de la combinación de los inter-factores del deshidratado de rodajas de manzana, mediante concentración, tiempo, temperatura, donde la variable dependiente o variable respuesta es la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica.

Tabla IV-18. Análisis de varianza del diseño factorial de la deshidratación osmótica de las rodajas de manzana

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	479,584 ^a	6	79,931	4,985	0,016
Intersección	46743,521	1	46743,521	2914,992	0,000
Concentración	145,142	1	145,142	9,051	0,015
Tiempo	151,967	1	151,967	9,477	0,013
Temperatura	83,038	1	83,038	5,178	0,049
Concentración * Tiempo	26,600	1	26,600	1,659	0,230
Concentración * Temperatura	10,940	1	10,940	0,682	0,430
Tiempo * Temperatura	61,898	1	61,898	3,860	0,081
Error	144,320	9	16,036		
Total	47367,425	16			
Total corregida	623,904	15			

a. R cuadrado = .769 (R cuadrado corregida = .614)

Fuente: Elaboración propia (SPSS 17.0), 2022.

gl = grados de libertad

Sig. = significancia

F = F-test (se llama F en honor al estadístico Ronald Fisher) se obtiene al estimar la variación de las medias entre los grupos de la variable independiente y dividirla por la estimación de la variación de las medias dentro de los grupos.

La tabla IV-18, ilustra los resultados de las pruebas inter-factores evaluadas en SPSS 17.0.

Según el análisis de varianza, es más significativa la variable, cuando esta es menor al 5%, de acuerdo a lo observado en la tabla IV-18, se puede decir que las variables tiempo, concentración y temperatura son significativas en el proceso de deshidratación osmótica de las rodajas de manzana, con una probabilidad del 95 %.

La siguiente tabla IV-19, muestra la significancia, el factor de corrección y los grados de libertad de la variable respuesta (pérdida de agua PA) del proceso de deshidratación osmótica de las rodajas de manzana.

Tabla IV-19. *Análisis de varianza de la variable respuesta: Pérdida de agua*

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	380,147	3	126,716	6,238	0,009
	Residual	243,757	12	20,313		
	Total	623,904	15			

Fuente: Elaboración propia (SPSS 17.0), 2022.

La tabla IV-19, ilustra los resultados estadísticos del modelo matemático a aplicar:

a. Variables predictoras: (Constante), temperatura, tiempo, concentración

b. Variable dependiente: PA

Donde la significancia de la variable respuesta (PA) es menor a 0,05, en otras palabras, la pérdida de agua es una variable significativa.

Establecido lo anterior, se procede a realizar la regresión lineal múltiple a fin de establecer los modelos matemáticos corregido. Ver tabla IV-15.

Tabla IV-20. *Coefficientes de regresión lineal del modelo corregido*

Modelo	Coefficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95.0% para B		
	Beta			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	0	47,970	0,000	51,596	56,506
	Concentración	0,482	2,673	0,020	0,557	5,467
	Tiempo	0,494	2,735	0,018	0,627	5,537
	Temperatura	0,365	2,022	0,066	-0,177	4,733

Fuente: Elaboración propia (SPSS 17.0), 2022.

t = prueba de estudio

La tabla IV-20. Ilustra los resultados vertidos por SPSS 17.0 de los coeficientes del modelo matemático ideal tomando en cuenta que el nivel de significancia es 0,025

significa que casi todos los factores cumplen el requisito en regresión lineal con excepción de la temperatura, por lo tanto, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pérdida de agua} = 0,482 * \text{concentración} + 0,494 * \text{tiempo} \quad (4-1)$$

La tabla IV-21, muestra los valores de la pérdida de agua en las rodajas de manzana observado durante la fase experimental de deshidratado osmótico y la pérdida de agua del modelo matemático ideal obtenido mediante una simulación estadística en SPSS 17.0, marcando al mismo tiempo el nivel de error de cada muestra ejecutada, representados por MD_i las muestras directas y MD_iR las muestras replicas, donde i es un número (1-8).

Tabla IV-21. Datos estadísticos de la pérdida de agua de las rodajas de manzana en el deshidratado osmótico

N° muestras	Combinación	Concentración	Tiempo	Temperatura	PA observado	PA modelo	Error
MD1	(+1)	1	-1	-1	55,09	50,57	4,52
MD2	a	1	1	-1	45,08	62,13	-17,05
MD3	b	1	-1	1	56,89	56,05	0,84
MD4	ab	1	1	1	64,78	61,64	3,14
MD5	c	-1	-1	-1	45,55	45,72	-0,17
MD6	ac	-1	1	-1	51,4	51,99	-0,59
MD7	bc	-1	-1	1	46,69	51,42	-4,73
MD8	abc	-1	1	1	58,17	55,81	2,36
MD1R	(+1)R	1	-1	-1	54,48	50,78	3,70
MD2R	aR	1	1	-1	61,18	56,76	4,42
MD3R	bR	1	-1	1	54,62	56,81	-2,19
MD4R	abR	1	1	1	64,38	61,77	2,61
MD5R	cR	-1	-1	-1	47,51	45,07	2,44
MD6R	acR	-1	1	-1	53,89	51,16	2,73
MD7R	bcR	-1	-1	1	46,92	51,34	-4,42
MD8R	abcR	-1	1	1	58,18	55,81	2,38

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En la figura 4-12, ilustra de la variación de la pérdida de agua (PA) observadas durante el deshidratado osmótico (color azul) y la pérdida de agua modelo (color rojo), así como también se presenta el grado de error de color verde para cada muestra de forma ascendente MD1, MD2, MD3+...+MD8R, siendo las mismas representantes de cada punto en la línea horizontal de la gráfica en forma ascendente hasta las 16 muestras.

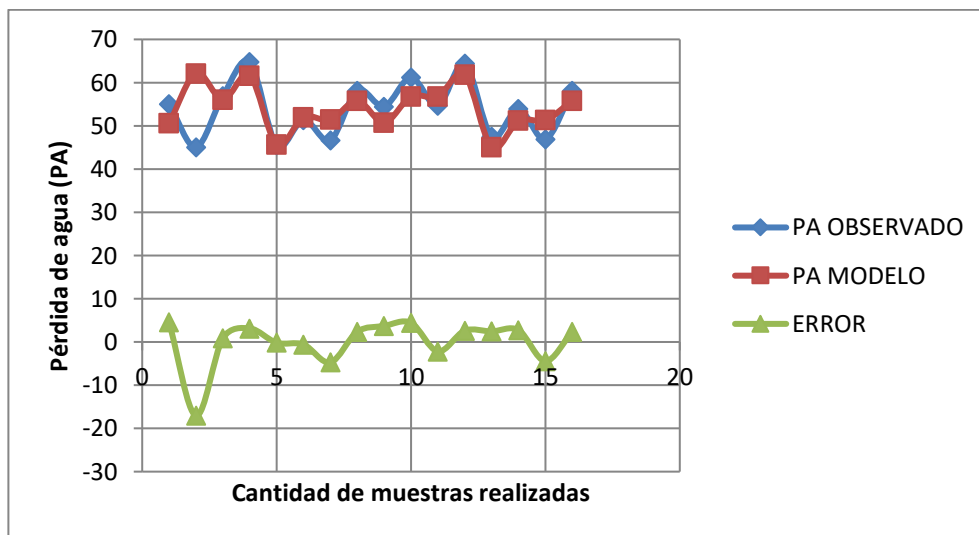


Figura 4-12. Error de PA % medidos vs el modelo PA %

Fuente: Elaboración propia (SPSS 17.0), 2022.

4.6 Balance de materia y energía

El balance de materia y energía que se describirá a continuación posee una base de cálculo (B.C) de 100 g de manzana *Red delicious*.

4.6.1 Balance de materia para el proceso de deshidratación de rodajas de manzana *Red delicious*

A continuación, se expone el balance de materia de la deshidratación de rodajas de manzana *Red delicious* para la muestra MD2, la cual fue seleccionada y se destacó por un buen rendimiento productivo, así como sus propiedades organolépticas teniendo una aceptación del 83 %, superior a las muestras restantes.

La tabla IV-22, muestra los datos obtenidos de la manzana *Red Delicious*, los reactivos e insumos, así como los datos de las condiciones de operación durante la deshidratación osmótica y el secado por aire caliente utilizados para la muestra MD2.

Tabla IV-22. Datos obtenidos del proceso de elaboración de la muestra MD2

Composición inicial de las manzanas Red delicious	Valor (%)	Unidad
Humedad (agua)	84,79	g
Sólidos solubles (azúcares, minerales etc.)	15,05	g
Sólidos no solubles (Fibra)	0,16	g
Reactivos e insumos (sólidos solubles)		
Ácido cítrico	1	p/p
Jarabe de Sacarosa	60	°Brix
Condiciones de operación de la deshidratación osmótica		
Relación jarabe osmótico: materia prima	3:1	-
Agitación magnética	170	rpm
Temperatura de deshidratación osmótica	45	°C
Espesor de las rodajas	3	mm
Tiempo de deshidratación osmótica	240	min
condiciones de secado por aire caliente		
Temperatura de secado con aire caliente	50	°C
Tiempo de secado por aire caliente	190	min
Presión al sistema de secado por aire caliente	1	atm
Caudal del flujo de aire caliente	0,12	m ³ /s

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la figura 4-13, se puede observar el diagrama de bloques del proceso de obtención de rodajas de manzana deshidratadas y sus respectivos flujos de entrada y salida (F).

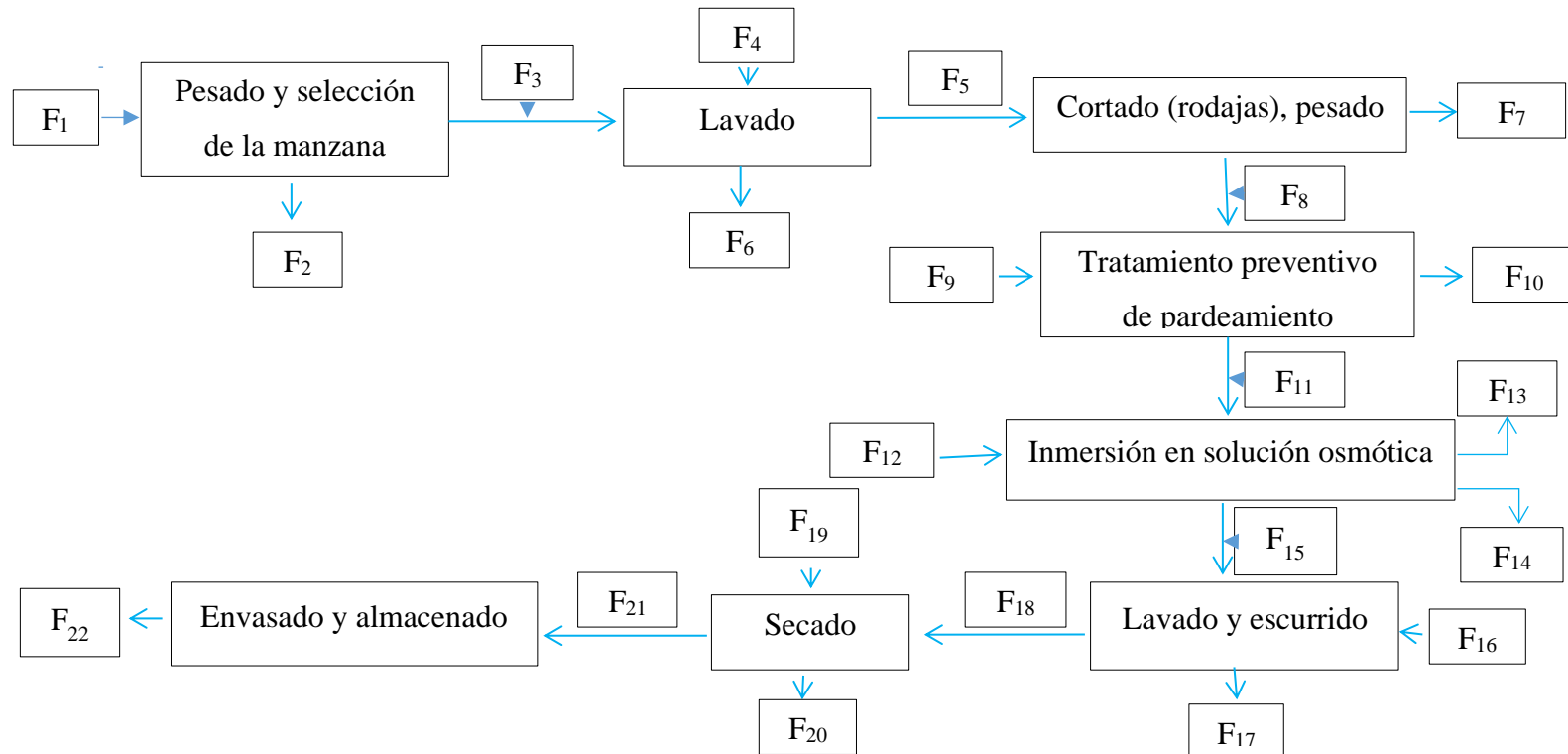


Figura 4-13. Diagrama de bloques de la obtención de rodajas de manzana deshidratada

Fuente: Elaboración propia, 2021

Ver la representación de cada flujo en la tabla IV-23., de la siguiente página.

La tabla IV-23, muestra los flujos de materia, las relaciones entre sí, y la metodología que se usó para medir.

Tabla IV-23. Flujos operativos y sus datos de relación entre sí, de la muestra MD2 del proceso productivo

Flujo másico	Nombre	Relación de flujos	Método de determinación	Nº ecuación
F ₁	Manzana fresca	-	Pesado	-
F ₂	Residuos	$F_2 = 0,05F_1$	Por diferencia de masa	(4-2)
F ₃	Manzana seleccionada	-	-	-
F ₄	Agua potable	$F_4 = 0,5F_3$	Por diferencia de masa	(4-3)
F ₅	Manzana lavada	$F_5 = 0,9985F_3$	Por diferencia de masa	(4-4)
F ₆	Agua residual	-	-	-
F ₇	Manzana no comestible	$F_7 = 0,37F_5$	Por diferencia de masa	(4-5)
F ₈	Manzana en rodajas	-	-	-
F ₉	Ácido cítrico 1%	$F_9 = 0,5F_8$	Por diferencia de masa	(4-6)
F ₁₀	Ácido cítrico residual	-	-	-
F ₁₁	Rodajas de manzana tratada	$F_{11} = 1,000225F_{10}$	Por volumetría acido-base	(4-7)
F ₁₂	Jarabe de sacarosa 60 ° Brix	$F_{12} = 3F_{11}$	Por diferencia de masa	(4-8)
F ₁₃	Jarabe agotado	$F_{13} = 3,52F_{11}$	Por diferencia de masa	-
F ₁₄	Agua evaporada del proceso	-	-	-
F ₁₅	Manzana osmodeshidratado	$F_{15} = 0,4611F_{11}$	Por diferencia de masa	(4-9)
F ₁₆	Agua tratada tibia para lavado	$F_{16} = F_{15}$	Por diferencia de masa	(4-10)
F ₁₇	Agua residual	-	-	-
F ₁₈	Manzana lavada, escurrida para secar	$F_{18} = 0,956 F_{15}$	Por diferencia de masa	(4-11)
F ₁₉	Caudal de Aire caliente	$F_{19} = 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$	Formula	(4-12)
F ₂₀	Vapor de agua, aire	-	-	-
F ₂₁	Manzana deshidratada para envasar	$F_{21} = 0,5142F_{18}$	Por diferencia de masa	(4-13)
F ₂₂	Manzana envasado	$F_{22} = F_{21}$	Por diferencia de masa	(4-14)

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Desglosamiento del balance de materia en sus distintas etapas a partir de la base de cálculo de 100 g de manzana adquirida.

Etapas 1: Recepción y selección de las manzanas *Red delicious*

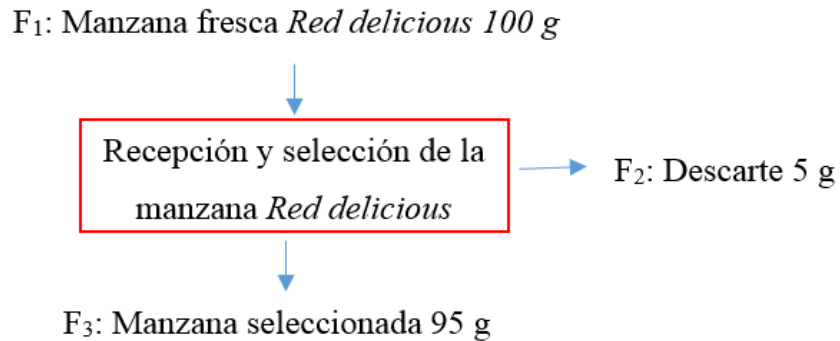


Figura 4-14. Balance de materia: Recepción y selección

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Balance general

$$F_1 = F_2 + F_3 \quad (4-15)$$

$$F_1 = 100 \text{ [g]}$$

$$F_2 = 0,05 * 100 \text{ [g]} = 5 \text{ [g]}$$

$$F_3 = F_1 - F_2 = (100 - 5) \text{ [g]} = 95 \text{ [g]}$$

Etapas 2: Lavado de la manzana

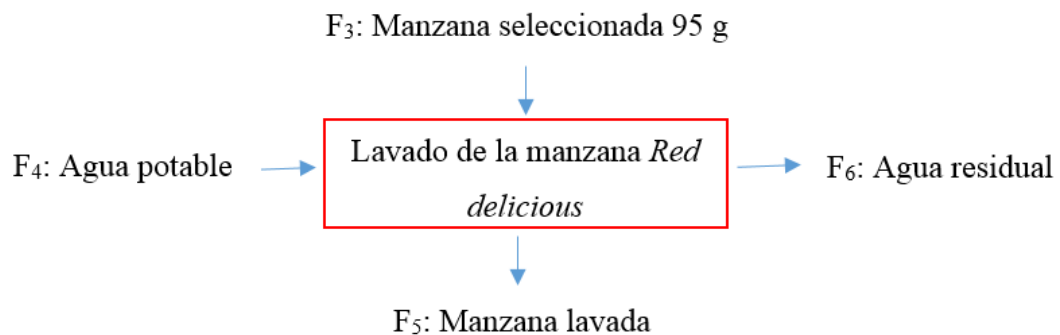


Figura 4-15. Resumen del balance de materia: lavado

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Balance general

$$F_3 + F_4 = F_5 + F_6 \quad (4-16)$$

$$F_4 = 0,5 * F_3$$

$$F_4 = 0,5 * 95 \text{ [g]} = 47,5 \text{ [g]}$$

$$F_5 = 0,9985 * F_3 = 0,9985 * 95 \text{ [g]} = 94,86 \text{ [g]}$$

$$F_6 = F_3 + F_4 - F_5 = 95 \text{ [g]} + 47,5 \text{ [g]} - 94,86 \text{ [g]} = 47,64 \text{ [g]}$$

Etapa 3: Cortado (rodajas) de manzana y pesado

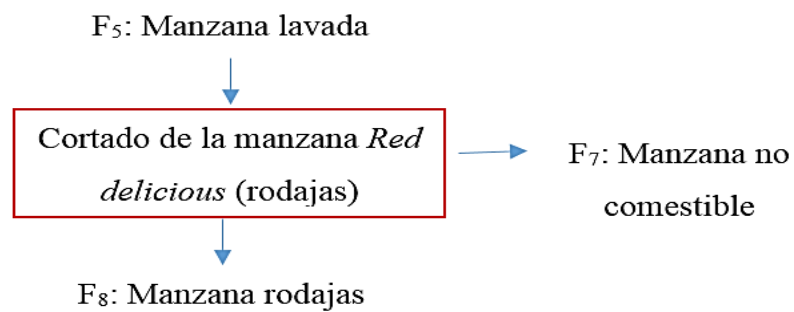


Figura 4-16. Balance de materia: cortado, pesado de la manzana

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Balance general

$$F_5 = F_7 + F_8 \quad (4-17)$$

$$F_7 = 0,37 * F_5 = 0,37 * 94,86 \text{ g} = 35,10 \text{ [g]}$$

$$F_8 = F_5 - F_7 = 94,86 - 35,10 \text{ [g]} = 59,76 \text{ [g]}$$

Etapa 4: Tratamiento preventivo de pardeamiento

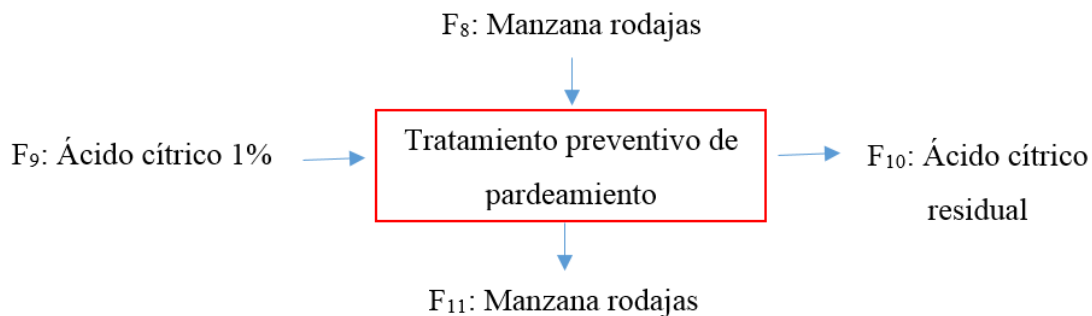


Figura 4-17. Balance de materia: tratamiento contra el pardeamiento

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Balance general

$$F_8 + F_9 = F_{10} + F_{11} \quad (4-18)$$

$$F_9 = 0,5 * F_8 = 0,5 * 59,76 = 29,88 \text{ [g]}$$

$$F_{11} = 1,000225 * F_8 = 1,000225 * 59,76 \text{ [g]} = 59,77 \text{ [g]}$$

$$F_{10} = F_8 + F_9 - F_{11} = 59,76 \text{ [g]} + 29,88 \text{ [g]} - 59,77 \text{ [g]} = 29,87 \text{ [g]}$$

Etapa 5: Inmersión en solución osmótica

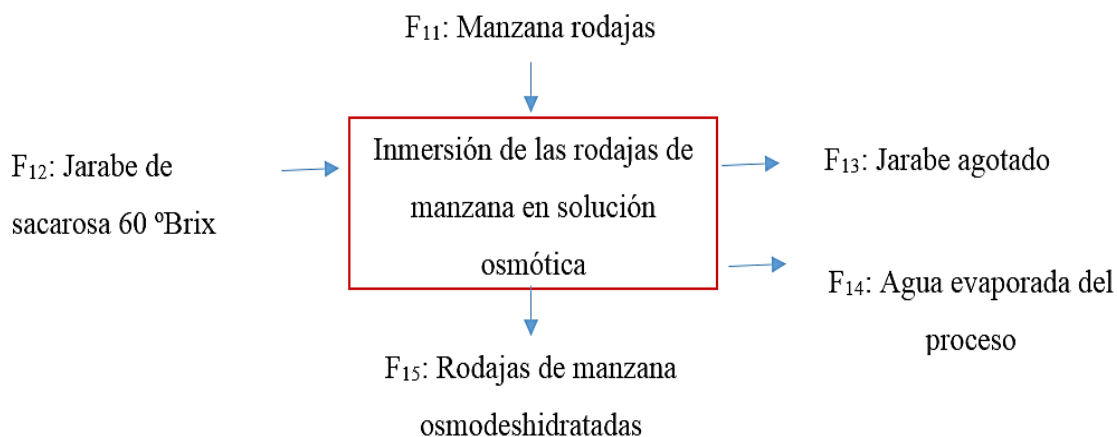


Figura 4-18. balance de materia: inmersión en solución osmótica

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Balance general

$$F_{11} + F_{12} = F_{13} + F_{14} + F_{15} \quad (4-19)$$

$$F_{12} = 3 * F_{11} = 3 * 59,77 \text{ [g]} = 179,31 \text{ [g]}$$

$$F_{13} = 3,52 * F_{11} = 3,52 * 59,77 \text{ [g]} = 209,39 \text{ [g]}$$

$$F_{15} = 0,4611 * F_{11} = 0,4611 * 59,77 \text{ [g]} = 27,56 \text{ [g]}$$

$$F_{14} = 59,77 \text{ [g]} + 179,31 \text{ [g]} - 27,56 \text{ [g]} - 209,39 \text{ [g]} = 2,13 \text{ [g]} \text{ Vapor de agua.}$$

Composición del flujo F_{11}

$$F_{11} = F_{A11} * X_{A11} + F_{S11} * X_{S11} + F_{SN11} * X_{SN11} \quad (4-20)$$

Valores de las fracciones másicas de los componentes del flujo F_{11} : datos del CEANID.

$$X_{A11}: 0,8479; X_{S11}: 0,1521; X_{SN11}: 0,0016$$

Cantidades másicas de los componentes del flujo F_{11}

$$F_{A11} = X_{A11} * F_{11} = 0,8479 * 59,77 \text{ [g]} = 50,68 \text{ [g]} \text{ de agua.}$$

$$F_{S11} = X_{S11} * F_{11} = 0,1521 * 59,77 \text{ [g]} = 9,091 \text{ [g]} \text{ de sólidos solubles.}$$

$$F_{SN11} = X_{SN11} * F_{11} = 0,0016 * 59,77 \text{ [g]} = 0,0956 \text{ [g]} \text{ de sólidos no solubles.}$$

Composición del flujo F_{12}

$$F_{12} = F_{A12} * X_{A12} + F_{S12} * X_{S12} \quad (4-21)$$

Valores de las fracciones másicas de los componentes del flujo F_{12} : datos calculados.

$$X_{A12}: 0,6; X_{S12}: 0,4$$

Cantidades másicas de los componentes del flujo F_{12}

$$F_{A12} = X_{A12} * F_{12} = 0,4 * 179,31 \text{ [g]} = 107,59 \text{ [g]} \text{ de agua.}$$

$$F_{S12} = X_{S12} * F_{12} = 0,6 * 179,31 \text{ [g]} = 71,72 \text{ [g]} \text{ de sólidos solubles.}$$

Composición del flujo F_{13}

$$F_{13} = F_{A13} + F_{S13} + F_{SN13} \quad (4-22)$$

$$F_{A13} = -F_{14} - F_{A15} + F_{A11} + F_{A12} \quad (4-23)$$

$$F_{A13} = (-2,13 - 14,69 + 50,68 + 107,59) \text{ [g]} = 141,45 \text{ [g]} \text{ de agua.}$$

$F_{S13} = F_{S12} - F_{S15} + F_{S11} = (71,72 - 12,77 + 9,091) \text{ [g]} = 68,041 \text{ [g]}$ de sólidos solubles.

$F_{SN13} = F_{SN11} - F_{SN15} = (0,00956 - 0,093) \text{ [g]} = 0,0004 \text{ [g]}$ de sólidos no solubles.

Composición del flujo F_{14}

$$F_{14} = F_{A14} * X_{A14} \quad (4-24)$$

Valor de la fracción máscas del compuesto F_{14} : dato elaborado.

$$X_{A14}: 1$$

Cantidad máscas del componente del flujo F_{14}

$F_{A14} = X_{A14} * F_{14} = 1 * 2,13 \text{ [g]} = 2,13 \text{ [g]}$ vapor de agua. (Ver pág. 79).

Composición del flujo F_{15}

$$F_{15} = F_{A15} * X_{A15} + F_{S15} * X_{S15} + F_{SN15} * X_{SN15} \quad (4-25)$$

Valores de las fracciones máscas de los componentes del flujo F_{15} : dato calculado por diferencia de masa.

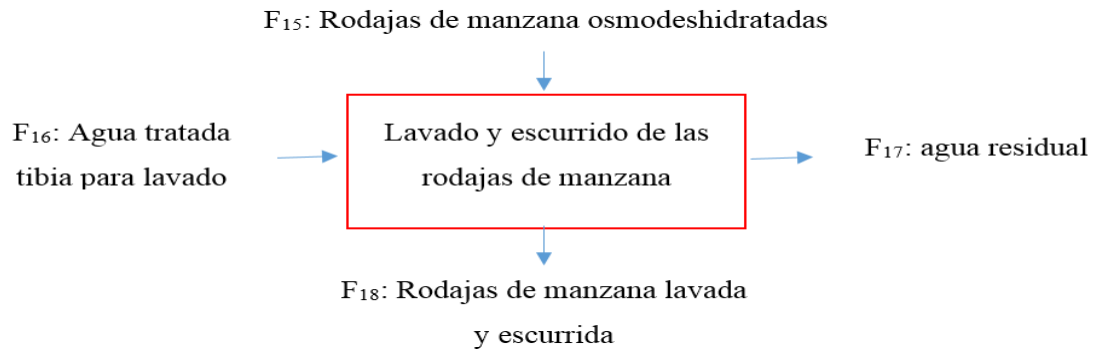
$$X_{A15}: 0,5331; X_{S15}: 0,4635; X_{SN15}: 0,00338$$

Cantidades máscas de los componentes del flujo F_{15}

$F_{A15} = X_{A15} * F_{15} = 0,5331 * 27,56 \text{ [g]} = 14,69 \text{ [g]}$ de agua.

$F_{S15} = X_{S15} * F_{15} = 0,4635 * 27,56 \text{ [g]} = 12,77 \text{ [g]}$ de sólidos solubles.

$F_{SN15} = X_{SN15} * F_{15} = 0,00338 * 27,56 \text{ [g]} = 0,093 \text{ [g]}$ de sólidos no solubles.

Etapa 6: Lavado y escurrido**Figura 4-19.** Balance de materia: lavado y escurrido

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Balance general

$$F_{15} + F_{16} = F_{18} + F_{17} \quad (4-26)$$

$$F_{15} = F_{16} = 27,56 \text{ [g]}$$

$$F_{18} = 0,956 * F_{15} = 0,956 * 27,56 \text{ [g]} = 26,36 \text{ [g]}.$$

$$F_{17} = F_{15} + F_{16} - F_{18} = (27,56 + 27,56 - 26,36) \text{ [g]} = 28,76 \text{ [g]}$$

Composición del flujo F₁₆

$$F_{16} = F_{A16} * X_{A16} \quad (4-27)$$

Valor de la fracción másicas: dato elaborado.

$$X_{A16}: 1$$

$$F_{A16} = X_{A16} * F_{16} = 1 * 27,56 \text{ [g]} = 27,56 \text{ [g]} \text{ de agua.}$$

Composición del flujo F₁₇

$$F_{17} = F_{A17} + F_{S17} \quad (4-28)$$

$$F_{A17} = F_{A16} = 27,56 \text{ [g]} \text{ de agua.}$$

$$F_{S17} = F_{17} - F_{A17} = (28,76 - 27,56) \text{ [g]} = 1,2 \text{ [g]} \text{ de sólidos solubles.}$$

Composición del flujo F₁₈

$$F_{18} = F_{A18} + F_{S18} + F_{SN18} \quad (4-29)$$

Valores de las fracciones másicas: dato elaborado.

$$F_{A18} = F_{A15} = 14,69 \text{ [g] de agua.}$$

$$F_{S18} = F_{S15} - F_{S17} = (12,77 - 1,2) \text{ [g]} = 11,57 \text{ [g] de sólidos solubles. (Ver pág. 83).}$$

$$F_{SN18} = F_{SN15} = 0,093 \text{ [g] de sólidos no solubles. (Ver pág. 83).}$$

Etapa 7: Secado por aire caliente

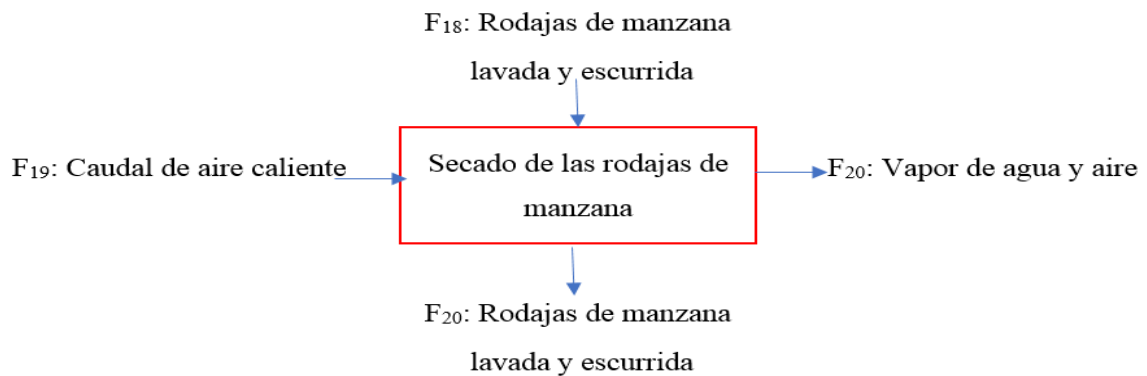


Figura 4-20. Balance de materia: secado por aire caliente

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Balance general

$$F_{18} + F_{19} = F_{20} + F_{21} \quad (4-30)$$

Datos:

V= velocidad del aire caliente en la entrada del sistema.

$$V = 2,3 \frac{m}{s}$$

Caudal del flujo de aire caliente en la entrada del sistema de secado (Q)

$$Q = V * A \quad (4-31)$$

A= área transversal del flujo de aire caliente en el caloventor.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4-32)$$

D= diámetro del caloventor = 0,2573 m

$$A = \frac{\pi * 0,2573^2}{4} m^2 = 0,052 m^2$$

$$Q = 2,3 \frac{m}{s} * 0,052 m^2 = 0,12 \frac{m^3}{s}$$

El tiempo de secado para la muestra MD2 es 190 min

El rendimiento aproximado de flujo de aire es del 50 %, ver la justificación en la fase experimental.

Aplicado estos datos se obtiene el volumen total consumido de aire caliente (VT).

$$VT = t_{SAC} * Q * \eta \quad (4-33)$$

t_{SAC} = tiempo de secado por aire caliente= 190 min.

η = rendimiento del flujo de aire caliente alimentado al secador por tiro forzado 50 %.

$$VT = 0,12 \frac{m^3}{s} * 190 \text{ min} * \frac{60 s}{1 \text{ min}} * 0,5 = 684 m^3$$

WY_1 = humedad absoluta del aire caliente = 0,01164 g agua/g aire caliente, ver este dato calculado más adelante en el balance de energía del secado por aire caliente.

Con este dato se determina el porcentaje másico de cada componente presente en el aire caliente.

Y_{A19} = 1,15 % porcentaje de vapor de agua en el aire caliente.

Y_{W19} = 98,85 % porcentaje de aire caliente

$$\rho_{50 \text{ } ^\circ\text{C del aire caliente}} = \rho_{W19} * Y_{W19} + \rho_{A19} * Y_{A19} \quad (4-34)$$

ρ_{W19} = densidad del aire puro a 50 °C = 1,092 Kg/m³

ρ_{A19} = densidad del vapor de agua pura a 50 °C = 0,0831 Kg/m³

$\rho_{50 \text{ } ^\circ\text{C de la mezcla del aire caliente}}$ =

$$1,092 \text{ Kg/m}^3 * 0,9885 + 0,0831 \text{ Kg/m}^3 * 0,0115 = 1,080398 \text{ Kg/m}^3$$

Entonces:

$$F_{19} = VT * \rho_{50^\circ C \text{ del aire caliente}} \quad (4-35)$$

$$F_{19} = 684 \text{ m}^3 * 1,080398 \frac{[\text{kg}]}{[\text{m}^3]} * \frac{1000 [\text{g}]}{1[\text{kg}]} = 738 992,232 [\text{g}]$$

$$F_{21} = 0,5142 * F_{18} = 0,5144 * 26,36 \text{ g} = 13,553 [\text{g}]$$

$$F_{20} = F_{18} + F_{19} - F_{21} = 26,36 [\text{g}] + 738 992,232 - 13,553 [\text{g}] = 739 005,04 [\text{g}]$$

Composición del flujo F_{20}

$$F_{20} = F_{A20} + F_{W20} \quad (4-36)$$

$$\begin{aligned} F_{A20} &= F_{19} * Y_{A19} + F_{18} - F_{21} \\ &= (738 992,232 * 0,0115 + 26,36 - 13,553) [\text{g}] \\ &= 8 511,22 [\text{g}] \text{ de vapor de agua.} \end{aligned}$$

$$F_{W20} = F_{19} * Y_{W19} = 738 992,232 [\text{g}] * 0,9885 = 730 493,82 [\text{g}] \text{ de aire caliente.}$$

Composición del flujo F_{21}

$$F_{21} = F_{A21} * X_{A21} + F_{S21} * X_{S21} + F_{SN21} * X_{SN21} \quad (4-37)$$

Valores de las fracciones másicas: dato elaborado

$$F_{A21} = F_{A18} - F_{A20} = 14,69 - 12,8 [\text{g}] = 1,89 [\text{g}] \text{ de agua.}$$

$$F_{S21} = F_{S18} = 11,57 [\text{g}] \text{ de sólidos solubles.}$$

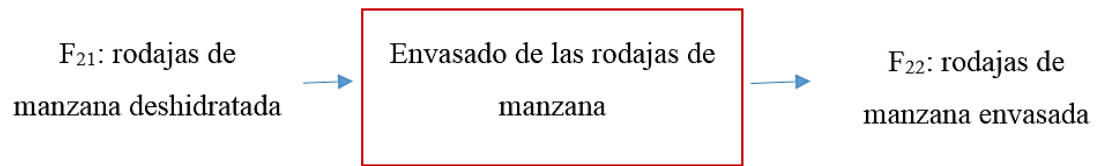
$$F_{SN21} = F_{SN18} = 0,093 [\text{g}] \text{ de sólidos no solubles.}$$

Remplazando la ecuación 4-36, tenemos:

$$X_{A21}: 0,1395$$

$$X_{S21}: 0,8537$$

$$X_{SN21}: 0,00686$$

Etapas 8: envasado y almacenado**Figura 4-21.** Balance de materia: envasado y almacenado

Fuente: Elaboración propia, 2021

Balance general

$$F_{21} = F_{22} \quad (4-38)$$

La composición de F_{21} es igual a F_{22}

La figura 4-22. Representa resumen del balance de materia de las rodajas de manzana deshidratada para la muestra MD2, describiendo las etapas y los flujos de entrada y salida.

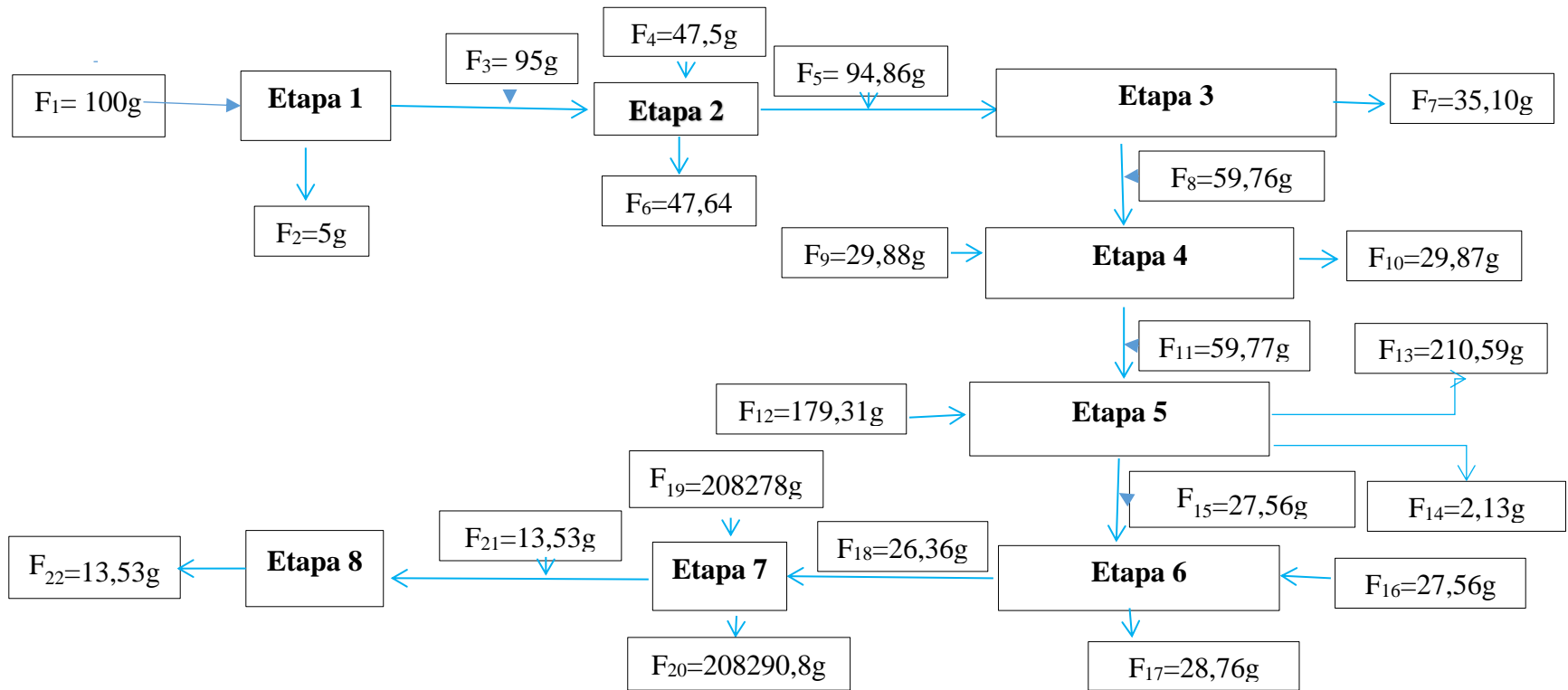


Figura 4-22. Resumen del balance de materia de las rodajas de manzana deshidratada

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.6.2 Balance de energía

En este acápite se realizan los balances de energía para los procesos de deshidratación por ósmosis y el secado por aire caliente para la muestra MD2, quien fue la ganadora de las pruebas organolépticas realizada por los jueces catadores.

El balance de energía de la muestra MD2, es una extensión del balance de materia realizado, por lo cual varios datos serán utilizados.

4.6.2.1 Balance de energía en el deshidratado osmótico

Para entender y trabajar el balance energía de la muestra MD2, se generó una tabla de datos que se midieron en ese momento con los medios necesarios (equipos), además a ello se complementó con datos bibliográficos de propiedades fisicoquímicas de diferentes autores. Ver la tabla IV-24.

Tabla IV-24. Datos de las propiedades fisicoquímicas de la muestra MD2

<i>Datos</i>	Unidad	Dato de referencia
<i>Temperatura de operación DO (Tf)</i>	45 °C	Propio, medido
<i>Temperatura ambiente (Ti)</i>	23 °C	Propio, medido
<i>Masa del acero inoxidable (recipiente) (M_{AC})</i>	315 g con capacidad de almacenamiento máximo de 1000 ml	Propio, medido
<i>Calor específico del Acero inoxidable (C_{pAC})</i>	0,1218 Cal/g*°C	Cengel 7 ma edición
<i>Rodajas de manzana tratada (F₁₁)</i>	59,77 g	Propio, generado del balance de materia realizado
<i>Calor específico de la manzana a 84 % de humedad (C_{p_m})</i>	0,8724 Cal/g*°C	Cengel 7 ma edición
<i>Masa de la solución osmótico (M_{so})</i>	179,31 g a 60 °Brix	Propio, medido
<i>Calor específico de la solución osmótica (C_{p_{so}})</i>	0,64 Cal/g*°C	Urrutia, 2004. P(17). Calculado
<i>Masa de agua evaporada (F_{A14})</i>	2,13 g	Propio, generado del balance de materia realizado
<i>Calor latente del agua a 45 °C (λ_{agua})</i>	λ _{agua} = 571,3 Cal/g	Cengel
<i>Tiempo de operación DO (top)</i>	240 min	medido

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El balance general de energía viene dado de la siguiente forma:

$$Q_{total} = Q_{calentador} + W_{trabajo\ realizado\ por\ el\ agitador\ eléctrico} \quad 4-39$$

La ecuación 4-39, considera un sistema cerrado ver figura 4-14.

$$Q_{ganado} = Q_v + Q_m + Q_{so} + Q_{AC} \quad 4-40$$

Q_v = Calor latente para evaporar el agua de la solución osmótica.

Q_{so} = Calor sensible del agente osmótico.

Q_{AC} = Calor sensible del acero inoxidable

Q_m = Calor sensible de la manzana

$$Q_v = F_{A14} * \lambda_{agua} \quad 4-41$$

$$Q_v = 2,13 \text{ [g]} * 571,3 \frac{[\text{Cal}]}{[\text{g}]} = 1\,216,87 \text{ [Cal]}$$

$$Q_{SO} = M_{so} * Cp_{so} * (T_f - T_i) \quad 4-42$$

$$Q_{SO} = 179,31 \text{ [g]} * 0,64 \frac{[\text{Cal}]}{[\text{g} * ^\circ\text{C}]} * (45 - 23) ^\circ\text{C} = 2\,524,68 \text{ [Cal]}$$

$$Q_{AC} = M_{AC} * Cp_{AC} * (T_f - T_i) \quad 4-43$$

$$Q_{AC} = 315 \text{ [g]} * 0,1218 \frac{[\text{Cal}]}{[\text{g} * ^\circ\text{C}]} * (45 - 23) ^\circ\text{C} = 38,37 \text{ [Cal]}$$

$$Q_m = M_m * Cp_m * (T_f - T_i) \quad 4-44$$

$$Q_m = 59,77 \text{ [g]} * 0,8724 \frac{[\text{Cal}]}{[\text{g} * ^\circ\text{C}]} * (45 - 23) ^\circ\text{C} = 1\,147,15 \text{ [Cal]}$$

La capacidad máxima de trabajo es de 80 w a 1500 rpm, la velocidad para que se trabaja para el agitador corresponde a 170 rpm. Para obtener los watts a los que trabaja el agitador se hace una relación entre las velocidades y energía utilizada, ver figura 4-23.

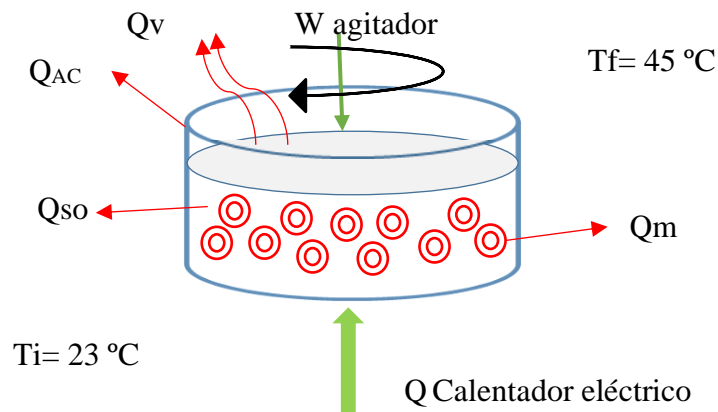


Figura 4-23. Agitación eléctrica

Fuente: Elaboración propia, 2021.

$$W \text{ trabajo eléctrico} = \text{Potencia eléctrica (P)} * \text{Tiempo de operación (DO)} \quad 4-45$$

La ecuación 4-45, de trabajo eléctrico esta en base a la teoría de motores eléctricos por (Maloney, 2006), autor del libro *Electrónica Industrial Moderna*.

$$P = \frac{80 \text{ [w]} * 170 \text{ [rpm]}}{1500 \text{ [rpm]}} = 9,067 \text{ [w]}$$

$$P = 9,067 \text{ [w]} * \left(\frac{0,859 \frac{\text{[Kcal]}}{\text{[h]}}}{1 \text{ [w]}} \right) * \frac{1 \text{ [h]}}{60 \text{ [min]}} = 0,1298 \frac{\text{[Kcal]}}{\text{[min]}}$$

Remplazando la ecuación 4-45

$$W \text{ trabajo eléctrico} = 0,1298 \frac{\text{[Kcal]}}{\text{[min]}} * 240 \text{ [min]} = 31 \ 152 \text{ [Cal]}$$

Remplazando en la ecuación 4-40

$$\begin{aligned} Q \text{ ganado} &= 1 \ 216,87 \text{ [Cal]} + 2 \ 524,68 \text{ [Cal]} + 38,37 \text{ [Cal]} + 1 \ 147,15 \text{ [Cal]} \\ &= 4 \ 927,07 \text{ [Cal]} \end{aligned}$$

Remplazando la ecuación tenemos 4-39:

$$Q \text{ total} = 4 \ 927,07 \text{ [Cal]} + 31 \ 152 \text{ [Cal]}$$

$$Q \text{ total} = 36 \ 079,07 \text{ [Cal]} = 31,079 \text{ [Kcal]}$$

4.6.2.2 Balance de energía en el secador por tiro forzado para las rodajas de manzana *Red delicious*

Para eliminar el agua contenida en la manzana a niveles requeridos, es necesario someter al producto a un flujo continuo de calor por medio del aire caliente forzado a 50 °C. Para entender el balance de energía en esta fase, tenemos que conocer datos relevantes como son la presión atmosférica, la altura sobre el nivel del mar, y las temperaturas de entrada y salida del flujo de aire caliente en el secador por tiro forzado. Ver tabla IV-25.

Tabla IV-25. Datos relevantes del flujo de aire caliente en el secador por tiro forzado medidos y referenciales

Datos	Cantidad	Datos de referencia
Altura de la ciudad de Tarija	1 866 msnm	Gutierrez, 1875
Presión atmosférica	610 mmHg	López, 2021
Temperatura bulbo seco (WTbs ₁)	50 °C	Propio
Temperatura bulbo húmedo (WTbh ₁)	26 °C	Propio
Temperatura bulbo seco (WTbs ₂)	38 °C	Propio
Temperatura bulbo húmedo (WTbh ₂)	23 °C	Propio

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El subíndice 1 en la tabla IV-33 de las temperaturas, significa medición a la entrada del sistema de secado y el subíndice 2 medida a la salida del sistema de secado.

Después de recabar esta información, se procedió a introducir los datos al software psicrom, programa simulador de la carta psicrométrica, que nos dio los siguientes resultados de las propiedades del aire caliente tanto a la entrada como a la salida del sistema de secado.

Tabla IV-26. Propiedades del aire caliente

Propiedades entrada	Aire caliente	Propiedades salida	Aire saturado
WHR ₁ (%)	15,086	WHR ₂ (%)	28,17
WY ₁ (g agua/g de aire)	0,01164	WY ₂ (g agua/g de aire)	0,0117021
WH ₁ (J/g)	80,54	WH ₂ (J/g)	68,28

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

WY₁ = Humedad absoluta del aire caliente a la entrada del secador

WH₁ = Entalpia del aire saturado a la entrada del secador

WY₂ = Humedad absoluta del aire caliente a la salida del secador

WH₂ = Entalpia del aire saturado a la salida del secador

WHR₁ y WHR₂ (%) = Representan la humedad relativa del aire caliente tanto a la entrada como a la salida del secador.

Manzana seca (A) = F_{S18} + F_{SN18} = 11,57 [g] + 0,093 [g] = 11,663 [g] manzana seca.

$$AX_1 = \frac{14,69 [g] \text{ agua}}{11,663 [g] * A_1} = 1,2595 \frac{[g] \text{ agua}}{[g]A_1} = \text{Humedad abasoluta de } A_1$$

$$AX_2 = \frac{1,89 [g] \text{ agua}}{11,663 [g] * A_2} = 0,1621 \frac{[g] \text{ agua}}{[g]A_2} = \text{Humedad absoluta de } A_2$$

Manzana seca (A) = Manzana seca entrada del secador (A₁) = manzana seca a la salida del secador (A₂).

En cuanto al aire caliente:

Masa de aire seco (W) = W₁ aire seco entrada = W₂ aire seco salida = 730 493,82[g]
= F_{W20}, dato obtenido del balance de materia.

Balance combinado de materia – energía en el proceso de secado. Ver la figura 4-15, un modelo propuesto por Valiente Banderas, 1994.

A continuación, en la figura 4-24 se muestra gráficamente y analíticamente el detalle del proceso de secado por aire caliente.

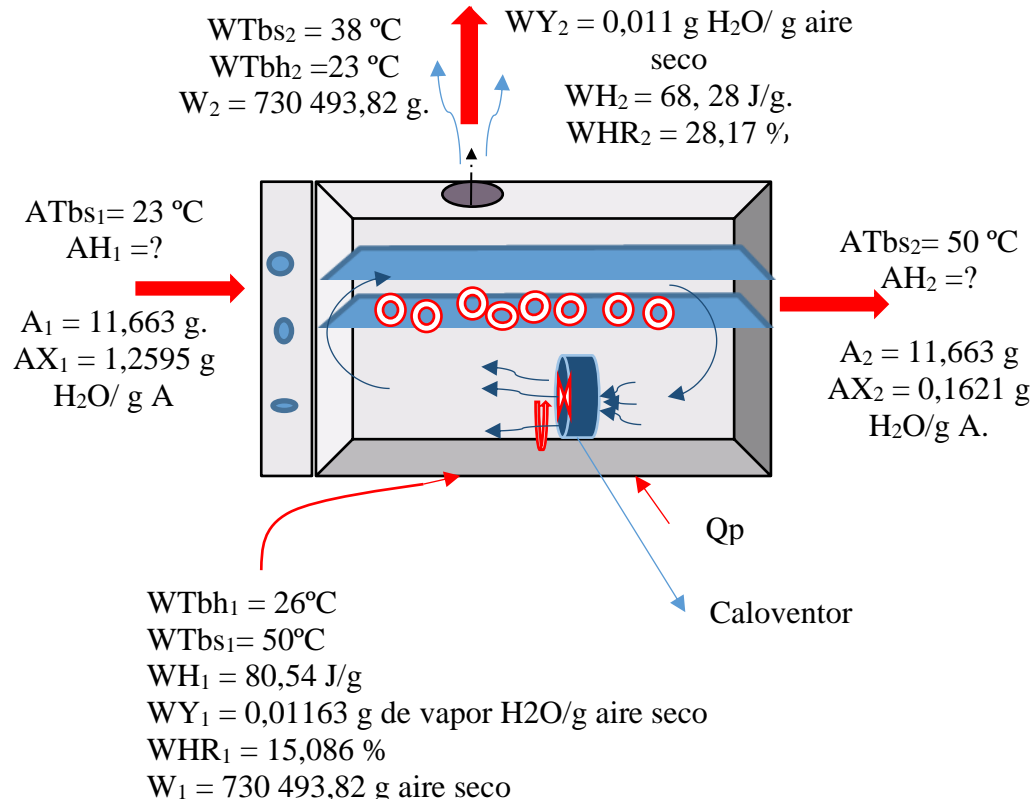


Figura 4-24. Secado por aire caliente

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Ecuación general

$$A_1 \cdot AH_1 + W_1 \cdot WH_1 = Q_P + A_2 \cdot AH_2 + W \cdot WH_2 \quad 4-46$$

La ecuación 4-46, representa el balance combinado de materia y energía propuesto por Banderas, donde:

Q_P = Calor necesario para deshidratar las muestras de manzana (J)

Factorizando y considerando que el flujo de entrada y salida de masa es constante tenemos:

$$Q_P = A \cdot (AH_1 - AH_2) + W \cdot (WH_1 - WH_2) \quad 4-47$$

Tenemos:

Para obtener la A_{H1} y A_{H2} tenemos las siguientes ecuaciones propuestas por Jiménez, 2019: Esta ecuación de entalpia se aplica a los alimentos entre temperaturas de 0-100 °C, 0 °C es la temperatura de referencia (T_0).

$$AH_1 = C_{pA} * (T_1 - T_0) + AX_1 * C_{pa} * (T_1 - T_0) \quad 4-48$$

$$AH_2 = C_{pA} * (T_2 - T_0) + AX_2 * C_{pa} * (T_2 - T_0) \quad 4-49$$

Donde:

C_{pA} = Calor específico de la manzana seca ($J/g * ^\circ C$)

C_{pa} = 4,18 $J/g * ^\circ C$ calor específico del agua

T_1 = 23 °C Temperatura del alimento en la entrada del secador

T_2 = 50 °C Temperatura del producto en la salida del secador

T_0 = 0 °C Temperatura de referencia del sistema

Para determinar el calor específico de las muestras de manzana, se tomó en cuenta la ecuación propuesta por (Quisbert, 2013).

$$C_{pA} = X_c * C_{pc} + X_p * C_{pp} + X_g * C_{pg} + X_{ce} * C_{pce} + X_f * C_{pf} \quad 4-50$$

Donde:

X_c = 0,9808 fracción de la masa de los carbohidratos

C_{pc} = 1,3 $J/g * ^\circ C$ calor específico de los carbohidratos

X_p = 0,004208 fracción de la masa de las proteínas

C_{pp} = 1,2 $J/g * ^\circ C$ calor específico de las proteínas

X_g = 0,0033898 fracción de la masa de las grasas

C_{pg} = 1,8 $J/g * ^\circ C$ calor específico de las grasas

X_{ce} = 0,007130 fracción de la masa de cenizas

C_{pce} = 0,8 $J/g * ^\circ C$ calor específico de las cenizas

$X_f = 0,004441$ fracción de la masa de fibra

$C_{p_f} = 1,5 \text{ 0,8 J/g}^\circ\text{C}$ calor específico de la fibra

Reemplazando datos en la ecuación 4-50 tenemos:

$$C_{p_A} = 0,9808 * 1,3 \text{ [J/g}^\circ\text{C]} + 0,004208 * 1,2 \text{ [J/g}^\circ\text{C]} + 0,0033898 * 1,8 \text{ [J/g}^\circ\text{C]} + 0,007130 * 0,8 \text{ [J/g}^\circ\text{C]} + 0,004441 * 1,5 \text{ [J/g}^\circ\text{C]} = 1,2986 \text{ [J/g}^\circ\text{C]}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4-48 y 4-49 tenemos:

$$AH_1 = 1,2986 \text{ [J/g}^\circ\text{C]} * (23-0) \text{ [}^\circ\text{C]} + 1,2595 \text{ [g/g]} * 4,18 \text{ [J/g}^\circ\text{C]} * (23-0) \text{ [}^\circ\text{C]} = 150,95 \text{ [J/g]}$$

$$AH_2 = 1,2986 \text{ [J/g}^\circ\text{C]} * (50-0) \text{ [}^\circ\text{C]} + 0,1621 \text{ [g/g]} * 4,18 \text{ [J/g}^\circ\text{C]} * (50-0) \text{ [}^\circ\text{C]} = 98,80 \text{ [J/g]}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4-47 tenemos:

$$Q_P = 11,663 \text{ [g]} * (150,95 \text{ [J/g]} - 98,80 \text{ [J/g]}) + 730 \text{ 493,82 [g]} * (80 \text{ [J/g]} - 68,28 \text{ [J/g]}) = 8 \text{ 561 995.80 [J]} = 2 \text{ 046.37 [Kcal]}.$$

4.7 Costo del proyecto de rodajas de manzana deshidratada

En este subtítulo se verá de forma resumida, los gastos en la investigación de la deshidratación de la manzana *Red delicious* mediante la ósmosis y secado por tiro forzado y el costo productivo de todo esto.

4.7.1 Costos de investigación

En la tabla IV-27, se muestra el costo estimado de inversión, para realizar este proyecto de elaboración de rodajas deshidratada de manzana *Red delicious*, mediante el método combinado de ósmosis y tiro forzado.

Tabla IV-27. Costo estimado del proyecto de investigación de las rodajas de manzana deshidratadas

Descripción	Especificación	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Transporte	Compra de insumos	100	400
Investigación	Internet/ hora	3,5	350
Comunicación	Llamadas por min.	1	50
Gastos imprevistos	-	-	350
Insumos/reactivos	manzana, ácido ascórbico y Sacarosa	-	1350
Materiales y equipos de laboratorio	-	-	780
Ejecución experimental del proyecto	-	-	3500
Ejecución teórica del proyecto	-	-	6000
Análisis de la materia prima y del producto obtenido	laboratorio CEANID	-	2500
Presentación del proyecto final	impresión, empastado, defensa	-	1500
Costo total (Bs)	-	-	16780

Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.7.2 Costos de producción

Para estimar los costos de producción por cada kg de rodaja de manzana deshidratada producidos, se dispuso de los datos de información del balance de materia y energía del proyecto realizado a una escala de 1:100, Donde el costo productivo está a base al procesamiento de 100 kg de manzana roja *Red delicious*, para lo cual se considera tener 1 obrero que trabaje por hora, con una remuneración de 18 Bs por 1 hora-hombre.

Tabla IV-28. Costo productivo para 100 kg de manzana *Red delicious*

Reactivos	Costo unitario en el mercado		Costo de producción para procesar 100 kg de manzana	
	Cantidad	Costo (Bs)	cantidad utilizada	Costo (Bs)
Ácido cítrico 99.99 %	1 kg	17	0,74625 kg	12,69
Insumos	Cantidad	Costo (Bs)	cantidad utilizada	Costo (Bs)
Azúcar	1 kg	6	15 kg	90
Agua	1 kg	0,01228	176,36 kg	2,17
Manzana	1 kg	12	100 kg	1200
Energía	Cantidad	Costo (Bs)	cantidad utilizada	Costo (Bs)
Inmersión osmótica	1 kW-h	0,6	3,193 kW-h	1,91
Secado por aire caliente	1 kW-h	0,6	20,71 kW-h	12,426
Envase polipropileno	1 bolsa	0,2	100 bolsas	20
Mano de obra	1 h-hombre	18	12 h-hombre	216
Costo total	-	-	-	1555,196 Bs

Fuente: Elaboración propia, 2022.

La tabla IV-28, muestra el costo de producción para obtener 13,553 kg de rodajas de manzana deshidratada variedad *Red delicious*.

El costo unitario es el costo real de cada producto según su cotización en el mercado

y el costo de producción en la tabla IV-30, se refiere al gasto hipotético que se tiene que hacer para procesar 100 kg de rodajas de manzana deshidratada variedad *Red delicious*.

$$\text{Costo de producción} = \frac{\text{Costo de producción}}{\text{Kg de producto producidos}} \quad (4-51)$$

$$\text{Costo de producción} = \frac{1555,196 \text{ Bs}}{13,55 \text{ Kg}}$$

$$= 114,77 \text{ Bs por cada kg de manzana deshidratada}$$